PROSIDING

ISSN (p): 2985-4903 ISSN (e): 2986-2477

Aplikasi Telekomunikasi untuk Membangun Masa Depan Komunikasi Modern

senter
Seminar Nasional Teknik Elektro
UIN Sunan Gunung Djati Bandung



Volume 10 . 2025

SENTER - X

Seminar Nasional Teknik Elektro 2025

Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Gunung Djati
Bandung

Supported by :

Co-Host :

ID: 04

Kelayakan Lightning Arrester (LA) Berdasarkan Nilai Arus Bocor Resistif Pada Gardu Induk 150 kV Cigereleng

Feasibility of Lightning Arrester (LA) Based on Resistive Leakage Current Value at the 150 kV Cigereleng Substation

Cikal Rizki Andelia[1], Ahmad Anung Probo Kuncoro[2], Eki Ahmad Zaki Hamidi[3]
[1,3]Teknik Elektro UIN Sunan Gunung Djati Bandung
Jl. AH. Nasution 105 Bandung, Indonesia
[2]ULTG Bandung Barat
Ciseureuh, Regol, Bandung 40255
cklrzk2004@gmail.com[1], ahmad.anung@pln.co.id[2], ekiahmadzaki@uinsgd.ac.id[3]

Abstrak - *Lightning Arrester (LA) merupakan perangkat proteksi penting di Gardu Induk 150 kV Cigereleng untuk melindungi sistem tenaga listrik dari lonjakan tegangan akibat sambaran petir atau operasi switching. Seiring waktu, LA dapat mengalami degradasi, ditandai dengan peningkatan arus bocor resistif yang mencerminkan kondisi kesehatan internal perangkat. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kelayakan LA melalui pengukuran arus bocor resistif menggunakan alat Leakage Current Monitor (LCM) di Gardu Induk 150 kV Cigereleng, PT PLN (Persero). Data pengukuran dibandingkan dengan batas standar dari pedoman PLN dan spesifikasi pabrikan untuk menentukan status kelayakan unit LA. Hasil menunjukkan bahwa sebagian besar unit LA berada dalam batas aman (di bawah 150 μA untuk 150 kV), meskipun beberapa unit menunjukkan tanda penurunan performa yang memerlukan pemantauan lanjutan atau penggantian. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam menilai keandalan sistem proteksi di gardu induk.*

Kata Kunci*: Lightning Arrester, arus bocor resistif, kelayakan, Gardu Induk.*

Abstract – *The Lightning Arrester (LA) is a critical protection device at the 150 kV Cigereleng Substation, designed to safeguard the power system from voltage surges caused by lightning strikes or switching operations. Over time, LAs may experience degradation, indicated by an increase in resistive leakage current, which reflects the internal health condition of the device. This study aims to evaluate the feasibility of LAs through resistive leakage current measurements using a Leakage Current Monitor (LCM) at the 150 kV Cigereleng Substation, PT PLN (Persero). The measurement data were compared with standard limits based on PLN guidelines and manufacturer specifications to determine the operational feasibility of each LA unit. The results show that most LA units remain within safe limits (below 150 μA for 150 kV), although some units exhibit signs of performance degradation requiring further monitoring or replacement. This study contributes to assessing the reliability of the protection system at the substation.*

Keywords*: Lightning Arrester, resistive leakage current, feasibility, Substation.*

1. Pendahuluan

Gardu Induk (GI) merupakan komponen penting dalam sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik, berfungsi sebagai pusat pengaturan tegangan dan aliran daya untuk menjamin pasokan listrik yang kontinu kepada konsumen [1]. Salah satu gangguan eksternal utama adalah sambaran petir, yang diatasi dengan pemasangan Lightning Arrester (LA) sebagai perangkat proteksi. LA bekerja dengan mengalirkan tegangan lebih ke tanah, sehingga mencegah kerusakan pada peralatan seperti transformator dan pemutus tenaga [2]. Namun, seiring waktu, LA dapat

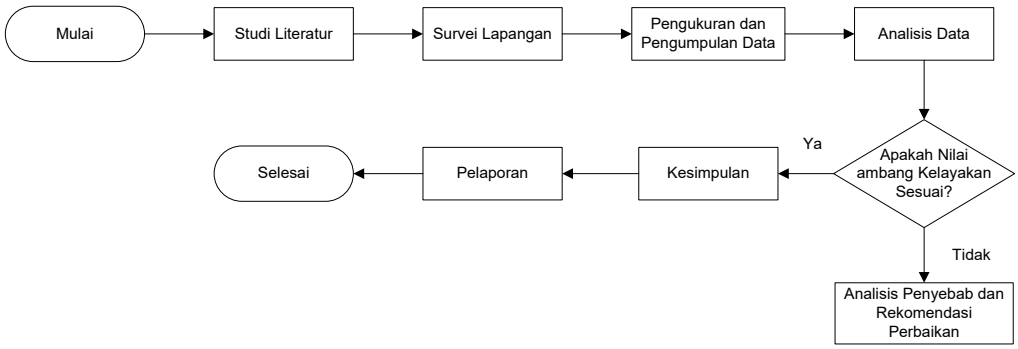
mengalami degradasi karena faktor lingkungan, beban kerja, dan kualitas isolasi internal, yang ditandai dengan peningkatan arus bocor resistif sebagai gejala utama [3].

Arus bocor total pada LA terdiri dari komponen kapasitif dan resistif, di mana arus resistif paling mencerminkan kondisi kesehatan internal perangkat. Peningkatan nilai ini mengindikasikan penurunan kemampuan isolasi dan risiko kegagalan fungsi, sehingga pengukuran arus bocor resistif secara berkala menjadi metode kunci untuk menentukan kelayakan operasi LA [4]. Di Gardu Induk 150 kV Cigereleng yang dikelola PT PLN (Persero), yang berperan strategis dalam suplai listrik wilayah Bandung dengan beban tinggi dan risiko petir besar, pengukuran ini memungkinkan evaluasi preventif tanpa mengganggu sistem. Berdasarkan hal tersebut, kerja praktik ini dilakukan untuk mengukur arus bocor resistif pada LA sebagai dasar evaluasi kelayakan dan input pemeliharaan [3][5].

Penelitian ini bertujuan mengukur arus bocor resistif pada LA di GI 150kV Cigereleng untuk evaluasi kelayakan dan masukan pemeliharaan PT PLN, dengan fokus pada pengukuran arus bocor resistif LA untuk mengevaluasi dan membandingkan kelayakan unit-unit berdasarkan data, tanpa mencakup analisis gangguan petir, aspek mekanis, atau sistem proteksi lain agar pembahasan tetap terarah. Tujuan kerja praktik ini adalah melakukan pengukuran arus bocor pada LA dan menentukan kelayakan LA berdasarkan hasil pengujian, dengan manfaat meliputi pengalaman untuk membandingkan teori kuliah dengan realitas lapangan.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini Adalah sebagai berikut:



Gambar 1. *Flowchart* penelitian

2.1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh pemahaman teoritis mengenai standar kelayakan peralatan proteksi tegangan tinggi. Sumber literatur tersebut berasal dari buku pedoman PLN Persero. Dalam pedoman tersebut menunjukan beberapa nilai yang terbagi menjadi 2 kelompok, yang berdasarkan pabrikan serta batasan yang ditentukan dari buku pedoman. Batasan nilai arus bocor maksimum ini ditentukan melaui pendekatan sebagai berikut;

1. Batasan arus bocor resistif maksimum yang diberikan oleh pabrikan. Ditunjukan Tabel 1

Tabel 1 Batasan Nilai Arus Bocor Resistif yang diberikan Pabrikan

Merk	Tipe	IRES MAX (μA)	KV
ABB	XAR/XLIM R	91	70, 150
	XAQ/ XMQ	130	150
	XAP-A/XAP-C/XLIM Q	167	70, 150

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Merk	Tipe	IRES MAX (μA)	KV
	EXLIM P-A/ EXLIM P-B/ EXLIM P-D	167	150, 500
	XAP-B/ EXLIM P-C	331	
	EXLIM T	251	500
BOWTHORPE	2VACM	91	150
OHIO BRASS	MPR	91	70,150
	VN	130	-
WESTINGHOUSE	W1	91	-

2. Bila nilai arus bocor resistif maksimum tidak diberikan oleh pabrikan, maka digunakan batasan sebagai berikut:
   a. Nilai maksimum arus bocor resistif untuk tegangan 70 kV = 100 mikroAmpere
   b. Nilai maksimum arus bocor resistif untuk tegangan 150 kV = 150 mikroAmpere
   c. Nilai maksimum arus bocor resistif untuk tegangan 275 kV = 200 mikroAmpere
   d. Nilai maksimum arus bocor resistif untuk tegangan 500 kV = 250 mikroAmpere

2.2. Survei Lapangan

Survei lapangan dilakukan untuk mengidentifikasi secara menyeluruh seluruh Lightning Arrester (LA) yang terpasang pada Gardu Induk 150 kV Cigereleng. Kegiatan ini mencakup pencatatan tipe dan merk LA (misalnya polymer atau porcelain, station class maupun distribution class), umur operasi sejak pemasangan, serta posisi pemasangan pada setiap fase atau bay (incoming, outgoing, maupun transformator). Selain itu, riwayat perawatan seperti pembersihan, pengujian, penggantian, atau perbaikan juga didokumentasikan. Kondisi fisik LA saat ini diperhatikan secara detail, misalnya adanya retakan, perubahan warna, kontaminasi, atau bekas flashover. Lingkungan sekitar juga dicatat, misalnya kedekatan dengan jalan raya, kawasan industri, atau potensi polusi garam dan debu yang dapat mempercepat degradasi isolator. Setiap LA didokumentasikan melalui foto dan nomor seri serta rating tegangannya dicatat, kemudian dibuat peta lokasi yang menggambarkan posisi masing-masing LA baik pada single line diagram maupun tata letak fisik gardu. Jika tersedia, data historis hasil pengujian atau pengukuran arus bocor sebelumnya juga dihimpun untuk analisis tren dan pembanding.

2.3. Pengukuran dan Pengumpulan Data

Sebelum memulai pengukuran, ada beberapa tahap penting yang harus dilakukan. Pertama, pastikan alat LCM (Leakage Current Monitor) disusun dengan benar sesuai Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian alat pengukuran LCM

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Pemasangan clip-on dan probe dilakukan sesuai standar untuk menjamin ketepatan pengukuran arus listrik. Kesalahan dalam pemasangan berpotensi menghasilkan data yang tidak akurat, sehingga sebelum digunakan perlu dipastikan kondisi alat dalam keadaan baik, tanpa kabel yang rusak maupun konektor yang kendur yang dapat memengaruhi hasil pengukuran [6]. Setelah itu, dilakukan kalibrasi alat LCM sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. Proses kalibrasi ini bertujuan untuk memastikan alat bekerja dengan tingkat akurasi yang sesuai dengan standar pengukuran.



Gambar 3. Rangkaian Kalibrasi

Pengaturan alat Leakage Current Monitor (LCM) merupakan tahap penting untuk menjamin kesesuaian hasil pengukuran dengan standar yang berlaku. Pada pengukuran di lapangan, LCM dioperasikan dalam mode tiga fasa dengan memasukkan estimasi suhu Lightning Arrester (LA) secara manual untuk kondisi pengukuran tidak kontinu. Tegangan operasional (Uc) diatur sesuai dengan spesifikasi peralatan, sedangkan jumlah cacah perhitungan (average) ditetapkan antara 10 hingga 20 kali guna meminimalkan standar deviasi dan meningkatkan reliabilitas data. Penempatan electric probe juga dilakukan secara terukur, yaitu sekitar 10 cm di bawah insulator dudukan LA secara vertikal dan 5 cm dari permukaan LA secara horizontal, tanpa menyentuh piring insulator [6], sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Dengan pengaturan tersebut, proses pengukuran diharapkan berlangsung aman, akurat, serta sesuai dengan standar teknis yang ditetapkan.

2.4. Analisis Data

Analisis data pengujian arus bocor pada Lightning Arrester (LA) dilakukan melalui pendekatan komparatif yang mendalam dan sistematis, di mana nilai-nilai hasil pengukuran arus bocor resistif dari alat Leakage Current Monitor (LCM) dibandingkan secara teliti dengan batasan atau ambang batas nilai yang diperoleh dari studi literatur [3].

3. Hasil dan Pembahasan

Dalam pengukuran arus bocor resistif (Ires) yang dilakukan pada tanggal 16 Januari 2025 dibagi menjadi 3 kelompok untuk mengevaluasi kondisi LA secara lebih sistematis berdasarkan fungsi, posisi, dan karakteristik beban masing-masing bay di Gardu Induk, didapatkan hasil yang ditunjukan oleh Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4.

1. Bay Interbus

Tabel 2 Data arus bocor resistif (Ires) kelompok Bay Interbus

No	Bay	Fasa	2021 (µA)	2022 (µA)	2023 (µA)	2024 (µA)	2025 (µA)	Merk (tipe)
1	IBT1	R	54	66	35	36	38	Siemens (3EL2

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

No	Bay	Fasa	2021 (µA)	2022 (µA)	2023 (µA)	2024 (µA)	2025 (µA)	Merk (tipe)
		S	24	33	14	15	16	144-6PP42-4XA2) 2012
		T	51	53	26	23	24	
2	IBT2	R	102	97	49	57	58	ABB AB (P144-XC170) 2017
		S	87	54	28	22	28	
		T	59	84	37	38	41	

Bay interbus berfungsi sebagai penghubung antar sistem bus di dalam gardu maupun dengan gardu lainnya. LA yang terpasang pada bay ini bertugas melindungi sistem dari lonjakan tegangan yang dapat datang dari kedua arah interkoneksi, baik akibat petir maupun switching. Oleh karena itu, pengukuran LA pada bay interbus penting dilakukan secara khusus untuk mendeteksi potensi degradasi akibat eksposur dua arah terhadap gangguan sistem eksternal.

Berdasarkan hasil pengukuran arus bocor lightning arrester pada bay Interbus yang ditunjukkan pada tabel 2, dapat diamati bahwa nilai arus bocor resistif dari tahun 2021 hingga 2025 secara konsisten berada di bawah batas maksimum yang direkomendasikan, yaitu 150 µA.

Merujuk pada jenis (type) alat yang digunakan dan berdasarkan data pengujian, seluruh nilai arus bocor pada ketiga fasa (R, S, T) baik untuk IBT 1 maupun IBT 2 tidak melebihi ambang batas tersebut. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa lightning arrester yang terpasang pada bay Interbus masih berada dalam kondisi layak dan aman untuk digunakan sesuai standar yang berlaku.

2. Bay Trafo

Tabel 3 Data arus bocor resistif (Ires) kelompok Bay Trafo

No	Bay	Fasa	2021 (µA)	2022 (µA)	2023 (µA)	2024 (µA)	2025 (µA)	Merk (tipe)
1	Trafo 6	R	89	88	56	57	57	HUBBLE (PH3171GV132) 2015
		S	45	57	39	32	37	
		T	62	77	45	44	48	
2	Trafo 7	R	84	93	51	55	51	ABB AB (P144-XV170) 2017
		S	39	40	21	24	29	
		T	65	73	38	36	23	
3	Trafo 9	R	53	40	25	27	27	BOWTHORPE (2MB150S) 1989
		S	38	38	20	21	25	

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

No	Bay	Fasa	2021 (µA)	2022 (µA)	2023 (µA)	2024 (µA)	2025 (µA)	Merk (tipe)
		T	49	60	28	32	34	
4	Trafo 10	R	63	65	34	35	37	SIEMENS (3EL2 144-6PP42-4NA1)
		S	7	9	2	2	1	
		T	47	40	24	24	26	

Pada bay trafo menghubungkan sistem tegangan tinggi dengan transformator daya. LA pada bay ini sangat krusial karena berperan melindungi transformator yang merupakan aset bernilai tinggi dari lonjakan tegangan yang bisa merusak isolasi internal. Arus bocor resistif pada LA di bay trafo perlu diamati secara cermat karena transformator cenderung memiliki beban stabil dan pengaruh induksi magnetik yang khas.

Pada Bay Trafo tidak ada yang masuk dalam klasifikasi Merk (Type) yang diberikan oleh pabrikan sehingga berpacu pada nilai rekomendasi. Pada hasil pengukuran dari bay trafo memiliki nilai yang cukup baik, dari segi batas maksimum yang diberikan oleh rekomendasi. Tetapi terdapat hal yang disoroti dikarenakan nilai dari bay Trafo 10 fasa S memiliki nilai yang selalu kurang dari 10 dan terlihat dari hasil pengurkuran pada tabel 3.2 perbedaan yang signifikan dibandingkan dengan Lightning Arrester yang lainnya dari 5 tahun kebelakang. Tetapi dalam hal ini bukanlah suatu hal yang harus diwaspadai, dikarenakan nilai juga termasuk stabil karena tidak menurun secara drastis.

Maka dari itu, dapat dinyatakan juga bahwa pengukuran dalam LCM di monitoring dari nilai tahun tahun sebelumnya, bukan hanya dari standar batas maksimum resistif yang diberikan oleh pabrikan atau dari nilai rekomendasi PLN.

3. Bay Penghantar

Tabel 4 Data Arus bocor resistif (Ires) kelompok Bay Penghantar

No	Bay	Fasa	2021 (µA)	2022 (µA)	2023 (µA)	2024 (µA)	2025 (µA)	Merk (tipe)
1	BRAGA 1	R	49	56	27	32	33	SIEMENS (3EP2 150-2PH31-2CA1) 2010
		S	25	22	9	12	16	
		T	37	36	19	20	24	BOWTHORPE (MCA4-144) 1996
2	BRAGA 2	R	44	53	31	35	39	
		S	21	26	11	15	15	
		T	61	40	22	21	18	
3	CIBEUREUM 1	R	159	189	68	50	50	
		S	152	175	112	22	28	

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

No	Bay	Fasa	2021 (µA)	2022 (µA)	2023 (µA)	2024 (µA)	2025 (µA)	Merk (tipe)
		T	131	140	80	35	37	
4	CIBEUREUM 2	R	105	113	71	72	73	
		S	53	69	21	20	28	
		T	100	103	57	55	58	
5	BANDUNG SELATAN 1	R	82	73	46	45	49	
		S	44	27	10	12	25	
		T	46	48	26	24	21	
5	BANDUNG SELATAN 2	R	59	79	37	52	45	
		S	26	37	8	14	16	
		T	56	47	23	31	17	
8	LAGADAR 1	R	87	117	57	52	53	
		S	160	134	17	20	26	
		T	134	110	36	36	34	
6	RAJAMANDALA	R	46	55	35	38	16	ASEA (XAA 150) 1979
		S	84	81	73	75	63	
		T	63	25	39	29	28	
7	SUKALUYU	R	54	59	61	34	53	
		S	61	141	62	57	63	
		T	117	157	92	90	28	
9	LAGADAR 2	R	178	125	34	55	62	SIEMENS (3EP6 132-3PF41-2XA1-Z) 2018
		S	165	38	24	14	20	
		T	245	83	72	36	40	

Bay penghantar (feeder) memiliki fungsi utama dalam menyalurkan energi dari gardu induk menuju jaringan distribusi maupun transmisi lanjutan. Lightning Arrester (LA) yang terpasang

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

pada bay ini relatif lebih rentan terhadap tekanan lingkungan, termasuk paparan sambaran petir langsung, karena jalur penghantar umumnya berada di luar ruangan. Oleh sebab itu, pengukuran arus bocor resistif pada bay penghantar menjadi aspek penting untuk mendeteksi lebih dini potensi kerusakan akibat akumulasi gangguan eksternal.

Hasil pengukuran berdasarkan merk dan tipe LA menunjukkan bahwa nilai arus bocor resistif secara umum masih berada dalam kisaran rekomendasi standar. Namun demikian, pada Tabel 3.3 tercatat beberapa nilai yang melebihi ambang batas maksimum, antara lain pada bay Cibeureum fasa R dan S pada tahun 2021 dan 2022, bay Sukaluyu fasa T tahun 2022, bay Lagadar 1 fasa S tahun 2021, serta bay Lagadar 2 di seluruh fasa pada tahun 2021. Menariknya, pada tahun berikutnya nilai arus bocor resistif kembali menurun dan konsisten berada di bawah ambang batas maksimum. Penurunan ini dapat dikaitkan dengan adanya penggantian LA pada tahun-tahun selanjutnya, sehingga kinerja proteksi kembali sesuai dengan standar kelayakan.

Dengan demikian, hasil evaluasi hingga tahun terakhir pengamatan, yaitu 2025, menunjukkan bahwa seluruh LA pada bay penghantar berada dalam kondisi layak operasi, khususnya pada unit-unit yang telah dilakukan pembaruan. Temuan ini menegaskan bahwa kegiatan pemeliharaan dan penggantian LA berperan penting dalam menjaga keandalan sistem proteksi pada gardu induk.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian di PT. PLN (Persero) UPT Bandung ULTG Bandung Selatan, dapat disimpulkan bahwa pengukuran arus bocor pada Lightning Arrester (LA) merupakan metode yang efektif dalam mengevaluasi kondisi dan kinerja perangkat. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa LA berada dalam kondisi layak apabila arus bocor masih berada pada rentang batas standar, sedangkan nilai yang melebihi ambang batas mengindikasikan ketidaklayakan dan perlunya tindakan perbaikan atau penggantian. Dengan demikian, evaluasi rutin arus bocor resistif terbukti berperan penting dalam menjaga keandalan sistem proteksi terhadap lonjakan tegangan dan memastikan kontinuitas operasi sistem kelistrikan.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kami sampaikan pada PT. PLN (Persero) UPT Bandung ULTG Bandung Selatan atas Kerjasama dalam penelitian ini dan Jurusan Teknik Elektro UIN Sunan Gunung Djati Bandung atas support dalam penyelesaian paper ini.

Referensi

[1] K. Qiu *et al.*, “Retracted: Research on tridimensional monitoring and defence technology of substation(IET Circuits, Devices and Systems, (2022), 17, (3)),” *IET Circuits, Devices Syst.*, vol. 17, no. 4, pp. 258–267, 2023, doi: 10.1049/cds2.12129.

[2] R. AHMAD, “Anaisis Penentuan Kelayakan Arus Bocor Lightning Arrester Di Gardu Induk 150 Kv Cepu,” *Pap. Knowl. . Towar. a Media Hist. Doc.*, vol. 3, no. April, pp. 49–58, 2021.

[3] Shoimatussururoh and B. Dwi cahyono, “Pemeliharaan Lightning Arrester (LA) pada Gardu Induk Saketi 150kv di PT. PLN (Persero) ULTG Rangkasbitung,” *INSOLOGI J. Sains dan Teknol.*, vol. 1, no. 5, pp. 520–531, 2022, doi: 10.55123/insologi.v1i5.869.

[4] D. D. Memenuhi, *LIGHTNING ARRESTER DENGAN METODE PANTULAN BERULANG TERHADAP TRANSIEN GELOMBANG SURJA PADA GARDU INDUK 150 KV BRINGIN UNIVERSITAS SEMARANG BERULANG TERHADAP TRANSIEN GELOMBANG*. 2024.

[5] Z. Farras Sumarna *et al.*, “Analisis Pengukuran Tahanan Kontak dan Tahanan Pertanahan Pada Pemutus Tenaga (PMT) Analysis of Contact Resistance Measurement and Grounding Resistance on Circuit Breaker,” *Sent. Vi 2021*, no. November, pp. 191–200, 2021.

[6] S. S. Mukrimaa *et al.*, “Pedoman Proses Pemeliharaan Lightning Arrester,” *J. Penelit. Pendidik. Guru Sekol. Dasar*, vol. 6, no. August, p. 128, 2024.

ID: 05

Analisis Pemeliharaan Lightning Arrester pada Bay Transformator 3 Gardu Induk 150 kV Rancaekek

Analysis of Lightning Arrester Maintenance on Transformer Bay 3 at the 150 kV Rancaekek Substation

Affan Tsabit[1*], Yudha Pratama Simamora[2], Eki Ahmad Zaki Hamidi[3], Teddy Yusuf[4]
[1,3,4]Jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Gunung Djati Bandung
Jln. AH Nasution 105 Bandung 40614
[2] PT. PLN (Persero) ULTG Bandung Timur
Cihanjuang, Kec. Cimanggung, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat 45364
affantsabit03@gmail.com[1*], yudha.p@pln.co.id[2], ekiahmadzaki@uinsgd.ac.id[3],
chomsky_si@yahoo.com[4]

Abstrak – *Untuk menjaga keandalan sistem tenaga listrik, diperlukan peralatan proteksi yang mampu melindungi komponen dari gangguan. Salah satunya adalah lightning arrester, yang berfungsi melindungi sistem dari tegangan lebih akibat surja petir maupun surja hubung. Agar kinerjanya tetap optimal, perangkat ini harus menjalani pemeliharaan dan pengujian berkala. Preventive maintenance umumnya dilakukan setiap dua tahun untuk menjaga performa peralatan sekaligus mencegah kerusakan mendadak.Pemeliharaan lightning arrester meliputi beberapa kegiatan penting, yaitu pembersihan peralatan, pengujian tahanan isolasi, dan pengujian tangen delta. Pembersihan bertujuan menghilangkan kotoran yang dapat mengganggu fungsi isolasi. Pengujian tahanan isolasi menilai kemampuan menahan tegangan lebih, sedangkan pengujian tangen delta mengevaluasi kualitas dielektrik bahan isolasi. Hasil pengujian dibandingkan dengan data sebelumnya guna mendeteksi penurunan performa. Jika terjadi penyimpangan, maka dilakukan analisis lebih lanjut atau perawatan tambahan. Laporan ini disusun berdasarkan kegiatan Praktik Industri di Bay Trafo 3 Gardu Induk 150 kV Rancaekek, dengan fokus pada pemeliharaan dan pengujian lightning arrester sebagai upaya menjaga keandalan sistem tenaga listrik.*

Kata Kunci*: Lightning arrester, pemeliharaan preventif, pengujian tahanan isolasi, pengujian tangen delta, sistem tenaga listrik.*

Abstract – *Substation, designed to safeguard the power system from voltage surges caused by lightning strikes or switching operations. Over time, LAs may undergo degradation, indicated by an increase in resistive leakage current that reflects the internal health condition of the device. This study aims to evaluate the feasibility of the LAs through resistive leakage current measurements using a Leakage Current Monitor (LCM) at the 150 kV Cigereleng Substation, PT PLN (Persero). The measurement data were compared with the standard limits specified in PLN guidelines and manufacturer specifications to determine the serviceability status of each LA unit. The results show that most LA units remain within the safe limit (below 150 μA for 150 kV), although some units exhibit signs of performance degradation that require further monitoring or replacement. This study contributes to assessing the reliability of the protection system in substations.*

Keywords*: Lightning arrester, preventive maintenance, insulation resistance testing, tan delta testing, power system, surge voltage, Rancaekek Substation, system reliability, insulation quality*

1. Pendahuluan

Sebagai salah satu negara dengan populasi terbesar di dunia, Indonesia memiliki kebutuhan energi listrik yang meningkat seiring pertumbuhan penduduk dan perkembangan industri. Untuk memenuhi keutuhan energi listrik tersebut Indonesia mengandalkan sumber daya alamnya yang melimpah sebagai sumber energi pada pembangkit listrik. Setelah listrik dibangkitkan proses transmisi listrik merupakan salah satu tahapan penting dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi mentransmisikan listrik dari pembangkit ke Gardu Induk[1].

Dibandingkan dengan kendaraan konvensional, kendaraan listrik merupakan salah satu teknologi yang paling menguntungkan bagi lingkungan [2]. Sepeda motor listrik dianggap sebagai inovasi baru yang menguntungkan lingkungan. Sepeda motor listrik dianggap sebagai solusi berkelanjutan untuk mengatasi pencemaran lingkungan dan kelangkaan energi di seluruh dunia. Sepeda motor listrik memiliki keunggulan dibandingkan dengan kendaraan berbahan bakar mesin konvensional karena mereka tidak menghasilkan emisi gas buang. Rantai penggerak adalah perbedaan utama yang membedakan kendaraan listrik dari kendaraan biasa yang ditenagai oleh mesin internal combustion (ICE). Daripada kendaraan konvensional, kendaraan listrik dapat mentransmisikan daya dengan lebih mudah dan memiliki kapasitas untuk menyimpan energi [3].

Pada sistem tenaga listrik gardu induk merupakan salah satu komponen penting dalam sistem tenaga listrik. Gardu induk berperan sebagai penghubung antara penyuplai tenaga listrik yaitu sistem pembangkit, sistem jaringan transmisi dengan jaringan interkoneksi dan juga sistem jaringan distribusi sehingga listrik bisa digunakan oleh pelanggan. Gardu induk terdiri dari peralatan atau material transmisi utama (MTU) yang saling terhubung membentuk sebuah sistem. Salah satu MTU yang terdapat dalam sistem gardu induk adalah *Surge Arrester* atau *Lightning Arrester* berfungsi sebagai alat proteksi MTU yang lainnya dari tegangan surja baik surja hubung ataupun surja petir dengan mengalirkan arus berlebih langsung menuju ke tanah[2].

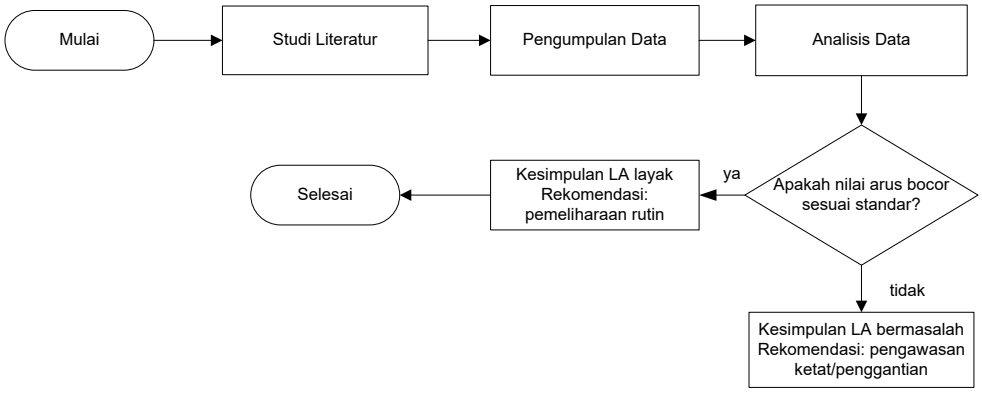
Lightning arrester yang fungsinya berhubungan dengan tegangan surja dan berperan sebagai proteksi untuk peralatan lain memiliki beberapa perlakuan pemeliharaan yang diberikan petugas, salah satunya adalah pemeliharaan preventif[3][4]. Pemeliharaan preventif merupakan pemeliharaan yang dilakukan secara teratur dan sistematis sebagai bentuk upaya memastikan kinerja *Lightning arrester* sesuai dengan standarnya[5]. Pemeliharaan preventif yang dilakukan pada *Lightning arrester* ini dilaksanakan pada kegiatan Pemeliharaan Rutin 2 Tahunan Bay Trafo 3 GI 150 kV Rancaekek.

2. Metode Penelitian

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai alur penelitian, rancangan metode dalam studi ini disajikan dalam bentuk bagan alir (*flowchart*). Bagan tersebut merepresentasikan tahapan penelitian secara sistematis, dimulai dari kegiatan studi literatur, proses pengumpulan data primer maupun sekunder, pengolahan dan analisis data, hingga pengambilan keputusan serta penyusunan rekomendasi pemeliharaan Lightning Arrester pada Bay Transformator 3 Gardu Induk 150 kV Rancaekek.

Setiap tahapan yang tercantum dalam bagan alir memiliki fungsi spesifik dalam mendukung validitas hasil penelitian. Melalui penyajian metode dalam bentuk *flowchart*, diharapkan proses penelitian dapat ditunjukkan secara runtut, terstruktur, serta sesuai dengan kaidah ilmiah yang berlaku.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 1. Flowchart penelitian

2.1. Studi Literatur

Tahap awal penelitian dilakukan melalui studi literatur yang mencakup teori dasar mengenai Lightning Arrester, standar pemeliharaan yang berlaku (PLN, IEC, maupun pabrikan), serta metode evaluasi kinerja berdasarkan parameter teknis. Studi literatur ini bertujuan memberikan landasan konseptual dan acuan teknis dalam merancang penelitian.

2.2. Pengumpulan Data

Data penelitian diperoleh melalui dua jenis sumber, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer mencakup hasil inspeksi visual terhadap kondisi fisik Lightning Arrester serta pengukuran arus bocor resistif menggunakan *Leakage Current Tester*. Sementara itu, data sekunder meliputi data historis pemeliharaan, laporan operasi peralatan, serta spesifikasi teknis dari pabrikan. Seluruh proses pengumpulan data dilaksanakan secara sistematis untuk menjamin keakuratan dan kelengkapan informasi yang diperlukan dalam analisis.

2.3. Analisis Data

Data yang telah diperoleh selanjutnya diolah dan dianalisis melalui dua pendekatan utama, yaitu perbandingan standar dan analisis tren. Perbandingan standar dilakukan dengan mengacu pada batas nilai arus bocor yang ditetapkan oleh pabrikan maupun standar IEC/PLN, sedangkan analisis tren dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran saat ini terhadap data historis pemeliharaan sebelumnya untuk mengetahui perkembangan kondisi Lightning Arrester. Melalui kedua pendekatan ini, kondisi kinerja peralatan dapat dievaluasi secara lebih komprehensif.

2.4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, dilakukan pengambilan keputusan mengenai kondisi Lightning Arrester dengan mempertimbangkan nilai arus bocor yang terukur. Apabila nilai tersebut masih berada dalam batas normal sesuai standar, maka Lightning Arrester dinyatakan layak beroperasi dengan rekomendasi pemeliharaan rutin. Sebaliknya, apabila nilai melebihi ambang batas yang ditentukan, maka peralatan dianggap mengalami penurunan kinerja sehingga diperlukan tindakan lanjutan berupa pengawasan intensif atau penggantian unit.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian Lightning Arrester dilaksanakan untuk memperoleh gambaran kondisi aktual peralatan melalui serangkaian pengukuran, meliputi tahanan isolasi, uji tangen delta, dan tahanan

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

pentanahan. Berdasarkan hasil pengukuran, nilai tahanan isolasi berada pada kategori baik, nilai tangen delta menunjukkan angka yang rendah sehingga kualitas dielektrik arrester tetap terjaga, serta nilai tahanan pentanahan tercatat di bawah batas maksimum yang dipersyaratkan oleh standar. Temuan tersebut mengindikasikan bahwa Lightning Arrester pada Bay Transformator Gardu Induk 150 kV Rancaekek masih dalam kondisi layak operasi dan efektif dalam menjalankan fungsi proteksi terhadap gangguan tegangan lebih.

Pengujian Lightning Arrester pada Bay Transformator 3 Gardu Induk 150 kV Rancaekek dilakukan melalui tiga metode utama, yaitu pengukuran tahanan isolasi, pengujian tangen delta, dan pengukuran tahanan pentanahan. Pengujian tahanan isolasi dilakukan dengan *Insulation Resistance Tester (Megger)* untuk mengevaluasi kualitas isolasi antara arrester dan tanah. Nilai tahanan isolasi yang diperoleh berada pada kategori tinggi sehingga menandakan bahwa isolasi Lightning Arrester masih dalam kondisi baik dan belum menunjukkan degradasi signifikan.

Selanjutnya, pengujian tangen delta (tan δ) menggunakan *Tan Delta/Power Factor Test Set* dilakukan untuk menilai kualitas dielektrik internal arrester. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai tangen delta berada pada rentang rendah (< 1%), yang mengindikasikan kondisi dielektrik masih baik serta tidak terdapat indikasi kelembapan atau kerusakan internal.

Pengujian berikutnya adalah pengukuran tahanan pentanahan menggunakan *Earth Resistance Tester* dengan metode tiga titik (*3-point method*). Nilai tahanan pentanahan yang diperoleh lebih kecil dari 5 Ω dan bahkan mendekati < 1 Ω, sesuai dengan standar yang dipersyaratkan untuk sistem tegangan tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa sistem grounding mampu menyalurkan arus petir secara efektif ke tanah tanpa menimbulkan risiko gangguan tambahan.

Secara keseluruhan, hasil ketiga pengujian tersebut mengindikasikan bahwa Lightning Arrester pada Bay Transformator 3 GI 150 kV Rancaekek masih dalam kondisi layak operasi. Peralatan ini dinilai efektif dalam melindungi sistem dari tegangan lebih, sehingga dapat dipertahankan dengan program pemeliharaan rutin.

3.1. Hasil Pengujian Tahanan Isolasi

Pengujian tahanan isolasi dilakukan pada Lightning Arrester di fasa R, S, dan T dengan metode pengukuran dari titik Atas–Bawah (AB), Atas–Ground (AG), serta Bawah–Ground (BG). Hasil pengukuran ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil Tahanan Isolasi

Fasa	**Nilai Tahanan**		
	A-B	**A-G**	**B-G**
Fasa R	308.000 Ω	581.000 Ω	>1000000 Ω
Fasa S	641.000 Ω	347.000 Ω	520.000 Ω
Fasa T	775.000 Ω	>1000000 Ω	>1000000 Ω

Berdasarkan hasil pengukuran, fasa R menunjukkan nilai tahanan 308.000 Ω (AB) dan 581.000 Ω (AG), sedangkan BG mencapai >1.000.000 Ω, yang masih berada dalam kategori aman. Fasa S memperoleh nilai 641.000 Ω (AB), namun nilai AG lebih rendah, yaitu 347.000 Ω,

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

dan BG sebesar 520.000 Ω. Nilai ini menandakan adanya sedikit penurunan kualitas dibanding fasa lainnya. Fasa T memiliki hasil terbaik, yaitu 775.000 Ω (AB) dan >1.000.000 Ω pada dua titik ukur lainnya, yang menunjukkan kualitas isolasi sangat optimal. Secara keseluruhan, ketiga fasa masih memenuhi standar keamanan, dengan fasa T sebagai kondisi terbaik, sedangkan fasa S perlu mendapat perhatian dalam pemeliharaan berkala.



Gambar 2. Pengujian tahanan isolasi

3.2. Hasil Pengujian Tangen Delta

Pengujian tangen delta bertujuan menilai kualitas dielektrik Lightning Arrester. Pengujian dilakukan pada masing-masing fasa dengan tegangan uji 10 kV. Hasil pengukuran disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Pengukuran Tangen Delta

TYPE PENGUJIAN	TEGANGAN (KV)	ARUS (mA)	WATT LOSS (mA)
Phsa R			**Hasil Ukur**
GST-G	10	0,3674	0,0585
Phasa S			**Hasil Ukur**
GST-G	10	0,3603	0,0929
Phasa T			**Hasil Ukur**
GST-G	10	0,3674	0,1398

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa fasa R memiliki nilai Watt Loss terendah sebesar 0,0585 mA, sedangkan fasa T mencatat Watt Loss tertinggi, yaitu 0,1398 mA. Nilai Watt Loss yang besar pada fasa T mengindikasikan adanya kemungkinan penurunan kualitas isolasi, yang dapat disebabkan oleh faktor kelembapan, kontaminasi, atau degradasi material internal. Kondisi ini perlu mendapatkan perhatian khusus melalui pengukuran ulang serta pemeriksaan fisik. Untuk menjaga efektivitas proteksi, perawatan rutin berupa pembersihan dan perlindungan dari kelembapan mutlak diperlukan agar nilai tangen delta tetap rendah.

Hasil tersebut sejalan dengan prinsip bahwa semakin tinggi nilai Watt Loss, maka semakin besar pula rugi daya dielektrik yang terjadi pada isolator. Kondisi ini menandakan bahwa

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

kemampuan isolasi Lightning Arrester dalam menahan tegangan lebih berangsur menurun. Jika tidak segera ditindaklanjuti, penurunan kualitas isolasi dapat meningkatkan risiko kegagalan proteksi ketika terjadi surja petir atau switching. Oleh karena itu, penerapan pemeliharaan prediktif berbasis tren nilai tangen delta menjadi penting untuk mendeteksi dini degradasi material dan merencanakan tindakan perbaikan sebelum terjadi gangguan yang dapat mengakibatkan kerusakan peralatan utama transformator.



Gambar 3. Pengujian tangen delta

3.3. Hasil Pengujian *Grounding*

Pengujian tahanan pentanahan dilakukan untuk memastikan sistem grounding mampu menyalurkan arus petir maupun gangguan secara efektif. Hasil pengukuran ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Pengujian *Grounding*

Titik Ukur	Fasa R		Fasa S		Fasa T	
	Standard	Hasil Ukur	Standard	Hasil Ukur	Standard	Hasil UKur
Tahanan Pentanahan	< 1Ω	0,01	< 1Ω	0,19	< 1Ω	0,09

Berdasarkan hasil pengujian, ketiga fasa menunjukkan nilai tahanan pentanahan yang jauh di bawah batas standar 1 Ω. Fasa R mencatat nilai paling rendah, yaitu 0,01 Ω, sedangkan fasa S dan T masing-masing sebesar 0,19 Ω dan 0,09 Ω. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem pentanahan berada dalam kondisi sangat baik, efektif dalam menyalurkan arus gangguan, serta aman terhadap risiko lonjakan tegangan. Tidak ditemukan indikasi peningkatan resistansi yang signifikan, sehingga sistem grounding dinyatakan layak tanpa memerlukan tindakan perbaikan.



Gambar 4. Pengujian grounding

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

3.4. Pembahasan Umum

Berdasarkan ketiga jenis pengujian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa Lightning Arrester pada Bay Trafo 3 Gardu Induk 150 kV Rancaekek masih dalam kondisi layak operasi. Tahanan isolasi pada seluruh fasa memenuhi standar meskipun fasa S menunjukkan nilai yang relatif lebih rendah. Pengujian tangen delta mengindikasikan adanya potensi penurunan kualitas pada fasa T, sehingga pemeliharaan lebih intensif diperlukan pada bagian ini. Sementara itu, sistem grounding menunjukkan hasil yang sangat baik dengan nilai tahanan jauh di bawah standar. Secara keseluruhan, kondisi Lightning Arrester dapat dinyatakan andal, namun tetap diperlukan pemeliharaan preventif agar performa proteksi terhadap lonjakan tegangan tetap optimal.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang meliputi tahanan isolasi, tangen delta, dan tahanan pentanahan, dapat disimpulkan bahwa Lightning Arrester pada Bay Transformator 3 Gardu Induk 150 kV Rancaekek masih berada dalam kondisi layak operasi. Nilai tahanan isolasi pada ketiga fasa menunjukkan kategori aman, dengan fasa T memiliki kualitas isolasi terbaik, sementara fasa S sedikit lebih rendah namun tetap memenuhi standar. Hasil pengujian tangen delta mengindikasikan bahwa fasa R memiliki performa terbaik dengan Watt Loss terendah sebesar 0,0585 mA, sedangkan fasa T mencatat Watt Loss tertinggi, yaitu 0,1398 mA, yang menandakan adanya indikasi penurunan kualitas isolasi dan perlu mendapatkan perhatian khusus melalui pemantauan serta pemeriksaan fisik. Sementara itu, pengujian tahanan pentanahan menghasilkan nilai jauh di bawah batas standar (<1 Ω), yang menunjukkan bahwa sistem grounding masih sangat efektif dalam menyalurkan arus gangguan ke tanah. Dengan demikian, secara keseluruhan LA pada bay transformator ini masih mampu memberikan proteksi optimal terhadap tegangan lebih, namun diperlukan langkah pemeliharaan preventif dan prediktif secara rutin untuk menjaga keandalan serta mencegah potensi gangguan di masa mendatang.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada pihak PT. PLN (Persero) ULTG Bandung Timur, yang telah membatu dalam penyelesaian penelitian ini, serta kepada Jurusan Teknik Elektro UIN Sunan Gunung Djati Bandung yang sangat mensuport dalam penelitian ini.

Referensi

[1] J. Langer, J. Quist, and K. Blok, “Review of renewable energy potentials in indonesia and their contribution to a 100% renewable electricity system,” *Energies*, vol. 14, no. 21, 2021, doi: 10.3390/en14217033.

[2] M. Golshani, G. A. Taylor, and I. Pisica, “Simulation of power system substation communications architecture based on IEC 61850 standard,” *Proc. Univ. Power Eng. Conf.*, 2014, doi: 10.1109/UPEC.2014.6934745.

[3] Shoimatussururoh and B. Dwi cahyono, “Pemeliharaan Lightning Arrester (LA) pada Gardu Induk Saketi 150kv di PT. PLN (Persero) ULTG Rangkasbitung,” *INSOLOGI J. Sains dan Teknol.*, vol. 1, no. 5, pp. 520–531, 2022, doi: 10.55123/insologi.v1i5.869.

[4] Z. Farras Sumarna *et al.*, “Analisis Pengukuran Tahanan Kontak dan Tahanan Pertanahan Pada Pemutus Tenaga (PMT) Analysis of Contact Resistance Measurement and Grounding Resistance on Circuit Breaker,” *Sent. Vi 2021*, no. November, pp. 191–200, 2021.

[5] E. S. Rahman, M. Y. Mappeasse, and Hasrul, “Studi Pengujian Keserempakan Pemutus Tenaga (Pmt) 150 KvMenggunakan Breaker Analyzer Di Gardu Induk,” *Media Elektr.*, vol. 2, no. 2, pp. 1–9, 2023.

ID: 06

Pemodelan Relai *Differensial* dan Relai Arus Lebih pada Transformator GI BSD 150kV/20kV

Modelling of Differential Relay and Overcurrent Relay on a 150kV/20kV GI BSD Transformer

Dimas Ali Mukhtar[1*], Edi Mulyana[2]
[1,2]Teknik Elektro, UIN Sunan Gunung Djati Bandung, Indonesia
Jl. AH. Nasution 105 Bandung, Indonesia
dimasalimukhtar@gmail.com[1*], edim@uinsgd.ac.id[2]

Abstrak – *Transformator memiliki peran penting dalam menjaga keandalan penyaluran tenaga listrik, sehingga diperlukan sistem proteksi yang efektif untuk mengantisipasi dampak gangguan hubung singkat. Laporan kerja praktik ini membahas pemodelan transformator dengan konfigurasi Yn-Yn pada GI BSD 150kV/20kV beserta sistem proteksi menggunakan relai diferensial dan relai arus lebih dengan bantuan perangkat lunak Software simulasi. Tujuan penelitian ini adalah memodelkan transformator, membangun sistem proteksi, menganalisis respons sistem terhadap berbagai skenario gangguan hubung singkat, serta melakukan validasi hasil simulasi. Pemodelan dilakukan berdasarkan data teknis aktual transformator dan pengaturan proteksi yang digunakan di lapangan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa relai diferensial dan relai arus lebih mampu mendeteksi serta merespons gangguan satu fasa ke tanah, dua fasa, maupun tiga fasa dengan cepat dan akurat. Proses validasi dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi terhadap perhitungan matematis, termasuk melalui simulasi gangguan pada sisi primer dan sekunder transformator terhadap hubung singkat antar fasa. Validasi ini menghasilkan selisih error maksimal sebesar 0,20% yang masih dalam batas toleransi. Hal tersebut membuktikan bahwa model yang dibangun dapat merepresentasikan kondisi aktual secara akurat dan layak dijadikan acuan dalam pengembangan sistem proteksi transformator.*

Kata Kunci*: Pemodelan, Relai differensial, Relai arus lebih, Simulasi, Software simulasi, Transformator.*

Abstract – *Transformers play a vital role in maintaining the reliability of electric power delivery, thus requiring effective protection systems to mitigate the impact of short-circuit faults. This internship report discusses the modeling of a Yn-Yn configured transformer at GI BSD 150kV/20kV, along with the protection system using differential relays and overcurrent relays with the aid of simulation software. The objectives of this study are to model the transformer, develop the protection system, analyze system responses to various short-circuit fault scenarios, and validate the simulation results. The modeling was carried out based on actual technical data of the transformer and the applied protection settings in the field. The simulation results show that the differential relay and overcurrent relay were able to detect and respond to single line-to-ground, double-line, and three-phase faults quickly and accurately. The validation process was conducted by comparing the simulation results with mathematical calculations, including fault simulations on both the primary and secondary sides of the transformer under phase-to-phase short-circuit conditions. The validation yielded a maximum error of 0.20%, which is still within the acceptable tolerance limit. This demonstrates that the developed model can accurately represent actual conditions and can be used as a reliable reference for the development of transformer protection systems.*

Keywords*: Modelling, Differential relay, Overcurrent relay, Simulation, simulation software, Transformer.*

1. Pendahuluan

Sistem tenaga listrik merupakan infrastruktur kritis yang menopang kehidupan modern, di mana transformator memegang peranan sentral dalam transmisi dan distribusi energi [1]. Sebagai jantung dari sistem kelistrikan, keandalan transformator sangat menentukan stabilitas dan kontinuitas pasokan daya [2]. Namun, transformator rentan terhadap berbagai gangguan, terutama gangguan hubung singkat (short circuit) dan arus lebih (overcurrent) yang dapat menyebabkan kerusakan fatal jika tidak segera diatasi [3] [4]. Gangguan ini dapat berasal dari faktor internal, seperti kegagalan isolasi belitan, maupun faktor eksternal, seperti sambaran petir atau kerusakan pada jaringan di luar transformator [5]. Untuk mengatasi ancaman ini, diperlukan sistem proteksi yang andal dan efektif.

Relai proteksi adalah "otak" dari sistem proteksi, yang berfungsi mendeteksi kondisi tidak normal dan mengirimkan sinyal perintah ke pemutus sirkuit untuk mengisolasi bagian yang terganggu [6]. Relai diferensial, misalnya, adalah proteksi utama yang sangat peka terhadap gangguan internal dengan cara membandingkan arus masuk dan keluar transformator [7] [8]. Sementara itu, relai arus lebih berfungsi sebagai proteksi cadangan yang mendeteksi arus lebih baik akibat gangguan internal maupun eksternal [9]. Keduanya harus dikonfigurasi dan dikoordinasi dengan akurat agar dapat melindungi transformator secara optimal.

Studi ini berfokus pada pemodelan transformator GI BSD 150kV/20kV dengan konfigurasi Yn-Yn dan sistem proteksinya menggunakan relai diferensial dan relai arus lebih. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis respons kedua relai tersebut terhadap berbagai skenario gangguan hubung singkat, meliputi gangguan satu fasa ke tanah, dua fasa, dan tiga fasa. Dengan menggunakan perangkat lunak Software simulasi, penelitian ini tidak hanya memodelkan transformator dan sistem proteksinya berdasarkan data teknis aktual di lapangan, tetapi juga melakukan validasi dengan membandingkan hasil simulasi dengan perhitungan matematis. Analisis yang dilakukan diharapkan dapat memberikan wawasan mengenai performa sistem proteksi dan mengidentifikasi anomali yang terjadi selama simulasi [10]. Seluruh proses ini bersifat simulatif dan tidak diimplementasikan langsung pada sistem fisik, menjadikannya acuan berharga untuk pengembangan sistem proteksi transformator di masa depan.

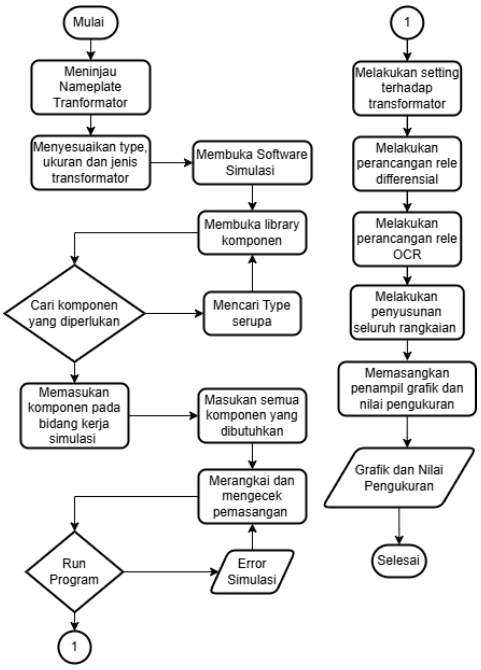
2. Metode Penelitian

2.1. Alur Penelitian

Penelitian ini mengadopsi pendekatan deskriptif analitis dengan fokus utama pada pemodelan dan simulasi numerik. Proses riset dilakukan secara sistematis melalui serangkaian tahapan yang terstruktur, dimulai dari inisiasi studi hingga evaluasi hasil akhir. Proses penelitian ini diawali dengan analisis data *nameplate* transformator, yang berfungsi sebagai basis data teknis untuk konfigurasi model. Data ini sangat krusial karena menentukan parameter listrik, seperti rating tegangan dan arus, yang harus direplikasi secara akurat dalam lingkungan simulasi. Setelah itu, dilakukan pemilihan komponen dari *library* perangkat lunak Software simulasi, termasuk blok-blok transformator, pemutus sirkuit, dan relai. Tahap selanjutnya adalah perancangan rangkaian proteksi, di mana komponen-komponen tersebut dirangkai menjadi sebuah sistem yang merepresentasikan kondisi fisik transformator. Setelah rangkaian terbentuk, langkah berikutnya adalah pengaturan parameter (*setting*) transformator dan relai proteksi, baik relai diferensial maupun relai arus lebih (OCR). Pengaturan ini mencakup penetapan nilai *pickup current*, karakteristik operasi relai, dan parameter-parameter lain yang relevan. Kemudian, panel pengukuran dipasang pada titik-titik strategis dalam rangkaian untuk mengakuisisi data arus dan tegangan selama simulasi. Setelah semua persiapan selesai, simulasi dijalankan untuk merekam respons sistem terhadap berbagai skenario gangguan. Apabila ditemukan *error* atau anomali yang tidak sesuai dengan teori, dilakukan pengecekan ulang dan penyesuaian parameter hingga simulasi berjalan dengan berhasil dan menghasilkan data yang valid. Alur kerja yang terperinci

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

ini digambarkan secara komprehensif pada Gambar 1, yang memandu seluruh proses simulasi proteksi transformator.



Gambar 2 Diagram alir proses simulasi menggunakan software simulasi

Selain itu, dilakukan tahapan tahapan dalam penelitian ini berupa susunan alur yang di mulai dari studi literature hingga analisis dan validasi hasil.

1. Studi Literatur: Tahap awal ini melibatkan kajian komprehensif terhadap literatur, jurnal, buku, dan standar teknis yang relevan dengan sistem tenaga listrik, proteksi transformator, dan jenis-jenis gangguan seperti hubung singkat. Kajian ini mencakup prinsip dasar relai diferensial dan relai arus lebih, serta validasi matematis.
2. Penguasaan Perangkat Lunak: Tahap ini berfokus pada penguasaan lingkungan simulasi MATLAB Software simulasi. Aktivitas yang dilakukan meliputi pemahaman terhadap blok-blok fungsional yang diperlukan untuk pemodelan sistem tenaga dan perancangan sistem proteksi, serta penetapan parameter yang akurat.
3. Pemodelan Sistem: Dilakukan pemodelan transformator daya GI BSD 150kV/20kV berdasarkan data *nameplate* aktual dari lapangan. Pemodelan ini mencakup konfigurasi belitan Yn-Yn serta perancangan model relai diferensial dan relai arus lebih yang mereplikasi fungsi aslinya.
4. Simulasi Gangguan: Setelah pemodelan selesai, dilakukan serangkaian simulasi untuk menguji respons sistem proteksi terhadap berbagai jenis gangguan hubung singkat yang disuntikkan secara buatan, termasuk gangguan satu fasa ke tanah, dua fasa, dan tiga fasa.
5. Analisis dan Validasi Hasil: Tahap akhir adalah menganalisis data yang diperoleh dari simulasi, yang mencakup bentuk gelombang arus dan tegangan, serta waktu operasi relai. Hasil simulasi kemudian divalidasi dengan membandingkannya terhadap perhitungan matematis untuk mengukur tingkat akurasi dan keandalan model.

2.2. Metode Analisis Data

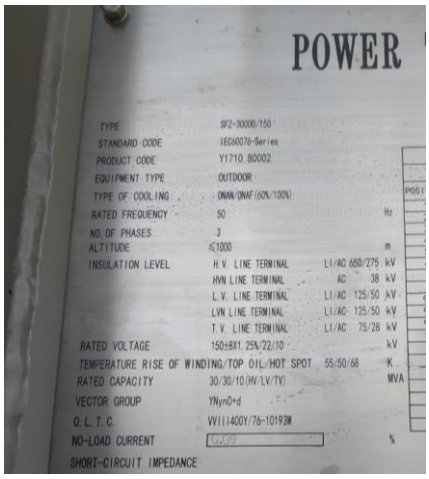
Analisis data dalam penelitian ini melibatkan evaluasi kuantitatif dan kualitatif. Data yang diperoleh dari simulasi mencakup bentuk gelombang arus dan tegangan, yang dianalisis untuk mengidentifikasi anomali dan respons sistem. Data ini diukur menggunakan blok pengukuran arus dan tegangan yang ditempatkan pada titik-titik krusial dalam model. Selanjutnya, hasil simulasi

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

divalidasi dengan membandingkannya terhadap perhitungan matematis. Proses validasi ini esensial untuk mengonfirmasi bahwa model yang dibangun dapat merepresentasikan kondisi fisik secara akurat.

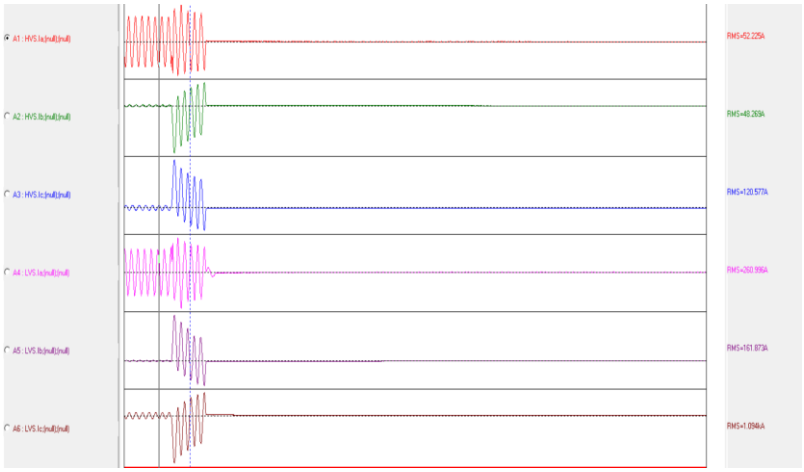
2.3. Data Pendukung Penelitian

Data pendukung utama dalam penelitian ini diperoleh dari Gardu Induk (GI) BSD, meskipun lokasi kerja praktik tidak berada di sana. Data ini mencakup parameter teknis transformator, seperti yang tertera pada **nameplate**, yang digunakan sebagai dasar untuk pemodelan di Software simulasi. Selain itu, digunakan pula data rekaman gangguan aktual yang terjadi di GI BSD yang diperoleh dari perangkat lunak ACOME Agile. Pada Gambar 2 ditunjukan spesifikasi untuk menyesuaikan pemodelan pada simulasi yang dilakukan dalama penelitian ini.



Gambar 3 *Nameplate* transformator yang dimodelkan.

Selanjutnya, mengenai data pendukung lainnya pada proses pemodelan ini yaitu dihadirkan data langsung hasil rekaman pengukuran pada lokasi terkait saat terjadinya ganggua hubung singkat secara nyata. Yaitu mencapai data pada arus primer yaitu 52 Ampere dan pada sekunder 262 Ampere. Data tersebut diperoleh dan terbaca dari perangkat lunak ACOME Agile yang menjadi instrumen untuk merekam anomali grafik saat terjadinya gangguan. Pada Gambar 3 ditunjukan grafik masing-masing fasa berdasarkan rekaman yang tersedia.



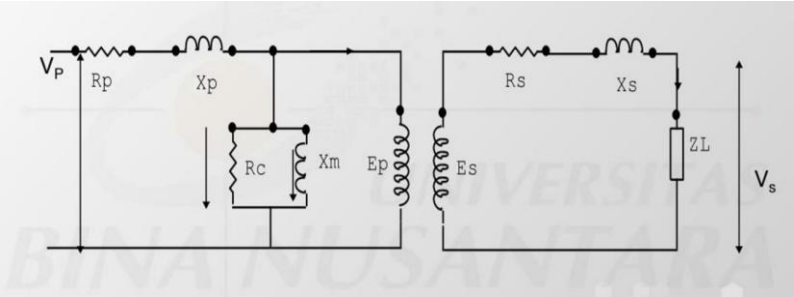
Gambar 4 Data nyata nilai anomali pada *software* ACOME Agile.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

3. Hasil dan Pembahasan

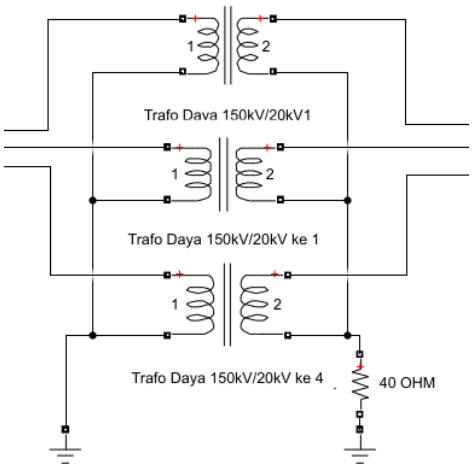
3.1. Pemodelan Transformator

Pemodelan transformator dalam penelitian ini menggunakan rangkaian ekivalen untuk merepresentasikan karakteristik listrik yang mengalir pada rangkaian. Rangkaian ekivalen ini ditunjukkan pada **Gambar 4** yang menunjuka Rangkaian ekivalen transformator ini terdiri dari tegangan masukan Vp, resistansi Rp, reaktansi Xp, resistansi inti Rc, reaktansi magnetisasi Xm, serta tegangan keluaran Vs yang terhubung dengan impedansi beban ZI.



Gambar 5 Rangkaian ekuivalen transformator.

Berdasarkan angkaan ekuivalen tersebut, peneliti melakukan pemodelan dengan dimulai dari rangkaian transformator terlebih dahulu dengan menggunakan konfigurasi Yn-Yn digambarkan model pada Software simulasi dengan nilai tegangan 150kV/20kV ditunjukan pada Gambar 5.



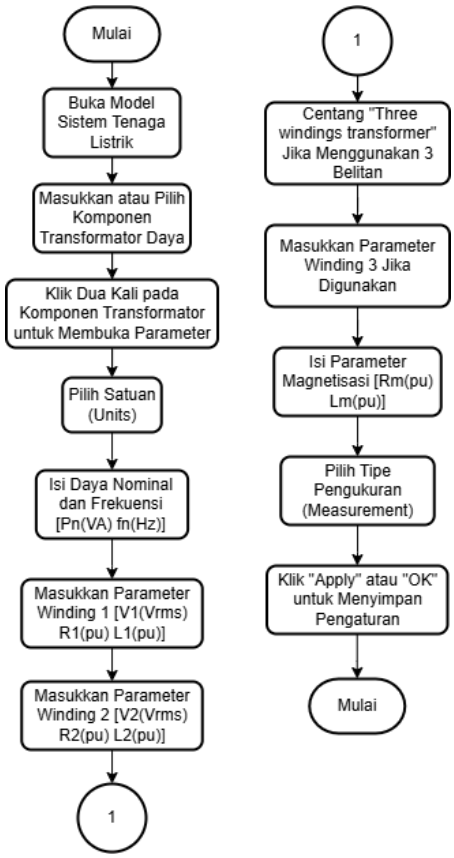
Gambar 6 Rangkaian transformator yang dimodelkan pada software simulasi.

Konfigurasi belitan transformator yang dimodelkan adalah Yn-Yn, yang menghubungkan ketiga fasa dengan titik netral yang diardekan. Pilihan konfigurasi ini didasarkan pada data teknis aktual dari transformator GI BSD 150kV/20kV. Rangkaian ini kemudian dimodelkan secara terperinci dalam lingkungan Software simulasi, seperti yang ditampilkan pada Gambar 5. Pemodelan ini tidak hanya mencakup belitan transformator, tetapi juga blok-blok lain seperti pemutus sirkuit, pengukuran, dan sistem proteksi.

Pengaturan parameter-parameter transformator, seperti daya nominal, resistansi, dan reaktansi, dilakukan dengan cermat untuk memastikan model memiliki validitas yang tinggi. Tahapan pengaturan ini, yang diuraikan secara sistematis dalam diagram alir pada Gambar 6, dimulai dari

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

input data teknis hingga penetapan nilai-nilai numerik pada blok Software simulasi. Setiap parameter, termasuk rasio belitan dan impedansi, disesuaikan berdasarkan data *nameplate* transformator yang digunakan sebagai referensi. Dengan pendekatan ini, model yang dibangun menjadi representasi digital yang andal dari transformator fisik, memungkinkan analisis dan simulasi yang akurat. Berikut pada Gambar 6 menunjukan diagram alir proses dalam melakukan setting transformator yang dimodelkan.



Gambar 7 Diagram alir tahapan *setting* transformator.

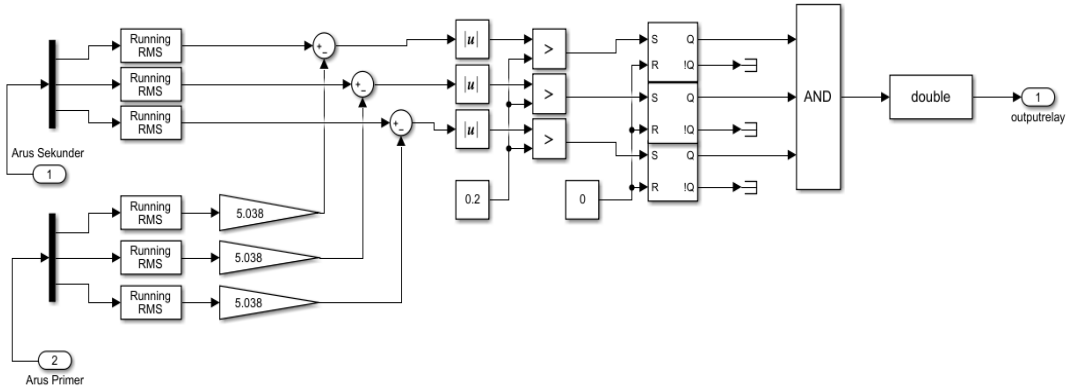
3.2. Pemodelan Proteksi

Setelah memodelkan transformator, dilakukan perancangan relai proteksi. Relai proteksi yang digunakan adalah terdiri dari relai differensal dan relai arus lebih. Pemodelan dimulai dengan rangkaian logika yang dirancang secara manual pada *software* Software simulasi.

3.2.1. Pemodelan Relai Differensial

Pemodelan relai diferensial dirancang menggunakan blok-blok digital dan logika di dalam Software simulasi untuk meniru fungsi aslinya. Rangkaian logika ini membandingkan arus primer dan sekunder menggunakan blok Running RMS untuk mendapatkan nilai efektifnya, lalu mencari selisihnya. Jika selisih arus melebihi ambang batas, blok logika akan mengirimkan sinyal trip ke pemutus sirkuit. Rangkaian logika ini, yang bertujuan untuk melakukan pengukuran dan perlindungan, ditunjukkan pada Gambar 7.

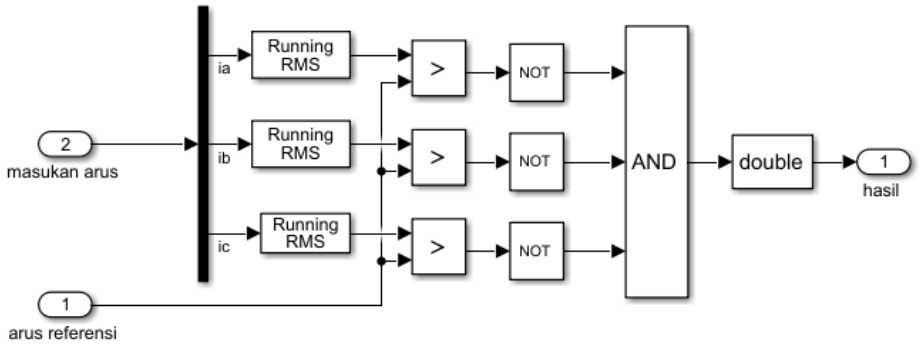
ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 8 Rangkaian logika pada *subsystem* relai *differensial*.

3.2.2. Pemodelan Relai Arus Lebih Relai Arus Lebih (OCR)

Pemodelan relai jenis ini berfungsi sebagai tambahan relai untuk melakukan pencadangan atau *backup protection* atau Cadangan proteksi untuk melindungi transformator serta melakukan koordinasi proteksi antara relai arus lebih dengan relai *differensial*. Modelnya dirancang untuk mendeteksi arus lebih dengan membandingkan nilai arus efektif dari tiap fasa dengan arus referensi (*pickup current*). Rangkaian logika untuk relai OCR ditunjukkan pada Gambar 8 yang terdiri dari berbagai rangkaian logika yang dirancang untuk membentuk subsystem relai arus lebih.

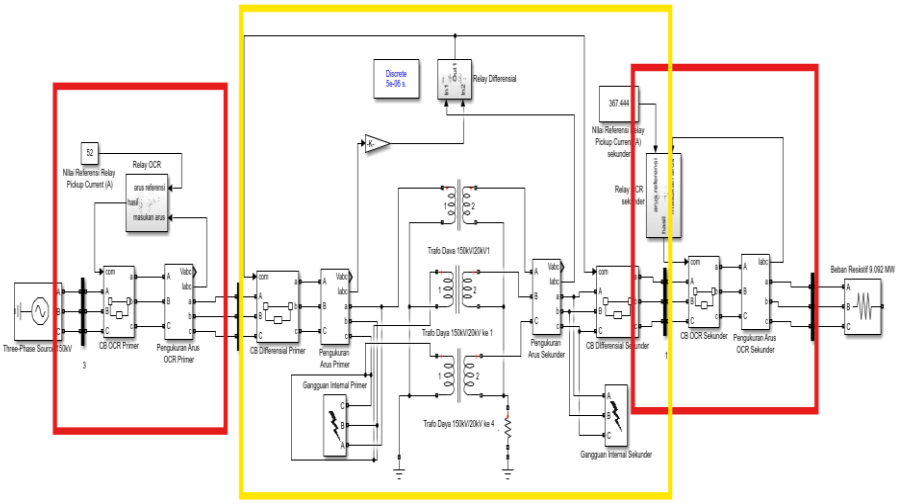


Gambar 9 Rangkaian pemodelan relai arus lebih.

Pada sistem proteksi yang telah dirancang yaitu relai *Overcurrent* (*OCR*) dan Relai *Differensial* untuk melindungi transformator daya. Konsep utamanya adalah membagi area tanggung jawab proteksi Relai *Differensial* digunakan sebagai proteksi utama pada daerah internal transformator, sedangkan Relai *OCR* berfungsi sebagai proteksi *backup* di sisi primer dan sekunder. Koordinasi antara kedua relai ini penting agar saat terjadi gangguan internal, hanya relai *differensial* yang bekerja sehingga gangguan dapat segera diisolasi tanpa memengaruhi bagian sistem lainnya. Sebaliknya, ketika gangguan terjadi di luar daerah proteksi *differensial*, *OCR* akan berperan sebagai proteksi *backup* untuk memutuskan arus gangguan dengan waktu tunda yang telah disesuaikan. Pada Gambar 9 ditunjukan rangkaian lengkapnya untuk memetakan rangkaian secara umum dan menyeluruh terdapat beberapa petunjuk warna diantaranya yang ditunjukan bahwa yang di tandai dengan kotak berwarna merah merupakan daerah kerja dari relai *backup* yang merupakan tugas dari *OCR* primer dan sekunder, sedangkan penanda berwarna

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

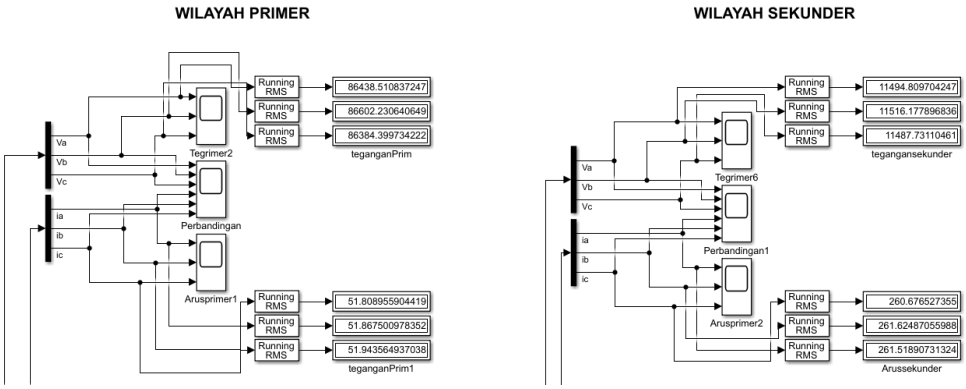
kuning merupakan daerah kerja dari *main protection* atau daerah inti yang dilindungi dengan proteksi relai *differensial*.



Gambar 10 Pembagian wilayah masing-masing relai.

3.3. Simulasi dan Validasi

Untuk menguji performa model, dilakukan pengujian aliran daya dan hubung singkat. Wilayah pengujian pada sistem, yang menampilkan pengukuran arus dan tegangan, ditunjukkan pada Gambar 10. Pada Gambar 10 ini ditunjukan pada sisi primer yang merupakan pada sisi sebelum masuk ke dalam transformator dan langsung dari sumber generator terdapat pengukuran masing-masing fasa serta hal serupa pada wilaya sekundernya.



Gambar 11 Tampilan wilayah primer dan sekunder dalam menampilkan hasil pengukuran arus dan tegangan.

Untuk memastikan akurasi dan keandalan model sistem tenaga listrik yang telah dibangun, langkah validasi merupakan tahapan krusial dalam analisis. Validasi ini dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran yang diperoleh dari simulasi terhadap perhitungan matematis berdasarkan prinsip-prinsip dasar kelistrikan. Perhitungan ini secara khusus mencakup tegangan dan arus yang terukur pada setiap fasa untuk mengonfirmasi bahwa nilai-nilai tersebut sesuai dengan kondisi teoretis.Untuk memvalidasi nilai tegangan fasa-ke-netral, digunakan persamaan yang mendefinisikan hubungan antara tegangan fasa-ke-fasa dengan tegangan fasa-ke-netral dalam sistem tiga fasa. Perhitungan ini esensial karena pengukuran simulasi umumnya

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

menampilkan nilai fasa-ke-netral, yang harus dikonfirmasi dengan data nominal fasa-ke-fasa, untuk melakukan pergitungan tegangan pada masing-masing fasanya digunakan Persamaan 1.

$$Vline - netral = \frac{Vlineline}{\sqrt{3}} \quad (1)$$

Tegangan fasa-ke-fasa yaitu $Vlineline$ didefinisikan sebagai selisih potensial antara dua fasa, misalnya antara fasa R dan S, S dan T, atau T dan R. Sementara itu, tegangan fasa-ke-netral yaitu $Vline - netral$ merupakan selisih potensial antara satu fasa dengan titik netralnya. Keterkaitan antara kedua jenis tegangan ini esensial untuk perhitungan dalam sistem kelistrikan. Selanjutnya, untuk memvalidasi nilai arus yang terukur, dilakukan perhitungan berdasarkan daya semu nominal sistem dan tegangan fasa-ke-fasa. Perhitungan ini menjadi acuan untuk memverifikasi apakah arus yang mengalir dalam simulasi berada pada kisaran nilai nominal yang diharapkan, maka untuk mengetahui nilai arusnya digunakan Persamaan 2.

$$I = \frac{S}{Vlineline\ x\ \sqrt{3}} \quad (2)$$

Untuk menentukan nilai arus penghantar (I) dalam sistem tiga fasa, digunakan persamaan yang menghubungkan daya semu dan tegangan. Daya semu (S) mengacu pada daya nominal sistem, sedangkan tegangan fasa-ke-fasa (Vlineline) adalah tegangan terukur antara dua konduktor fasa. Perhitungan ini sangat penting untuk mengetahui besar arus yang mengalir pada saluran. Perlu dicatat bahwa dalam konfigurasi Wye (bintang), arus penghantar (*line*) memiliki nilai yang sama dengan arus fasa.

Untuk memvalidasi tingkat akurasi model simulasi, data yang diperoleh dari hasil pengukuran di Software simulasi dibandingkan secara sistematis dengan nilai-nilai yang dihitung menggunakan persamaan matematis yang telah diuraikan sebelumnya. Perbandingan ini dilakukan terhadap parameter-parameter kritis seperti tegangan dan arus yang terukur pada masing-masing fasa. Selisih antara nilai hasil perhitungan teoretis dan nilai hasil pengukuran simulasi kemudian dihitung untuk mendapatkan nilai error. Hasil perbandingan yang komprehensif, termasuk nilai-nilai yang dihitung dan diukur serta persentase error-nya, disajikan secara rinci pada Tabel 1. proteksi.

Tabel 1 Tabel perbandingan hasil perhitungan matematis dan simulasi.

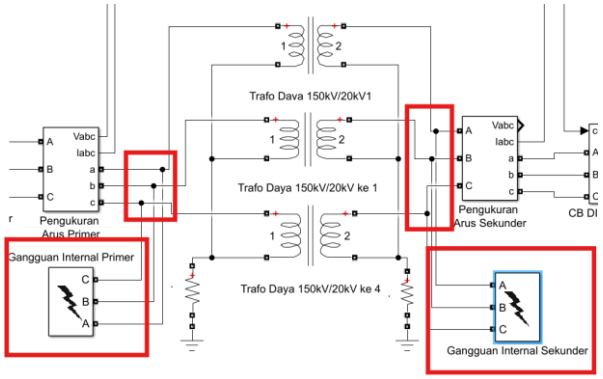
Tegangan Primer				
Variabel	**Matematis (kV)**	**Simulasi (kV)**	**Nilai Error (kV)**	**Persentase Error (%)**
Fasa A	86,6	86,44	0,162	0,19%
Fasa B	86,6	86,60	0,002	0,00%
Fasa C	86,6	86,83	0,234	0,27%
Rata-rata Error				**0,15%**
Tegangan Sekunder				
Variabel	**Matematis (kV)**	**Simulasi (kV)**	**Nilai Error (kV)**	**Persentase Error (%)**
Fasa A	11,547	11,49	0,053	0,46%
Fasa B	11,547	11,52	0,031	0,27%
Fasa C	11,547	11,49	0,06	0,52%
Rata-rata Error				**0,42%**

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Arus Primer				
Variabel	**Matematis (kV)**	**Simulasi (kV)**	**Nilai Error (kV)**	**Persentase Error (%)**
Fasa A	51,87	51,8	0,070	0,13%
Fasa B	51,87	51,86	0,01	0,02%
Fasa C	51,87	51,94	0,07	0,13%
Rata-rata Error				**0,10%**
Arus Sekunder				
Variabel	**Matematis (kV)**	**Simulasi (kV)**	**Nilai Error (kV)**	**Persentase Error (%)**
Fasa A	261,15	261,68	0,530	0,20%
Fasa B	261,15	261,62	0,47	0,18%
Fasa C	261,15	261,15	0	0,00%
Rata-rata Error				**0,13%**
Rata-rata Total Error				**0,20%**

Berdasarkan Tabel 1 terlihat bahwa seluruh variabel memiliki persentase *error* yang relatif kecil dengan rata-rata total *error* sebesar 0,20%. Nilai *error* yang relatif kecil ini menunjukkan bahwa pemodelan memiliki tingkat ketepatan yang baik, karena hasil simulasi sangat mendekati hasil perhitungan matematis. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa model simulasi yang digunakan cukup valid dan dapat diandalkan untuk merepresentasikan kondisi sistem secara akurat.

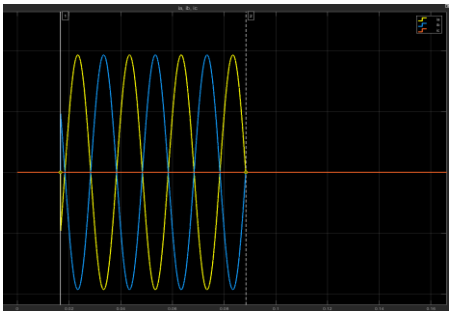
Selanjutnya, dilakukan pengujian hubung singkat. Rangkaian yang disambungkan dengan blok gangguan, gangguan yang disediakan ini merupakan salah satu fitur yang tersedia di Software simulasi untuk melakukan pengujian secara simulasi dalam kasus *fault* atau kegagalan dalam bentuk hubung singkat antar masing-masing fasa. Pada Gambar 11 ditunjukan rangkaian yang diberikan *fault* pada masing-masing wilayah baik primer maupun sekunder.



Gambar 12 Rangkaian yang disambungkan dengan blok gangguan pada bagian primer dan sekunder.

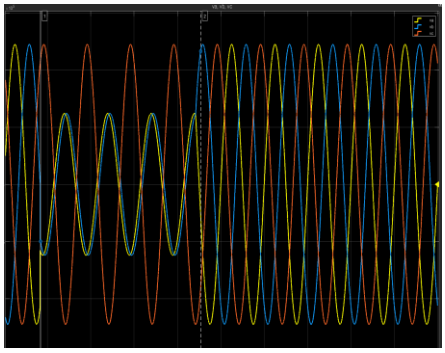
Percobaan hubung singkat ini, digunakan satu kasus sebagai sampel yaitu terjadinya *fault* berupa hubung singkat yang terjadi antara fasa A dan B yang kemudian disimulasikan dan diamati untuk hasil dari simulasinya melalui grafik sinusoid dari setiap respon fasa. Hasil simulasi hubung singkat menunjukkan bahwa ketika terjadi gangguan, arus pada fasa yang terpengaruh yaitu fasa A dan B meningkat tajam, sementara tegangan menurun. Fenomena ini konsisten dengan prinsip dasar kelistrikan. Gelombang hasil simulasi arus dan tegangan pada sisi primer ditunjukkan pada Gambar 12 yang menunjukan fasa A (kuning) dan fasa B (biru) mengalamai peningkatan tajam pada arus, sedangkana fasa C (jingga) tidak naik karena tidak mengalami *fault*.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 13 Gelombang hasil simulasi arus pada *short-circuit* gangguan

Sedangkan peristiwa sebaliknya terjadi yaitu pada pengamatan tegangan ketika tepat mengalami hubung singkat diantara fasa A dan fasa B maka tegangan mengalami penurunan nilai yang signifikan sehingga sesuai dengan hukum ohm yang menunjukan bahwa tegangan dan arus saling berkebalikan. Pada Gambar 13 ini merupakan hasil dari fenomena hubung singkat fasa A dan fasa B dalam tinjauan tegangan.



Gambar 14 Gelombang hasil simulasi tegangan pada *short-circuit.*

Hasil pengujian berbagai variabel gangguan, baik di sisi primer maupun sekunder, disajikan dalam Tabel 2 dan Tabel 3. Data ini menunjukkan bahwa semakin kompleks jenis gangguan, semakin besar kenaikan arus dan semakin signifikan penurunan tegangan. Namun, terdapat anomali di beberapa kasus di mana tegangan pada fasa yang tidak terganggu justru mengalami kenaikan. Fenomena ini diduga disebabkan oleh ketidakseimbangan sistem, efek transien, atau keterbatasan model simulasi. Pada Tabel 2 dan Tabel 3 yang ditunjukan terdapat warna kuning yang bermakna terjadi kenaikan nilai yang signifikan dan jingga mengalami nilai penurunan yang terujur. Pada Tabel 2 disajikan data para bagian wilayah kerja primer.

Tabel 2 Data arus dan tegangan pada gangguan *short-circuit* sisi primer.

Gangguan	**PRIMER**					
	Arus (A)			**Tegangan (V)**		
	Phasa A	**Phasa B**	**Phasa C**	**Phasa A**	**Phasa B**	**Phasa C**
AB	3063904,200	3063907,200	51,500	81891,100	82007,090	86602,320
AC	3164907,600	51,998	3164904,920	81857,790	86602,320	81397,980
AG	1875020,710	51,490	51,740	81955,450	86602,330	86602,330
BC	51,997	3051309,170	3051312,420	86601,680	81831,960	82046,410
BG	51,800	1849398,170	51,480	86601,680	82085,770	86602,330

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Gangguan	PRIMER					
	Arus (A)			Tegangan (V)		
	Phasa A	Phasa B	Phasa C	Phasa A	Phasa B	Phasa C
CG	51,490	51,740	1823364,130	86601,860	86602,330	82215,370
ABC	3502844,480	3554783,430	3480955,680	80254,711	80385,460	80546,650
ABG	3140011,936	3122666,951	51,364	80957,691	81107,704	86602,336
ACG	3203193,030	51,361	3260434,927	80937,849	86602,336	80427,777
BCG	51,425	3122273,953	3104804,536	86601,686	81074,485	81223,573
ABCG	3502844,489	35547834,338	3480955,686	80254,712	80385,462	80546,650

Sedangkan pada bagian sekundernya terjadi secara normal naik dan turunnya tegangan maupun arus. Namun terjadi anomali pada kasus yang pada idealnya terjadi nilai yg tetap tanpa terpengaruh oleh gangguan namun terjadi penurunan dan peningkatan nilai pada lokasi yang tidak ideal. Data pengukuran pada wilayah sekunder di tunjukan Tabel 3.

Tabel 3 Data arus dan tegangan pada gangguan *short-circuit* sisi sekunder.

Gangguan	SEKUNDER					
	Arus (A)			Tegangan (V)		
	Phasa A	Phasa B	Phasa C	Phasa A	Phasa B	Phasa C
AB	36529,704	36469,380	261,844	10901,060	10883,300	11521,900
AC	34583,820	261,844	34645,380	10956,706	11521,890	10924,120
AG	318,230	261,810	261,840	10660,420	13026,370	13114,230
BC	261,843	36382,755	36322,694	11521,813	10906,462	10888,631
BG	261,847	316,843	261,816	13032,586	10684,892	13028,796
CG	261,816	261,848	315,436	12946,835	13034,887	10709,110
ABC	40984,671	42769,777	41099,785	10686,172	10676,005	10702,025
ABG	36545,977	36453,175	261,832	10660,403	10651,391	12576,834
ACG	34567,269	261,833	34661,991	10751,063	12470,360	10709,094
BCG	261,831	36306,551	36306,551	12496,276	10684,879	10675,683
ABCG	40986,535	42767,999	41099,785	10660,416	10651,415	10826,514

Berdasarkan pengamatan yang dilakukan terdapat tiga penyebab anomali yaitu karena ketidakseimbangan sistem tiga fasa dan redistribusi tegangan yakni dalam sistem tenaga listrik tiga fasa, ketidakseimbangan beban atau impedansi antar fasa dapat menyebabkan distribusi tegangan yang tidak merata. Ketika terjadi gangguan pada salah satu fasa, tegangan pada fasa tersebut cenderung menurun, sementara tegangan pada fasa lainnya dapat meningkat sebagai akibat dari redistribusi tegangan dalam sistem [11]. Efek *transient* pada Tegangan Selama Gangguan: Selama periode transien setelah terjadinya gangguan, tegangan dalam sistem dapat mengalami fluktuasi sebelum mencapai kondisi stabil. Fluktuasi ini dapat menyebabkan peningkatan tegangan sementara pada fasa tertentu [5]. keterbatasan model simulasi dalam mewakili kondisi nyata yaitu model-model simulasi transformator dalam perangkat lunak seperti Software simulasi sering kali menggunakan asumsi dan simplifikasi yang dapat menyebabkan

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

hasil simulasi berbeda dari kondisi nyata. Keterbatasan ini mencakup representasi impedansi saluran, efek kapasitif, dan karakteristik beban [10]

4. Kesimpulan

Berdasarkan seluruh rangkaian kegiatan dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pemodelan transformator dengan konfigurasi Yn-Yn dan sistem proteksinya menggunakan relai diferensial serta relai arus lebih telah berhasil dilakukan secara akurat. Model yang dibuat mampu merepresentasikan kondisi transformator GI BSD dan memberikan respons proteksi yang tepat terhadap berbagai jenis gangguan hubung singkat. Hasil validasi dengan perbandingan perhitungan matematis menghasilkan nilai *error* maksimal 0,20%, membuktikan bahwa model yang dibangun memiliki tingkat keandalan yang baik. Namun, ada beberapa anomali yang ditemukan dalam data simulasi, yang menunjukkan adanya ruang untuk pengembangan model lebih lanjut. Oleh karena itu, disarankan untuk penelitian selanjutnya dapat menyempurnakan model simulasi agar dapat mereplikasi kondisi nyata dengan lebih presisi, serta menggabungkan pengalaman lapangan yang lebih intensif untuk pemahaman yang lebih komprehensif.

Ucapan Terimakasih

Penulis berterima kasih kepada pihak yang telah turut berpartisipasi dalam penelitian ini baik penyedia fasilitas penelitian maupun narasumber serta teman-teman yang telah turut serta mengsukseskan penelitian ini.

Referensi

[1] S. Suripto, Buku Ajar Sistem Tenaga Listrik, Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

[2] IEEE Standards Association, "IEEE Guide for Protective Relay Applications to Power Transformers, IEEE Std C37.91-2021," IEEE Standards Association, 2021. [Online]. Available: https://standards.ieee.org/ieee/C37.91/5904/. [Accessed 12 5 2025].

[3] A. S. Sampeallo, Nursalim and P. J. Fischer, "Analisis Gangguan Hubung Singkat Pada Jaringan Pemakaian Sendiri PLTU Bolok PT. SMSE (IPP) Unit 3 dan 4 Menggunakan Software ETAP 12.6.0," *Jurnal Media Elektro,* vol. 3, no. 1, pp. 76-85, 2021.

[4] M. S. Sodiq, M. S. and S. Hani, "Analisis Sistem Proteksi Transformator Daya (3 × 60 MVA) di Gardu Induk 150 KV Bantul Terhadap Gangguan Arus Lebih," *Jurnal Elektrikal,* vol. 5, no. 2, pp. 62-71, 2018.

[5] Y. Liu, Q. Gao, J. Zhou, S. Qin and L. Wang, "Transient overvoltage response performance of transformer windings with short-circuit fau," *: IET Generation, Transmission & Distribution,* vol. 11, pp. 1-8, 2017.

[6] D. R. Syahputra, Proteksi Sistem Tenaga Listrik, Yogyakarta: Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, 2022.

[7] A. Yolanda, C. N. Anshar and Y. Ridal, "Analisis Sistem Proteksi Generator Menggunakan Over Current Relay Di PLTA Singkarak," *Jurnal Mesil (Mesin Elektro Sipil),* vol. 6, no. 1, pp. 78-89, 2025.

[8] M. Samami, H. Yaghobi and M. N. Azari, "Modelling and Simulation of a Transformer With Inter-turn Fault Considering Magnetic Saturation," *Iranian Journal of Electrical & Electronic Engineering,* vol. 13, no. 2, p. 172–180, 2017.

[9] R. A. Efryansah, "Mengenal Sistem Proteksi Generator," Kelas Teknisi, 19 Agustus 2023. [Online]. Available: https://www.kelasteknisi.com/2022/07/proteksi-generator-yuk-cari-tahu-disini.html. [Accessed 5 Juni 2025].

[10] S. Lakshminarayana, "Model of the Three Phase Unbalanced System," in *Chapter 5: ABC Reference Frame Controller*, Cookeville, USA, Center for Energy Systems Research, Tennessee Technological University, 2018, pp. 1-12.

[11] ALL-TEST Pro Technical Team, "The Impact of Voltage Unbalance," ALL-TEST Pro, 2021. [Online]. Available: https://alltestpro.com/effects-of-voltage-unbalance/. [Accessed 2 5 2025].

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

ID: 07

Pengembangan Game Pembelajaran Mengelola Sampah Berbasis Android

Development of an Educational Game for Waste Management Based on Android

Farhan Maulana Wazaim[1], Kemal Ade Sekarwati[2]
[1,2]Universitas Gunadarma
Jl. Margonda Raya 100 -Pondok Cina -Depok, 021-78881112
farhanwzm16@gmail.com[1], ade@staff.gunadarma.ac.id[2]

Abstrak – *Permasalahan sampah di Kota Depok semakin parah, dibuktikan dengan volume sampah di TPA Cipayung yang telah melebihi kapasitas ideal (2,5 juta kubik dari ideal 1,3 juta kubik). Kondisi ini disebabkan oleh rendahnya kesadaran masyarakat untuk membuang sampah pada tempatnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sebuah game pembelajaran mengelola sampah berbasis Android untuk anak usia 7–12 tahun, sebagai media edukasi yang interaktif dan menyenangkan untuk menanamkan kesadaran lingkungan sejak dini. Metode pengembangan yang digunakan adalah Multimedia Development Life Cycle (MDLC) dengan enam tahapan: konsep, perancangan, pengumpulan bahan, pembuatan, pengujian, dan pendistribusian. Game dikembangkan menggunakan perangkat lunak Construct 2 dengan fitur belajar materi, video edukasi, serta empat mini-game: latihan soal (kuis), pilah sampah, membuang sampah, dan membersihkan sungai. Hasil pengujian black box menunjukkan seluruh fungsi berjalan sesuai harapan pada berbagai perangkat smartphone Android. Hasil User Acceptance Test (UAT) terhadap 35 responden menunjukkan semua indikator memperoleh nilai di atas 80% (kategori Sangat Setuju), dengan persentase tertinggi 93,1% untuk kemudahan penggunaan. Hasil ini menyimpulkan bahwa game tersebut berhasil dikembangkan dan diharapkan dapat mendukung program pemerintah dalam menangani masalah sampah melalui penumbuhan kesadaran lingkungan sejak usia dini.*

Kata Kunci*: Edukasi, Game, Multimedia Development Life Cycle, Sampah, Android*

Abstract – *The waste problem in Depok City is becoming increasingly severe, evidenced by the waste volume at Cipayung Final Disposal Site (TPA) exceeding its ideal capacity (2.5 million cubic from an ideal of 1.3 million cubic). This condition is caused by low public awareness of proper waste disposal. This research aims to develop an Android-based educational game on waste management for children aged 7–12 years , as an interactive and enjoyable learning medium to foster environmental awareness from an early age. The development method used is the Multimedia Development Life Cycle (MDLC) , consisting of six stages: concept, design, material collection, assembly, testing, and distribution . The game was developed using Construct 2 software with learning material features, educational videos, and four mini-games: quizzes, waste sorting, waste disposal, and river cleaning. Black box testing results show that all functions performed as expected on various Android smartphones. The User Acceptance Test (UAT) conducted with 35 respondents indicated that all indicators scored above 80% (Strongly Agree category) , with the highest percentage of 93.1% for ease of use. The results conclude that the game was successfully developed and is expected to support government programs in addressing waste issues by fostering environmental awareness from an early age.*

Keywords*: Education, Game, Multimedia Development Life Cycle, Waste, Android.*

1. Pendahuluan

Permasalahan sampah telah menjadi isu lingkungan yang kritis di Indonesia, khususnya di wilayah perkotaan seperti Kota Depok. Data menunjukkan bahwa volume sampah di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Cipayung telah jauh melampaui kapasitas idealnya (1,3 juta kubik), mencapai angka 2,5 juta kubik [1]. Kesenjangan antara volume sampah dan daya tampung TPA ini sebagian besar disebabkan oleh rendahnya kesadaran dan kepedulian masyarakat, termasuk anak-anak, dalam membuang dan mengelola sampah sesuai dengan jenisnya. Meskipun telah ada regulasi seperti Perda Kota Depok Nomor 5 Tahun 2014, kebiasaan membuang sampah pada tempatnya masih perlu ditanamkan secara efektif.

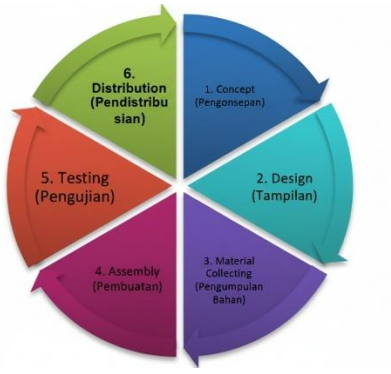
Setiap sekolah telah mengajarkan peserta didik untuk membuang sampah pada tempatnya, namun masih banyak yang belum peduli terhadap lingkungan. Kebiasaan menjaga kebersihan perlu ditanamkan sejak usia 7–12 tahun, tetapi tidak mudah diterapkan tanpa media pembelajaran yang menarik dan sesuai dengan karakteristik anak. Salah satu cara yang dapat digunakan adalah melalui teknologi multimedia berupa aplikasi *game* pembelajaran mengelola sampah yang menyampaikan materi secara menyenangkan dan edukatif.

Pada pengembangan aplikasi *game* pembelajaran mengelola sampah menggunakan perangkat lunak *Construct* 2. *Construct* 2 memiliki kelebihan dalam membuat *game* dua dimensi secara interaktif, kemudahan dalam pembuatan program action dan logika dengan menggunakan *event sheet*, menggabungkan fungsi-fungsi yang telah disediakan, memudahkan dalam penambahan multimedia berupa musik dan gambar [2].

Pengembangan ini berfokus pada penambahan fitur video animasi pada materi belajar, penambahan *game* latihan soal pilihan ganda acak, *game* membuang sampah pada tempatnya. Tujuan *game* ini untuk anak-anak usia 7–12 tahun. Dengan adanya *game* ini, diharapkan dapat meningkatkan kesadaran anak-anak terhadap permasalahan sampah dan pengelolaan lingkungan sejak dini.

2. Metode Penelitian

Pengembangan multimedia agar dapat dimasukkan dalam pembelajaran harus melalui tahapan-tahapan yang terancang dengan baik dan runtut agar produk multimedia yang dihasilkan memiliki kualitas yang baik dan tepat digunakan dalam pembelajaran[3]. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Multimedia Development Life Cycle* (MDLC). Berikut tahapan-tahapan *Multimedia Development Life Cycle* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. *Multimedia Development Life Cycle*

Tahapan-tahapan yang digunakan dalam metode *Multimedia Development Life Cycle* adalah :

1. *Concept*, pada konsep *game* pembelajaran mengelola sampah memiliki dua pilihan, Pertama mode belajar, pengguna bisa membaca materi dan menonton video edukasi. Kedua mode

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

bermain, berisi empat pilihan bermain edukasi: latihan soal, pilah sampah, membuang sampah, dan bersihkan sungai.

2. *Design* perancangan yg digunakan *storyboard* mendeskripsikan visual berurutan yang menggambarkan alur *game* dalam bentuk gambar[4], *flowchart* mendeskripsikan alur logika dalam *game* [5].

3. *Material Collecting* mengumpulkan aset visual & audio untuk mendukung pengembangan *game*.

4. *Assembly* pembuatan rancangan *storyboard*, *flowchart*, dan pengumpulan bahan aset yang sudah disiapkan, dibuat menggunakan *game engine Construct* 2 hingga menjadi *game* pembelajaran mengelola sampah.

5. *Testing* pengujian dilakukan dengan *black box testing* untuk memastikan fungsi tombol berjalan dengan baik di perangkat *Android* [6], dan *User Accaptance Test* melalui kuesioner kepada orang tua yang mempunyai anak usia 7–12 tahun untuk menilai kelayakan game [7].

6. *Distribution* yaitu aplikasi dibagikan kepada pengguna melalui media penyimpanan *google drive*.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengembangan aplikasi *game* pembelajaran mengelola sampah untuk anak anak umur 7 sampai 12 tahun berbasis *android*, yang dibuat menggunakan *software construct* 2. Pada aplikasi *game* pembelajaran mengelola sampah memiliki beberapa fitur. Pada tampilan utama pengguna memilih *button music* untuk mengaktifkan atau mematikan suara latar dan memilih button play untuk menampilkan tampilan *home*. Selanjutnya pada tampilan *home* terdapat *button* informasi, profil, belajar, dan bermain. Pengguna diharapkan memilih *button* informasi dan profil untuk mengetahui informasi tentang petunjuk penggunaan aplikasi serta biodata profil pengembang. Selanjutnya pengguna memilih *button* belajar menyajikan materi berupa materi dan video yang membahas jenis-jenis sampah serta dampak tidak membuang sampah pada tempatnya, agar lebih paham sebelum memilih button bermain. Pengguna memilih *button* bermain terdiri dari empat jenis permainan edukasi yaitu *button* latihan soal, pilah sampah, membuang sampah dan bersihkan sungai.

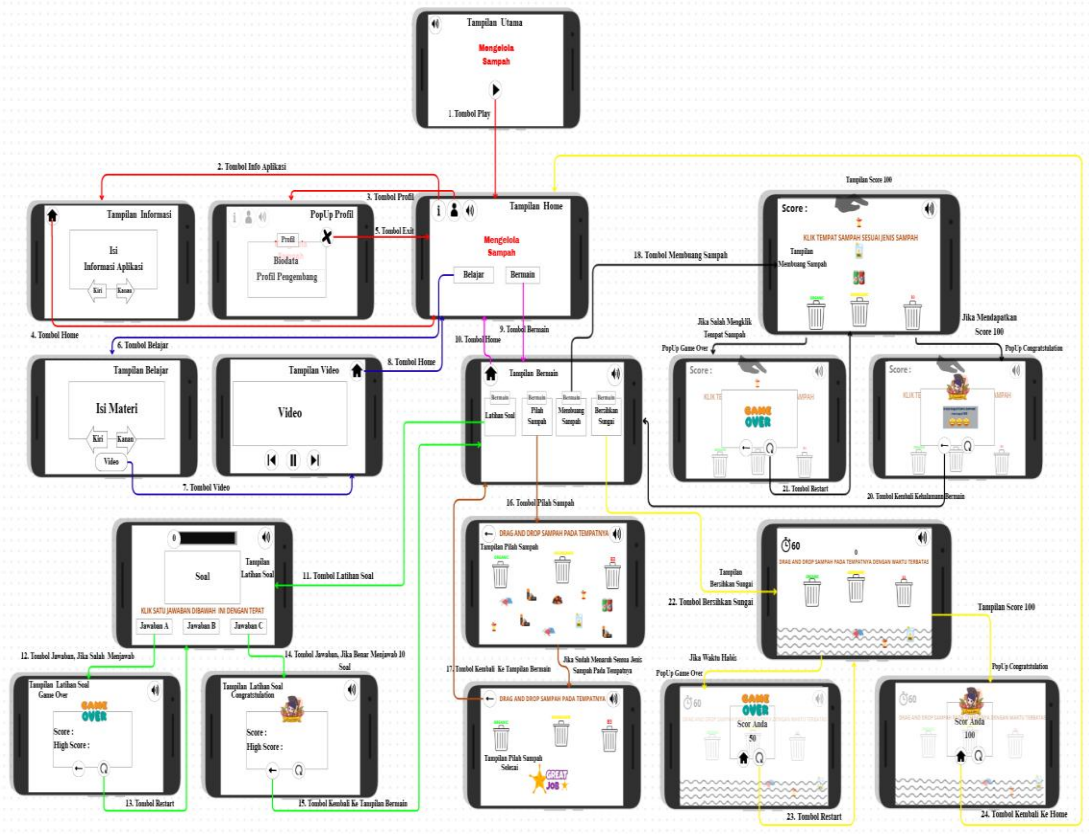
3.1. *Storyboard*

Storyboard penting dalam pengembangan aplikasi untuk mendeskripsikan visual alur *game* dalam bentuk gambar dan skenario untuk memberi gambaran yang jelas dari awal hingga akhir. Pada tampilan utama terdapat dua tombol, yaitu musik untuk mengatur suara latar dan play untuk masuk ke tampilan home. Tampilan home tersedia empat button utama: Informasi, Profil, Belajar, dan Bermain.

Tampilan Informasi berisi petunjuk penggunaan aplikasi, sedangkan Profil menampilkan biodata pengembang. Tampilan Belajar menyajikan materi teks dan video edukatif mengenai jenis dan dampak sampah. Setelah memahami materi, pengguna dapat melanjutkan ke tampilan Bermain yang berisi empat permainan edukatif: Latihan Soal, Pilah Sampah, Membuang Sampah, dan Bersihkan Sungai.

Setiap permainan memiliki alur sederhana dan memberikan skor serta umpan balik di akhir. Navigasi antar tampilan dirancang sistematis agar mudah digunakan. Secara keseluruhan, *storyboard* menggambarkan aplikasi yang edukatif, interaktif, dan mendorong anak-anak untuk peduli terhadap kebersihan dan pengelolaan sampah. *storyboard* dapat dilihat pada Gambar 2.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 2. *Storyboard*

3.2. *Flowchart*

Flowchart menggambarkan alur kerja aplikasi *Game* Pembelajaran Mengelola Sampah berbasis Android secara keseluruhan. Proses dimulai ketika pengguna membuka aplikasi dan dihadapkan pada dua pilihan utama, yaitu menu Belajar dan menu Bermain.

Jika pengguna memilih menu Belajar, sistem akan menampilkan materi edukatif berupa teks dan video yang menjelaskan jenis-jenis sampah serta pentingnya membuang sampah pada tempatnya. Setelah pengguna selesai mempelajari materi atau menonton video, terdapat pilihan untuk melanjutkan ke tampilan berikutnya atau kembali ke menu utama. Mode belajar ini berfungsi sebagai tahap awal agar pengguna memahami konsep dasar pengelolaan sampah sebelum memasuki tahap permainan.

Apabila pengguna memilih menu Bermain, sistem akan menampilkan empat pilihan permainan edukatif, yaitu Latihan Soal, Pilah Sampah, Membuang Sampah, dan Bersihkan Sungai. Pada permainan Latihan Soal, pengguna diminta menjawab pertanyaan pilihan ganda sesuai materi yang telah dipelajari. Setiap jawaban benar menambah skor, dan setelah semua soal selesai, sistem menampilkan nilai akhir serta pesan keberhasilan.

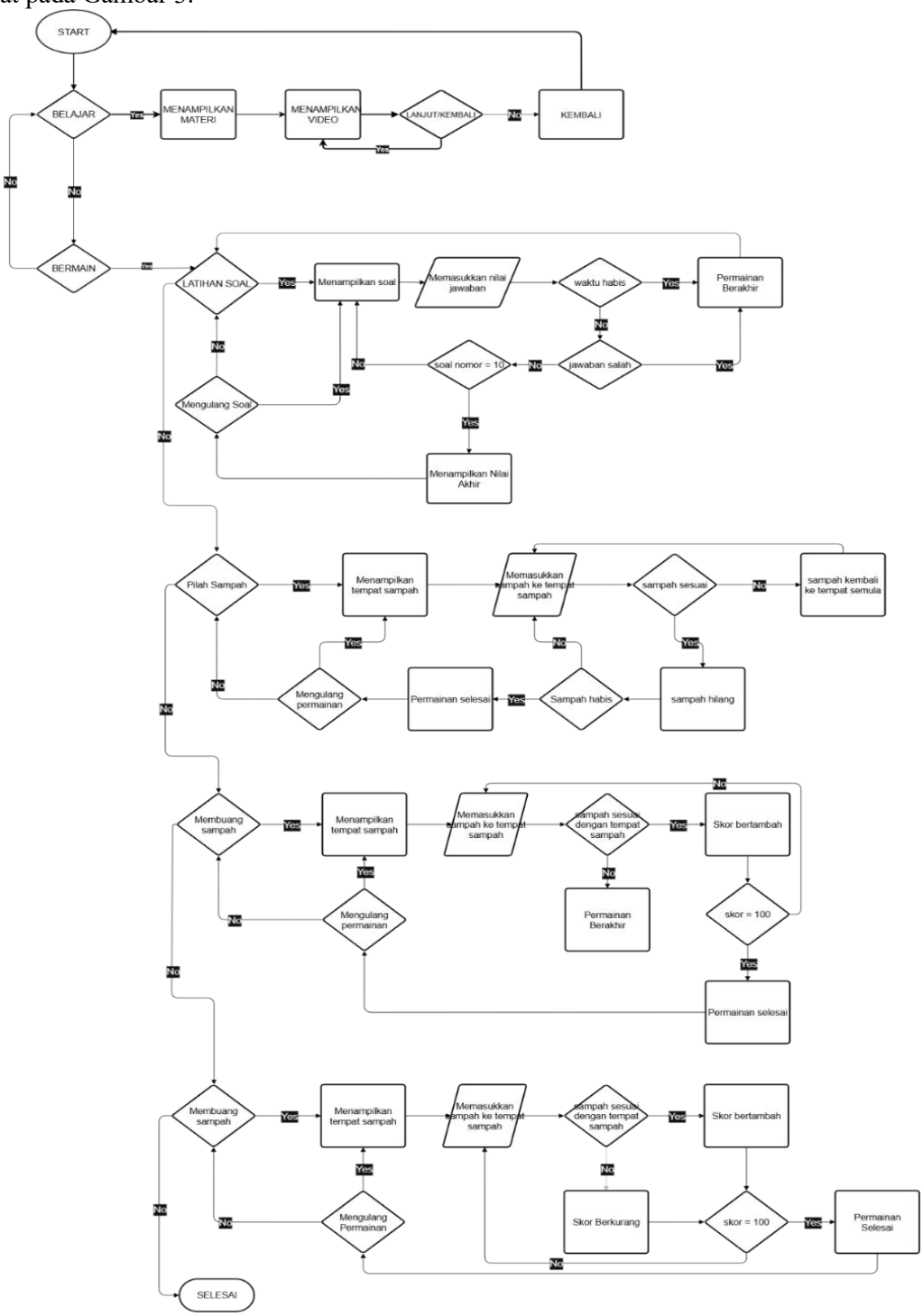
Pada permainan Pilah Sampah, pengguna menyeret gambar sampah ke tempat sampah yang sesuai. Jika benar, sampah akan hilang dari layar dan permainan berlanjut; jika salah, sampah akan kembali ke posisi semula hingga semua sampah berhasil dipilah.

Dalam permainan Membuang Sampah, pengguna diarahkan untuk menempatkan sampah pada lokasi pembuangan yang tepat. Setiap jawaban benar menambah skor, dan permainan selesai jika nilai mencapai 100. Sedangkan pada permainan Bersihkan Sungai, pengguna berperan aktif membersihkan sungai dengan memasukkan sampah ke tempat yang sesuai. Skor akan bertambah

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

jika benar dan berkurang jika salah, hingga seluruh sampah selesai dibersihkan atau skor mencapai batas maksimum.

Seluruh proses pada *flowchart* berakhir ketika permainan selesai dijalankan atau pengguna keluar dari aplikasi. *Flowchart* ini secara keseluruhan menggambarkan alur logika yang sistematis dari setiap aktivitas yang dilakukan pengguna, mulai dari pembelajaran hingga bermain, untuk menciptakan pengalaman edukatif yang menyenangkan dan interaktif. *Flowchart* dapat dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. *Flowchart*

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

3.3. *Black Box Testing*

Pengujian aplikasi *game* pembelajaran mengelola sampah dilakukan pada lima perangkat *smartphone android* dengan spesifikasi berbeda, seperti ukuran layar, versi sistem operasi, dan kapasitas memori. Hasil pengujian menunjukkan bahwa aplikasi dapat berjalan dengan baik di seluruh perangkat. tampilan antarmuka cukup sesuai dengan rancangan, serta elemen seperti tombol, teks, dan objek memiliki ukuran optimal pada masing-masing layar. Pengujian perangkat *smartphone android* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengujian *smartphone android*

No	*Smartphone*	Spesifikasi		Performa
1	Samsung A32	Ukuran Layar : Sistem Operasi : Memory :	6,4 inch Android 13 8/128 GB	Aplikasi berjalan dengan baik, tampilan cukup sesuai dengan rancangan, tombol-tombol, text dan *object* memiliki ukuran yang sesuai pada layar
2	Tecno Pova 7	Ukuran Layar : Sistem Operasi : Memory :	6,78 inch Android 15 8/256 GB	Aplikasi berjalan dengan baik, tampilan cukup sesuai dengan rancangan, tombol-tombol, text dan *object* memiliki ukuran yang sesuai pada layar
3	Vivo iQOO Z7	Ukuran Layar : Sistem Operasi : Memory :	6,4 inch Android 14 8/128 GB	Aplikasi berjalan dengan baik, tampilan cukup sesuai dengan rancangan, tombol-tombol, text dan *object* memiliki ukuran yang sesuai pada layar
4	Infinix 50 Pro	Ukuran Layar : Sistem Operasi : Memory :	6,78 inch Android 15 8/256 GB	Aplikasi berjalan dengan baik, tampilan cukup sesuai dengan rancangan, tombol-tombol, text dan *object* memiliki ukuran yang sesuai pada layar
5	Redmi Note 10	Ukuran Layar : Sistem Operasi : Memory :	6,4 inch Android 12 6/128 GB	Aplikasi berjalan dengan baik, tampilan cukup sesuai dengan rancangan, tombol-tombol, text dan *object* memiliki ukuran yang sesuai pada layar

3.4. *User Acceptance Test*

User Acceptance Testing dilaksanakan untuk memastikan bahwa aplikasi *game* pembelajaran mengelola sampah yang telah dikembangkan ini berfungsi dengan baik dan bermanfaat bagi siswa/i sekolah dasar. Kuesioner ini diberikan kepada 35 responden dengan 11 pertanyaan yang dibagi menjadi 3 bagian, Aspek alur penggunaan aplikasi memperoleh nilai tertinggi 93,1% pada indikator kemudahan penggunaan. Pada aspek manfaat aplikasi, nilai tertinggi sebesar 90% diperoleh pada indikator penambahan pengetahuan dan sebagai alternatif media pembelajaran. Dengan demikian, bahwa aplikasi *game* pembelajaran mengelola sampah diterima dengan sangat baik oleh pengguna. Hasil *user accaptance test* dapat dilihat pada Tabel 2.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Tabel 2. Hasil *user accaptance test*

No	Pertanyaan	Jawaban	N	F	N.F	X	Y
TAMPILAN ANTARMUKA							
1	Aplikasi *game* pembelajaran mengelola sampah memiliki perpaduan warna teks dan latar *background* yang menarik	STS	1	0	0	155	88,6%
		TS	2	0	0		
		N	3	2	6		
		S	4	16	64		
		SS	5	17	85		
2	Aplikasi *game* pembelajaran mengelola sampah memiliki icon-icon yang mudah dimengerti	STS	1	0	0	155	88,6%
		TS	2	0	0		
		N	3	0	0		
		S	4	20	80		
		SS	5	15	75		
3	Penempatan tombol sudah tepat pada aplikasi *game* pembelajaran mengelola sampah	STS	1	0	0	160	91,4%
		TS	2	0	0		
		N	3	0	0		
		S	4	15	60		
		SS	5	20	100		
ALUR PENGGUNAAN APLIKASI							
4	Aplikasi *game* pembelajaran mengelola sampah mudah digunakan	STS	1	0	0	163	93,1%
		TS	2	0	0		
		N	3	0	0		
		S	4	12	48		
		SS	5	23	115		
5	Keterangan dalam Aplikasi *game* pembelajaran mengelola sampah sudah jelas untuk pengguna	STS	1	0	0	152	86,9%
		TS	2	0	0		
		N	3	1	3		
		S	4	21	84		
		SS	5	13	65		
6	Aplikasi *game* pembelajaran mengelola sampah berjalan dengan baik pada perangkat	STS	1	0	0	150	85,7%
		TS	2	0	0		
		N	3	4	12		
		S	4	17	68		
		SS	5	14	70		
7	Bahasa yang mudah digunakan mudah dimengerti pada aplikasi *game* pembelajaran mengelola sampah	STS	1	0	0	151	86,3%
		TS	2	0	0		
		N	3	4	12		
		S	4	16	64		
		SS	5	15	75		
8	Aplikasi *game* pembelajaran mengelola sampah ini membantu siswa/i mengelola jenis sampah sesuai warna tempat sampah	STS	1	0	0	153	87,4%
		TS	2	0	0		
		N	3	4	12		
		S	4	14	56		
		SS	5	17	85		
MANFAAT APLIKASI *GAME*							
9	Materi pada aplikasi *game* pembelajaran mengelola sampah menambah pengetahuan siswa/i dalam mengelola sampah	STS	1	0	0	157	90%
		TS	2	0	0		
		N	3	2	6		
		S	4	14	52		
		SS	5	19	95		
10	Aplikasi *game* pembelajaran mengelola sampah dapat menjadi alternatif media pembelajaran	STS	1	0	0	157	90%
		TS	2	0	0		
		N	3	2	6		
		S	4	14	56		

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

	mengenai mengelola sampah selain media buku	SS	5	19	95		
No	Pertanyaan	Jawaban	N	F	N.F	X	Y
MANFAAT APLIKASI GAME							
11	Bermain Aplikasi *game* pembelajaran mengelola sampah dapat memahami dan daya ingat yang tinggi dalam mengelola jenis sampah pada tempatnya	STS	1	0	0	157	89,7%
		TS	2	0	0		
		N	3	4	12		
		S	4	10	40		
		SS	5	21	105		

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari pengembangan aplikasi *game* pembelajaran mengelola sampah menggunakan metode *Multimedia Development Life Cycle* melalui tahapan konsep, perancangan, pengumpulan bahan, pembuatan, pengujian, dan pendistribusian, dapat disimpulkan bahwa aplikasi berhasil dikembangkan. Hasil *blackbox testing* menunjukkan seluruh fungsi tombol aplikasi berjalan sesuai harapan. Pengujian pada lima perangkat *android* dengan spesifikasi berbeda juga membuktikan aplikasi beroperasi dengan baik. Hasil *user acceptance test* kepada 35 responden menunjukkan nilai persentase seluruh indikator di atas 80%, termasuk kategori Sangat Setuju. Persentase tertinggi pada aspek alur penggunaan aplikasi sebesar 93,1% diikuti aspek tampilan antarmuka sebesar 91,4% dan aspek manfaat aplikasi sebesar 90%. Hal ini membuktikan bahwa pengembangan aplikasi *game* pembelajaran mengelola sampah berhasil mencapai tujuannya untuk meningkatkan pengetahuan, daya ingat, dan kepedulian anak-anak terhadap pengelolaan sampah dengan cara yang interaktif dan menyenangkan.

Untuk pengembangan di masa depan, aplikasi dapat diperkaya dengan penambahan jenis permainan edukatif baru, seperti simulasi daur ulang atau pengomposan, serta opsi *multiplayer* sederhana.

Referensi

[1] M. Naufal and N. K. M. Ambranie, "Peliknya Persoalan Sampah di Depok: TPA Cipayung 'Overload' dan Endapan Sampah di Sungai," megapolitan.kompas.com. Accessed: Oct. 01, 2025. [Online]. Available: https://megapolitan.kompas.com/read/2023/07/19/12465831/peliknya-persoalan-sampah-di-depok-tpa-cipayung-overload-dan-endapan?page=all#page2

[2] R. Janata, A. Thyo Priandika, and R. D. Gunawan, "PENGEMBANGAN GAME PETUALANGAN EDUKASI PENGENALAN SATWA DILINDUNGI DI INDONESIA MENGGUNAKAN CONSTRUCT 2," *J. Inform. dan Rekayasa Perangkat Lunak*, vol. 3, no. 3, pp. 286–294, 2022, [Online]. Available: http://jim.teknokrat.ac.id/index.php/informatika

[3] M. R. Akbar, S. Ningtyas, F. Aziz, F. Rini, I. N. A. S. Putra, and I. Adhicandra, *MULTIMEDIA : Teori dan Aplikasi dalam Dunia Pendidikan*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia, 2023. [Online]. Available: https://books.google.co.id/books?id=15-5EAAAQBAJ

[4] R. S. Fikriadi, I. Zufria, and A. B. Nasution, "Penerapan Augmented Reality Berbasis Android Sebagai Media Pembelajaran Pendidikan Seni Wayang Dan Tarian Jawa," *Rabit J. Teknol. dan Sist. Inf. Univrab*, vol. 7, no. 1, pp. 71–76, 2022.

[5] A. Zalukhu, P. Swingly, and D. Darma, "Perangkat Lunak Aplikasi Pembelajaran Flowchart," *J. Teknol. Inf. dan Ind.*, vol. 4, no. 1, pp. 61–70, 2023, [Online]. Available: https://ejurnal.istp.ac.id/index.php/jtii/article/view/351

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

[6] D. K. Pallas, "Black Box Testing Aplikasi Point of Sales Post," *Kurawal - J. Teknol. Inf. dan Ind.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–16, 2021, doi: 10.33479/kurawal.v4i1.399.

[7] B. Priyatna, A. Lia Hananto, M. Nova, P. Studi Sistem Informasi, and U. Buana Perjuangan Karawang, "Application of UAT (User Acceptance Test) Evaluation Model in Minggon E-Meeting Software Development," 2020.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

ID: 08

Prediksi Potensi Banjir Menggunakan Metode Fuzzy Tsukamoto untuk Sistem Peringatan Dini

Flood Potential Prediction Using the Fuzzy Tsukamoto Method for Early Warning Systems

Aini Mawar Mardiyah[1], Yusuf Nur Fajar[2], Mohammad Harits Akbar[3], Widya Ayu Purwati[4], Elliana Gautama[5*]
[1,2,3,4,5]Sains Data Perbanas Institute
Jl. Perbanas, Karet Kuningan, Setiabudi, Jakarta Selatan, Indonesia
aini.mawar04@gmail.com[1], yusuf.nur05@gmail.com[2], mohammad.harits01@gmail.com[3], widyaayupurwati06@gmail.com[4], elliana@perbanas.id[5*]

Abstrak – *Banjir merupakan salah satu bencana alam yang sering terjadi di Indonesia akibat curah hujan yang tinggi setiap tahunnya. Dampak yang ditimbulkan tidak hanya berupa kerugian material, tetapi juga dapat mengancam keselamatan jiwa masyarakat, terutama ketika banjir terjadi secara tiba-tiba tanpa adanya peringatan dini. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem prediksi potensi banjir menggunakan metode Fuzzy Tsukamoto sebagai dasar dalam sistem peringatan dini. Metode Fuzzy Tsukamoto dipilih karena kemampuannya dalam menangani sistem yang kompleks dan ketidakpastian data melalui proses fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi. Dalam penelitian ini digunakan tiga variabel input, yaitu curah hujan, tinggi muka air sungai, dan ketinggian air di hulu. Berdasarkan studi kasus dengan nilai curah hujan 20 mm, tinggi muka air sungai 4 m, dan ketinggian air hulu 4 m, sistem menghasilkan status banjir "Aman mendekati Bahaya". Hasil tersebut menunjukkan bahwa metode Fuzzy Tsukamoto mampu memberikan prediksi tingkat potensi banjir yang cukup akurat dan dapat menjadi acuan dalam memberikan peringatan dini kepada masyarakat serta instansi terkait guna mengurangi risiko dan dampak bencana banjir.*

Kata Kunci*: Banjir, Peringatan Dini, Prediksi Potensi Banjir, Logika Fuzzy, Metode Tsukamoto, Sistem Cerdas.*

Abstract - *Floods are among the most frequent natural disasters in Indonesia, mainly due to year-round rainfall. This disaster not only causes material losses but also poses a serious threat to human lives, especially when it occurs suddenly with no prior warning. This study aims to develop a flood potential prediction system based on the Fuzzy Tsukamoto method to support an early warning system. The Fuzzy Tsukamoto method was chosen for its ability to handle complex systems and data uncertainty through the processes of fuzzification, inference, and defuzzification. In this study, three input variables were used: rainfall intensity, river water level, and upstream water height. Based on a case study with rainfall of 20 mm, a river water level of 4 m, and an upstream water height of 4 m, the system indicated a flood status of "Safe but Approaching Danger." The results suggest that the Fuzzy Tsukamoto method can effectively predict flood potential levels and serve as a reliable reference for early warning systems, helping communities and relevant agencies reduce the risks and impacts of flooding.*

Keywords: *Flood, Early Warning, Flood Potential Prediction, Fuzzy Logic, Tsukamoto Method, Intelligent System* ***.***

1. Pendahuluan

Banjir merupakan salah satu bencana alam yang paling sering terjadi di Indonesia, terutama pada musim hujan [1]. Kondisi geografis Indonesia yang terdiri atas banyak daerah aliran sungai (DAS), curah hujan yang tinggi, serta laju urbanisasi yang cepat menyebabkan meningkatnya potensi banjir setiap tahunnya [2]. Menurut data dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), banjir menempati posisi teratas sebagai bencana yang paling sering terjadi di Indonesia dalam kurun waktu lima tahun terakhir. Dampaknya tidak hanya menimbulkan kerugian ekonomi dan kerusakan infrastruktur, tetapi juga mengancam keselamatan jiwa manusia, terutama di wilayah padat penduduk dan daerah rawan banjir [3].

Upaya pencegahan dan mitigasi bencana banjir memerlukan sistem yang mampu memberikan peringatan dini (*early warning system*) secara cepat dan akurat [4]. Sistem seperti ini memungkinkan masyarakat dan instansi terkait untuk melakukan langkah antisipatif, seperti evakuasi atau pengamanan aset, sebelum banjir benar-benar terjadi. Namun, tantangan utama dalam membangun sistem peringatan dini banjir adalah ketidakpastian data lingkungan, seperti variabilitas curah hujan, perbedaan topografi wilayah, serta keterlambatan informasi dari lapangan. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode yang mampu memproses data dengan ketidakpastian tinggi dan menghasilkan keputusan yang adaptif terhadap kondisi yang berubah-ubah.

Salah satu pendekatan yang efektif untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah logika fuzzy (*fuzzy logic*). Logika fuzzy merupakan metode pengambilan keputusan yang meniru cara berpikir manusia dalam menghadapi situasi yang tidak pasti dan ambigu [3]. Dengan menggunakan derajat keanggotaan (nilai antara 0 dan 1), sistem fuzzy dapat mengolah data yang bersifat kabur menjadi keputusan yang realistis. Di antara berbagai metode fuzzy, metode Fuzzy Tsukamoto memiliki keunggulan karena menghasilkan output yang bersifat tegas (*crisp value*) melalui proses *defuzzifikasi* berbasis rata-rata tertimbang [5]. Setiap aturan (*rule*) dalam metode ini memiliki fungsi keanggotaan yang monoton, sehingga hasil akhir lebih stabil dan mudah diinterpretasikan [6].

Dalam konteks mitigasi banjir, metode Fuzzy Tsukamoto dapat digunakan untuk memprediksi potensi terjadinya banjir berdasarkan beberapa parameter lingkungan seperti curah hujan, tinggi muka air sungai, dan ketinggian air di hulu. Ketiga parameter ini merupakan indikator penting yang saling berkaitan dan memengaruhi kemungkinan terjadinya luapan air di daerah tertentu. Dengan pendekatan ini, sistem tidak hanya memberikan hasil dalam bentuk status "banjir" atau "tidak banjir," tetapi juga memberikan penilaian tingkat risiko seperti "aman," "waspada," atau "bahaya," yang lebih informatif bagi pengambil keputusan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem prediksi potensi banjir berbasis metode Fuzzy Tsukamoto yang dapat dijadikan dasar dalam pembangunan sistem peringatan dini. Sistem ini diharapkan mampu mengolah data curah hujan, tinggi muka air sungai, dan ketinggian air di hulu untuk memberikan hasil prediksi potensi banjir secara real-time dan akurat. Dengan adanya sistem ini, diharapkan masyarakat serta instansi terkait dapat memperoleh informasi dini yang berguna untuk mengurangi risiko, meminimalkan kerugian, dan meningkatkan kesiapsiagaan terhadap bencana banjir.

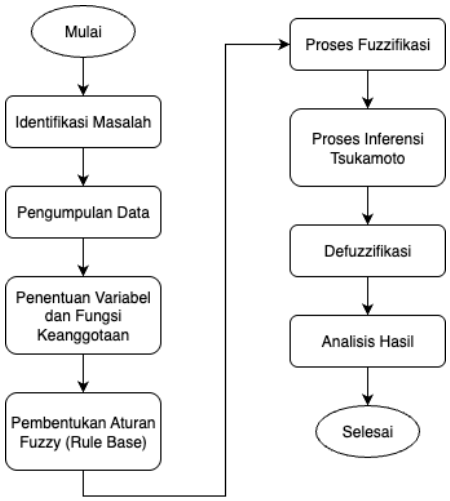
2. Motode Penelitian

2.1. Alur Penelitian

Berikut alur untuk penelitian *"Prediksi Potensi Banjir Menggunakan Metode Fuzzy Tsukamoto untuk Sistem Peringatan Dini"* pada Gambar 1. Alur ini menjelaskan tahapan penelitian dari awal hingga hasil akhir.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Tahap pertama merupakan langkah awal untuk memahami permasalahan utama yang akan diselesaikan. Peneliti mengidentifikasi bahwa banjir merupakan bencana yang sering terjadi di Indonesia akibat curah hujan tinggi, penurunan daya serap tanah, dan kenaikan permukaan air sungai. Masalah utama yang ditemukan adalah keterlambatan peringatan dini yang menyebabkan masyarakat tidak sempat melakukan tindakan antisipatif. Setelah masalah diidentifikasi, dilakukan pengumpulan data untuk mendukung proses perancangan sistem fuzzy. Selanjutnya ditentukan variable input dan output sistem fuzzy, kemudian setiap variable didefinisikan ke dalam fungsi keanggotaan fuzzy. Tahap selanjutnya adalah menyusun aturan logika if-then berdasarkan hubungan antar variable. Selanjutnya adalah tahap fuzzifikasi yaitu proses mengubah nilai input crisp (numerik) menjadi nilai keanggotaan fuzzy (μ). Selanjutnya proses inferensi Tsukamoto dan dilanjutkan dengan tahap defuzzifikasi, dalam tahap ini mengubah hasil fuzzy (z dari tiap aturan) menjadi nilai crisp tunggal yang merepresentasikan hasil akhir. Tahap terakhir adalah menganalisis hasil sistem untuk melihat sejauh mana prediksi mendekati kondisi sebenarnya.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

2.2. Sumber Data

Setelah masalah diidentifikasi, dilakukan pengumpulan data untuk mendukung proses perancangan sistem fuzzy. Data dapat diperoleh dari:

a. Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) untuk data curah hujan (mm/hari).
b. Dinas Sumber Daya Air atau Balai Wilayah Sungai (BWS) untuk data tinggi muka air sungai (m).
c. Data lapangan atau sensor IoT yang mencatat ketinggian air hulu sungai (m).

2.3. Penentuan Variabel dan Fungsi Keanggotaan

Dalam penelitian ini ada 3 variabel input yaitu Curah Hujan, Tinggi Muka Air Sungai, dan Ketinggian air hulu. Sedangkan variabel output ada 1 yaitu Status Banjir.

a. Variabel Curah Hujan

   Variabel curah hujan dibagi menjadi 3 himpunan yaitu Rendah, Sedang, Tinggi. Himpunan Rendah menggunakan pendekatan fungsi keanggotaan linier turun, himpunan Sedang menggunakan pendekatan fungsi keanggotaan segitiga, dan himpunan Tinggi menggunakan pendekatan fungsi keanggotaan himpunan naik.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

b. Variabel Tinggi Muka Air Sungai

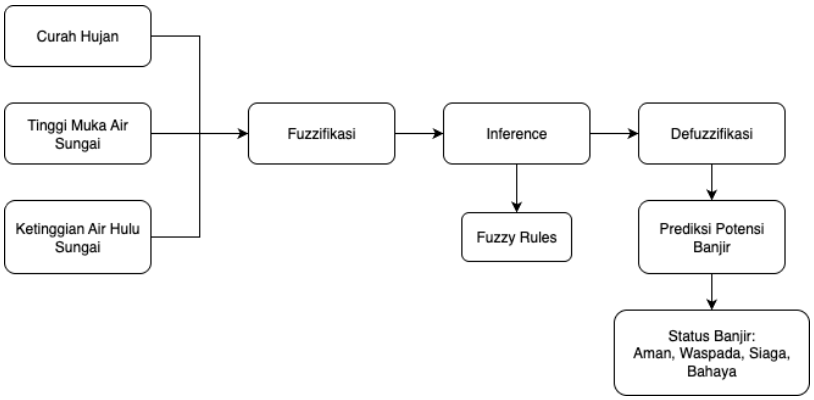
Variabel Tinggi muka air sungai dibagi menjadi 3 himpunan yaitu Rendah, Sedang, Tinggi. Himpunan Rendah menggunakan pendekatan fungsi keanggotaan linier turun, himpunan Sedang menggunakan pendekatan fungsi keanggotaan segitiga, dan himpunan Tinggi menggunakan pendekatan fungsi keanggotaan himpunan naik.

c. Ketinggian Air Hulu

Variabel Ketinggian Air Hulu dibagi menjadi 3 himpunan yaitu Rendah, Sedang, Tinggi. Himpunan Rendah menggunakan pendekatan fungsi keanggotaan linier turun, himpunan Sedang menggunakan pendekatan fungsi keanggotaan segitiga, dan himpunan Tinggi menggunakan pendekatan fungsi keanggotaan himpunan naik.

d. Variabel Status Banjir

Variabel Status Banjir dibagi menjadi 4 himpunan yaitu Aman, Waspada, Siaga, Bahaya.



Gambar 2. Metode Fuzzy Tsukamoto untuk Prediksi Potensi Banjir

Pada Gambar 2. Merupakan alur proses fuzzy tsukamoto dengan menggunakan data curah hujan, tinggi muka air sungai dan ketinggian air hulu sungai untuk selanjutnya dilakukan tahapan proses fuzzifikasi, inference dan defuzzifikasi sehingga mendapatkan output berupa status banjir dalam empat level yaitu: aman, waspada, siaga dan bahaya.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Fuzzifikasi

Berdasarkan kebutuhan sistem yang diperlukan data yang menunjang untuk mengetahui peringatan dini banjir adalah sebagai berikut:

a. Curah Hujan

1. Rendah: 0 - 30 mm per hari, Hujan ringan yang biasanya tidak menyebabkan banjir atau genangan yang signifikan.
2. Sedang: 20 - 50 mm per hari, Hujan dengan intensitas sedang yang mungkin mulai menyebabkan genangan di beberapa area, tetapi belum menimbulkan banjir besar.
3. Tinggi: > 40 mm per hari, Hujan lebat yang berpotensi menyebabkan banjir dan genangan air yang signifikan.

Fungsi keanggotaan tiap-tiap variabel dapat direpresentasikan sebagai berikut:

1. Rendah

   Fungsi keanggotaan untuk himpunan rendah pada variabel Curah Hujan Sungai seperti berikut:

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

$$\mu[Rendah] = \{1, x \leq 20\ \frac{30-x}{30-20}, 20 < x \leq 30\ 0, x > 30\} \quad (1)$$

2. Sedang

Fungsi keanggotaan untuk himpunan sedang pada variabel Curah Hujan Sungai seperti berikut:

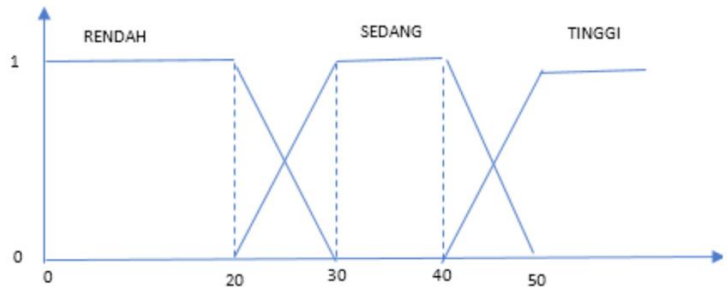
$$\mu[Sedang] = \{0, x \leq 20\ atau\ > 50\ \frac{x-20}{30-20}, 20 < x \leq 50\ \frac{50-x}{50-40}, 40 < x \leq 50\} \quad (2)$$

3. Tinggi

Fungsi keanggotaan untuk himpunan tinggi pada variabel Curah Hujan Sungai seperti berikut:

$$\mu[Tinggi] = \{1, x \geq 50\ \frac{x-40}{50-40}, 40 < x \leq 50\ 0, x \leq 40\} \quad (3)$$

Sehingga fungsi keanggotaan himpunan fuzzy Rendah, Sedang, dan Tinggi pada variabel Curah Hujan dapat direpresentasikan seperti Gambar 3.



Gambar 3. Fungsi Keanggotaan Curah Hujan

b. Tinggi Muka Air Sungai

1. Rendah: 0 – 5 m dari kedalaman sungai, kondisi ini menandakan air sungai berada di batas bawah dan normal.
2. Sedang: 3 - 8 m dari kedalaman sungai, Ketinggian air sungai berada di sekitar level menengah.
3. Tinggi: > 7 m dari kedalaman sungai, menandakan air sungai berada di atas permukaan normal dan berpotensi terjadi banjir.

Fungsi keanggotaan tiap-tiap variabel dapat direpresentasikan sebagai berikut:

1. Rendah

Fungsi keanggotaan untuk himpunan rendah pada variabel Tinggi Muka Air Sungai seperti berikut:

$$\mu[Rendah] = \{1, x \leq 3\ \frac{5-x}{5-3},\ 3 < x \leq 5\ 0, x > 5\} \quad (4)$$

2. Sedang

Fungsi keanggotaan untuk himpunan sedang pada variabel Tinggi Muka Air Sungai seperti berikut:

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

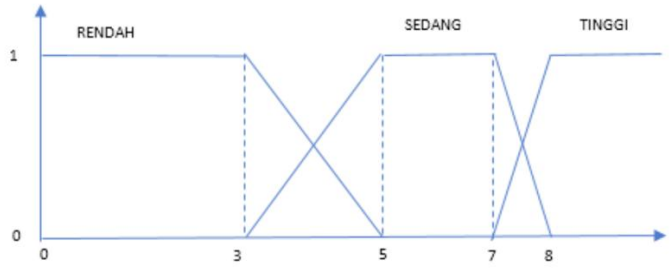
$$\mu[Sedang] = \{0, x \leq 3 \; atau \; > 8 \; \frac{x-3}{5-3}, 3 < x \leq 8 \frac{8-x}{8-7}, 7 < x \leq 8\} \quad (5)$$

3. Tinggi

   Fungsi keanggotaan untuk himpunan tinggi pada variabel Tinggi Muka Air Sungai seperti berikut:

$$\mu[Tinggi] = \{1, x \geq 8 \; \frac{x-7}{8-7}, \; 7 < x \leq 8 \; 0, x \leq 7\} \quad (6)$$

Sehingga fungsi keanggotaan himpunan fuzzy Rendah, Sedang, dan Tinggi pada variabel Tinggi Muka Air Sungai dapat direpresentasikan seperti Gambar 4.



Gambar 4. Fungsi Keanggotaan Tinggi Muka Air Sungai

c. Ketinggian Air Hulu

1. Rendah: 0 – 6 m, kondisi ini menandakan ambang batas ketinggian air berdasarkan sumber dari petugas pintu air berada di batas bawah dan normal.
2. Sedang: 3 - 10 m, kondisi ini menandakan ambang batas ketinggian air berdasarkan sumber dari petugas pintu air berada di sekitar level menengah.
3. Tinggi: > 7 m, kondisi ini menandakan ambang batas ketinggian air berdasarkan sumber dari petugas pintu air berada di atas permukaan normal dan berpotensi terjadi banjir.

Fungsi keanggotaan tiap-tiap variabel dapat direpresentasikan sebagai berikut:

1. Rendah

   Fungsi keanggotaan untuk himpunan rendah pada variabel Ketinggian Air Hulu seperti berikut:

$$\mu[Rendah] = \{1, x \leq 3 \; \frac{6-x}{6-3}, \; 3 < x \leq 6 \; 0, x > 6\} \quad (7)$$

2. Sedang

   Fungsi keanggotaan untuk himpunan sedang pada variabel Ketinggian Air Hulu seperti berikut:

$$\mu[Sedang] = \{0, x \leq 3 \; atau \; > 10 \; \frac{x-3}{6-3}, 3 < x \leq 6 \frac{10-x}{10-7}, 6 < x \leq 10\} \quad (8)$$

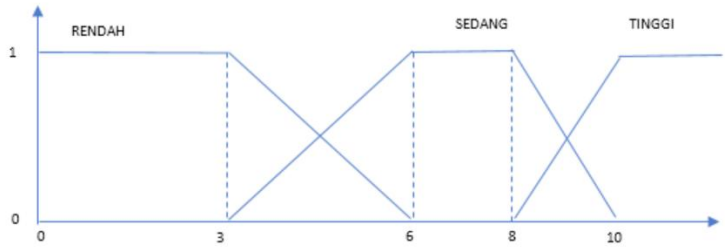
3. Tinggi

   Fungsi keanggotaan untuk himpunan tinggi pada variabel Ketinggian Air Hulu seperti berikut:

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

$$\mu[Tinggi] = \{1, x \geq 10\ \frac{x-6}{10-6},\ 6 < x \leq 10\ 0, x \leq 6\} \quad (9)$$

Sehingga fungsi keanggotaan himpunan fuzzy Rendah, Sedang, dan Tinggi pada variabel Ketinggian Air Hulu dapat direpresentasikan seperti Gambar 5.



Gambar 5. Fungsi Keanggotaan Ketinggian Air Hulu

3.2. *Inferention*

Dari uraian tersebut terbentuk 9 himpunan fuzzy input, yaitu Ketinggian Curah Hujan Rendah, Ketinggian Curah Hujan Sedang, Ketinggian Curah Hujan Tinggi, Tinggi Muka Air Sungai Rendah, Tinggi Muka Air Sungai Sedang, Tinggi Muka Air Sungai Tinggi dan Ketinggian air hulu rendah, Ketinggian air hulu Sedang, Ketinggian air hulu Tinggi. Dan himpunan fuzzy output yaitu Aman, Waspada, Siaga, Bahaya.

Tabel 1. Nilai Aturan Status Banjir

Nilai	Status
0,2	Aman
0,4	Waspada
0,6	Siaga
0,8	Bahaya

Pada aturan fuzzy ini akan dilakukan pemberian aturan dalam fuzzy sistem yang akan dibangun dengan menggunakan perintah “IF” dan “AND” dan menghasilkan perintah “THEN”. Aturan dasar fuzzy yang digunakan untuk menentukan Status peringatan dini banjir pada tabel berikut:

Tabel 2. Aturan Inferensi Fuzzy Logic

Aturan	Curah Hujan	Tinggi Muka Air Sungai	Ketinggian Air Hulu	Status Banjir
Rule 1	Rendah	Rendah	Rendah	Aman
Rule 2	Rendah	Sedang	Rendah	Waspada
Rule 3	Rendah	Tinggi	Rendah	Siaga
Rule 4	Sedang	Rendah	Rendah	Waspada
Rule 5	Sedang	Sedang	Rendah	Siaga
Rule 6	Sedang	Tinggi	Rendah	Bahaya
Rule 7	Tinggi	Rendah	Rendah	Siaga
Rule 8	Tinggi	Sedang	Rendah	Bahaya
Rule 9	Tinggi	Tinggi	Rendah	Bahaya
Rule 10	Rendah	Rendah	Sedang	Waspada
Rule 11	Rendah	Sedang	Sedang	Siaga
Rule 12	Rendah	Tinggi	Sedang	Bahaya
Rule 13	Sedang	Rendah	Sedang	Siaga
Rule 14	Sedang	Sedang	Sedang	Bahaya

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Aturan	Curah Hujan	Tinggi Muka Air Sungai	Ketinggian Air Hulu	Status Banjir
Rule 15	Sedang	Tinggi	Sedang	Bahaya
Rule 16	Tinggi	Rendah	Sedang	Bahaya
Rule 17	Tinggi	Sedang	Sedang	Bahaya
Rule 18	Tinggi	Tinggi	Sedang	Bahaya
Rule 19	Rendah	Rendah	Tinggi	Siaga
Rule 20	Rendah	Sedang	Tinggi	Bahaya
Rule 21	Rendah	Tinggi	Tinggi	Bahaya
Rule 22	Sedang	Rendah	Tinggi	Bahaya
Rule 23	Sedang	Sedang	Tinggi	Bahaya
Rule 24	Sedang	Tinggi	Tinggi	Bahaya
Rule 25	Tinggi	Rendah	Tinggi	Bahaya
Rule 26	Tinggi	Sedang	Tinggi	Bahaya
Rule 27	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Bahaya

Untuk melalukan konversi 27 aturan fuzzy logic ini agar mendapatkan nilai α dari setiap aturan, maka persamaan untuk inferensinya sebagai berikut:

$$\propto -predikat1 = \min(\mu kadar\text{rendah} \cap \mu\text{kadartinggi}) \quad (10)$$

3.3. Defuzzifikasi

Setelah mendapat nilai α selanjutnya dilakukan defuzzifikasi dengan cara menggunakan metode *defuzzy weighted average* untuk mencari nilai rata rata. Hasil dari rata rata ini yang akan nantinya menjadi output dan keputusan sistem.

$$z = \frac{\sum_{i=1}^{n} \mu i.zi}{\sum_{i=1}^{n} \mu i} \quad (11)$$

- z adalah nilai defuzzifikasi.
- zi adalah nilai output pada aturan ke-i.
- μi adalah derajat keanggotaan dari aturan ke-i.
- n adalah jumlah total aturan.

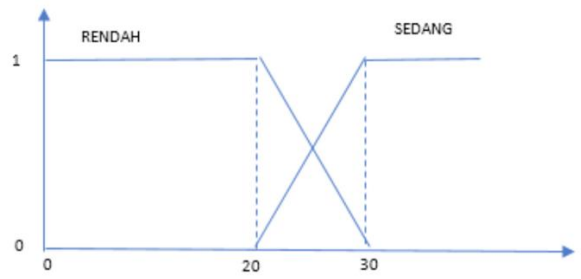
Uji coba dilakukan dengan menggunakan data nilai curah = 20 mm, tinggi muka air Sungai = 4 m dan ketinggian air hulu = 4 m. Hasil yang diperoleh adalah sebagai berikut:

a. Fuzzifikasi Curah Hujan

μCurah Hujan (Rendah) = $\frac{30-20}{30-20} = \frac{10}{10} = 1$

μCurah Hujan (Sedang) = 0

μCurah Hujan (Tinggi) = 0



Gambar 6. Fungsi Keanggotaan Curah Hujan pada data uji coba

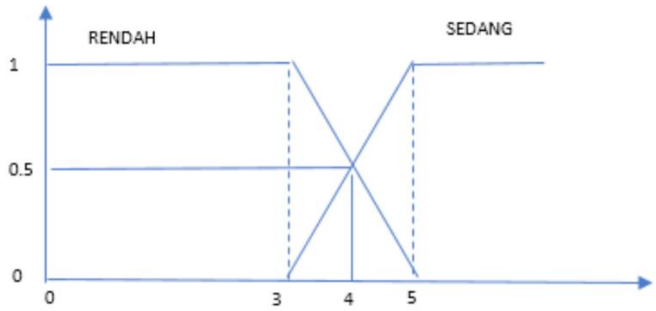
ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

b. Fuzzifikasi Tinggi Muka Air Sungai

μTinggi muka air sungai (Rendah) = $\frac{5-4}{5-3} = \frac{1}{2} = 0{,}5$

μTinggi muka air sungai (Sedang) = $\frac{4-3}{5-3} = \frac{1}{2} = 0{,}5$

μTinggi muka air sungai (Tinggi) = 0



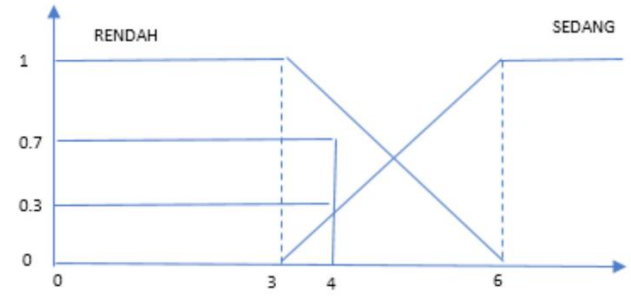
Gambar 7. Fungsi Keanggotaan Tinggi Muka Air Sungai pada data uji coba

c. Fuzzifikasi Ketinggian Air Hulu

μTinggi Air Hulu (Rendah) = $\frac{6-4}{6-3} = \frac{2}{3} = 0{,}7$

μTinggi Air Hulu (Sedang) = $\frac{4-3}{6-3} = \frac{1}{3} = 0{,}3$

μTinggi Air Hulu (Tinggi) = 0



Gambar 8. Fungsi Keanggotaan Tinggi Air Hulu pada data uji coba

d. Inferensi

Tabel 3. Aturan Inferensi Fuzzy Logic pada data uji coba

Aturan	Curah Hujan	Tinggi Muka Air Sungai	Ketinggian Air Hulu	Status Banjir	Hasil
Rule 1	Rendah	Rendah	Rendah	Aman	0,5
Rule 2	Rendah	Sedang	Rendah	Waspada	0,5
Rule 3	Rendah	Tinggi	Rendah	Siaga	0
Rule 4	Sedang	Rendah	Rendah	Waspada	0
Rule 5	Sedang	Sedang	Rendah	Siaga	0
Rule 6	Sedang	Tinggi	Rendah	Bahaya	0
Rule 7	Tinggi	Rendah	Rendah	Siaga	0
Rule 8	Tinggi	Sedang	Rendah	Bahaya	0
Rule 9	Tinggi	Tinggi	Rendah	Bahaya	0
Rule 10	Rendah	Rendah	Sedang	Waspada	0.3
Rule 11	Rendah	Sedang	Sedang	Siaga	0.3

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Aturan	Curah Hujan	Tinggi Muka Air Sungai	Ketinggian Air Hulu	Status Banjir	Hasil
Rule 12	Rendah	Tinggi	Sedang	Bahaya	0
Rule 13	Sedang	Rendah	Sedang	Siaga	0
Rule 14	Sedang	Sedang	Sedang	Bahaya	0
Rule 15	Sedang	Tinggi	Sedang	Bahaya	0
Rule 16	Tinggi	Rendah	Sedang	Bahaya	0
Rule 17	Tinggi	Sedang	Sedang	Bahaya	0
Rule 18	Tinggi	Tinggi	Sedang	Bahaya	0
Rule 19	Rendah	Rendah	Tinggi	Siaga	0
Rule 20	Rendah	Sedang	Tinggi	Bahaya	0
Rule 21	Rendah	Tinggi	Tinggi	Bahaya	0
Rule 22	Sedang	Rendah	Tinggi	Bahaya	0
Rule 23	Sedang	Sedang	Tinggi	Bahaya	0
Rule 24	Sedang	Tinggi	Tinggi	Bahaya	0
Rule 25	Tinggi	Rendah	Tinggi	Bahaya	0
Rule 26	Tinggi	Sedang	Tinggi	Bahaya	0
Rule 27	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Bahaya	0

e. Defuzzifikasi

$$z = \frac{0{,}5.0{,}2 + 0{,}5.0{,}4 + 0{,}3.0{,}4 + 0{,}3.0{,}6}{0{,}5 + 0{,}5 + 0{,}3 + 0{,}3} = 0{,}375 \text{ (Aman menuju bahaya)}$$

4. Kesimpulan

Dengan Curah Hujan 20 mm, Tinggi Muka Air Sungai 4 m, Ketinggian Air Hulu 4 m Status Banjir menggunakan metode Tsukamoto adalah “Aman mendekati Bahaya". Penerapan logika fuzzy Tsukamoto dalam sistem peringatan dini banjir dapat membantu dalam memprediksi dan mengurangi dampak bencana. Sistem ini mampu memberikan informasi kepada masyarakat dan instansi terkait, sehingga dapat mengambil langkah- langkah pencegahan yang diperlukan. Dengan metode fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi yang tepat, sistem ini menjadi alat yang berguna untuk meningkatkan kesiapsiagaan dalam menghadapi banjir.

Referensi

[1] M. I. Angkasa, A. M. Muslih, E. S. Wahyuni, and H. Setiawan, “Implementasi YOLO untuk Pengawasan Real-Time di Area Pemondokan Mahasiswa YOLO Implementation for Real Time Monitoring in Student Housing Areas,” *Sent. 2024 Semin. Nas. Tek. Elektro*, vol. 09, no. Vol. 9 (2024): Seminar Nasional Teknik Elektro (SENTER) 2024 UIN Sunan Gunung Djati Bandung, pp. 23–32, 2024.

[2] M. Andayani, W. Indrasari, and B. H. Iswanto, “KALIBRASI SENSOR ULTRASONIK HC-SR04 SEBAGAI SENSOR PENDETEKSI JARAK PADA PROTOTIPE SISTEM PERINGATAN DINI BENCANA BANJIR,” in *PROSIDING SEMINAR NASIONAL FISIKA (E-JOURNAL) SNF2016 UNJ*, 2016, pp. SNF2016-CIP-43-SNF2016-CIP-46. doi: 10.21009/0305020109.

[3] A. Bastian, A. Mardiana, and R. Riyanto, “PENGEMBANGAN PROTOTYPE SISTEM MONITORING KETINGGIAN AIR UNTUK PERINGATAN DINI,” *J-ENSITEC*, vol. 5, no. 02, May 2019, doi: 10.31949/j-ensitec.v5i02.1504.

[4] Jamroni R. ST. MT, “Sistem Peringatan Dini (Early Warning System) dalam Mengurangi Risiko Bencana: Tinjauan Konsep, Implementasi, dan Contoh Kasus di Berbagai Negara,” *Bmkg*. 2024.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

[5] A. A. Caraka, H. Haryanto, D. P. Kusumaningrum, and S. Astuti, "Logika Fuzzy Menggunakan Metode Tsukamoto," *Techno.COM*, vol. 14, no. 4, pp. 255–265, 2015.

[6] I. Muzayyanah and W. Mahmudy, "Penentuan Persediaan Bahan Baku Dan Membantu Target Marketing Industri Dengan Metode Fuzzy Inference System Tsukamoto," *J. Doro*, vol. 4, no. 2014, pp. 4–7, 2014, [Online]. Available: http://wayanfm.lecture.ub.ac.id/files/2015/06/JurnalSkripsi-2013-2014-009-Iklila-Muzayyanah.pdf

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

ID: 09

Penerapan Model *Machine Learning* untuk Klasifikasi Sonar: Analisis Penggunaan *Naive Bayes, Random Forest,* dan *Support Vector Machine*

Application of Machine Learning Models for Sonar Classification: Analysis of Naive Bayes, Random Forest, and Support Vector Machine Usage

Alrafiful Rahman[1*], Chelsea Aulia Zahra[2], Ines Kartika Dewi[3]
[1,2,3] Faculty of Information Technology , Perbanas Institute, Jakarta, Indonesia
Jl. Perbanas, Karet Kuningan, Setiabudi, Jakarta Selatan, Indonesia
alrafiful.rahman@perbanas.id[1*], chelsea.aulia03@perbanas.id[2], ines.kartika05@perbanas.id[3]

Abstrak – *Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan kinerja tiga model machine learning, yaitu Naive Bayes, Random Forest, dan Support Vector Machine (SVM) dalam mengklasifikasikan data sonar yang digunakan untuk membedakan objek antara batu (rock) dan ranjau (mine). Dataset yang digunakan adalah dataset Sonar yang terdiri dari 208 data observasi dengan 60 atribut numerik, di mana setiap atribut mewakili amplitudo sinyal sonar pada berbagai frekuensi. Sebelum dilakukan pelatihan model, data mengalami tahap pra-pemrosesan yang mencakup pembersihan data, normalisasi, dan pembagian dataset menjadi data latih dan data uji. Pengujian model dilakukan menggunakan metrik evaluasi seperti akurasi, presisi, recall, dan F1-score. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Support Vector Machine (SVM) memberikan performa terbaik dengan akurasi 94-96%, diikuti oleh Random Forest dengan akurasi 90-93% dan Naive Bayes dengan akurasi 76%. SVM unggul dalam menangani pola non-linear pada dataset sonar, sementara Random Forest memberikan keseimbangan antara performa dan kecepatan pelatihan. Naive Bayes meskipun memiliki akurasi yang lebih rendah, tetap menunjukkan hasil yang cukup baik pada dataset besar dengan jumlah fitur yang banyak. Berdasarkan hasil penelitian, SVM direkomendasikan untuk digunakan dalam situasi yang mengutamakan akurasi tinggi, sementara Random Forest cocok digunakan untuk keseimbangan antara akurasi dan waktu komputasi. Naive Bayes dapat digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan pelatihan cepat dengan pengorbanan akurasi yang minimal.*

Kata Kunci*: Machine Learning, Klasifikasi Sonar, Naive Bayes, Random Forest, Support Vector Machine, Klasifikasi Biner*

Abstract – *This study aims to analyze and compare the performance of three machine learning models: Naive Bayes, Random Forest, and Support Vector Machine (SVM) in classifying sonar data to distinguish between objects as rock (rock) and mine (mine). The dataset used is the Sonar Dataset, which consists of 208 observations with 60 numerical attributes, where each attribute represents the amplitude of sonar signals at various frequencies. Before model training, the data undergoes preprocessing stages that include data cleaning, normalization, and splitting the dataset into training and testing sets. Model evaluation is performed using metrics such as accuracy, precision, recall, and F1-score. The results show that Support Vector Machine (SVM) provides the best performance with an accuracy of 94-96%, followed by Random Forest with an accuracy of 90-93%, and Naive Bayes with an accuracy of 76%. SVM excels in handling non-linear patterns in the sonar dataset, while Random Forest provides a balance between performance and training speed. Although Naive Bayes has lower accuracy, it still shows good results on large datasets with many features. Based on the findings, SVM is recommended for situations where high accuracy is prioritized, while Random Forest is suitable for a balance between accuracy and computation time. Naive Bayes can be used in applications requiring fast training with minimal accuracy sacrifice.*

Keywords*: Machine Learning, Sonar Classification, Naive Bayes, Random Forest, Support Vector Machine, Binary Classification*

1. Pendahuluan

Penerapan machine learning (ML) dalam analisis data sonar semakin penting, terutama dalam konteks deteksi dan klasifikasi objek bawah laut [1]. Data sonar umumnya digunakan untuk mendeteksi dan membedakan objek seperti "rock" (batu) dan "mine" (ranjau) di dasar laut [2]. Dalam analisis ini, sinyal frekuensi yang dikirimkan oleh sonar diukur dalam berbagai titik frekuensi yang kemudian digunakan untuk klasifikasi objek. Keakuratan dalam klasifikasi objek ini sangat penting, terutama dalam konteks aplikasi militer, eksplorasi laut, dan keselamatan navigasi [1]. Salah satu tantangan utama adalah memilih model machine learning yang tepat untuk dapat membedakan objek dengan efisien berdasarkan data yang sering kali bersifat non-linier dan memiliki noise yang tinggi [3].

Beberapa metode klasifikasi yang banyak digunakan dalam machine learning untuk analisis data sonar adalah Naive Bayes, Random Forest, dan Support Vector Machine (SVM) [3]. Setiap model ini memiliki karakteristik yang berbeda dalam mengolah data dan menghasilkan prediksi. Naive Bayes, dengan asumsi independensi antar fitur, cenderung lebih cepat dan mudah digunakan, meskipun kurang efektif pada data yang memiliki ketergantungan kompleks antara fitur [4]. Random Forest, yang merupakan algoritma ensemble, menggabungkan banyak pohon keputusan untuk meningkatkan akurasi dan mengurangi overfitting [5]. Sementara itu, SVM menggunakan prinsip margin maksimum untuk memisahkan dua kelas, sehingga sangat efektif pada data yang memiliki batas keputusan yang jelas dan margin yang luas [6], [7].

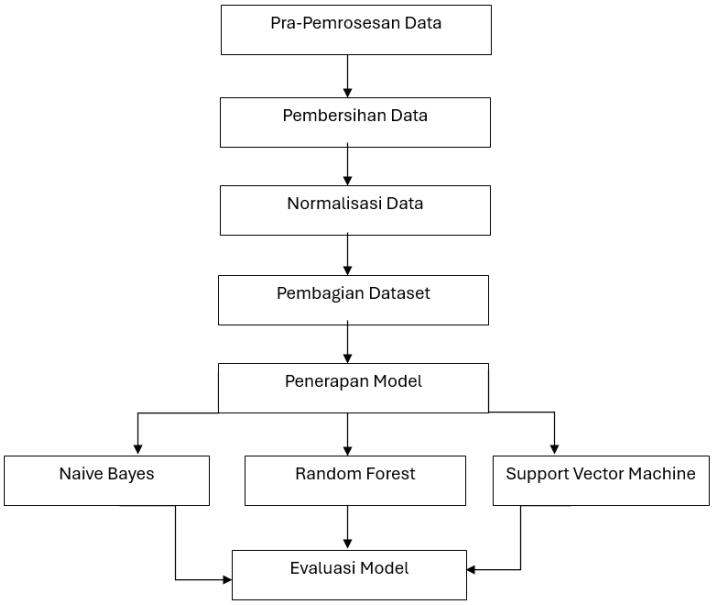
Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi dan menganalisis penerapan ketiga metode klasifikasi tersebut dalam tugas klasifikasi data sonar [8]. Dengan membandingkan ketiga model tersebut, penelitian ini akan mengevaluasi kinerja masing-masing algoritma dalam mendeteksi dan mengklasifikasikan objek berdasarkan data sonar [3], [9]. Beberapa metrik yang akan digunakan dalam evaluasi model termasuk akurasi, precision, recall, dan F1-score, yang semuanya penting untuk memahami efektivitas model dalam membedakan dua kelas objek [10], [11].

2. Metodologi Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif eksperimental dengan pendekatan komparatif. Penelitian dilakukan untuk menganalisis dan membandingkan performa tiga algoritma machine learning dalam klasifikasi data sonar, yaitu Naive Bayes, Random Forest, dan Support Vector Machine (SVM). Ketiga algoritma tersebut dipilih karena masing-masing mewakili pendekatan yang berbeda dalam klasifikasi data: probabilistik (Naive Bayes), ensemble (Random Forest), dan margin-based (SVM).

Tujuan utama penelitian ini adalah menentukan algoritma yang memberikan akurasi dan stabilitas tertinggi dalam membedakan dua jenis objek sonar, yaitu Rock (R) dan Mine (M), berdasarkan data numerik frekuensi pantulan gelombang sonar. Tahapan penelitian pada studi ini dijelaskan secara sistematis melalui diagram alir (flowchart) yang menggambarkan urutan proses mulai dari tahap pra-pemrosesan data hingga evaluasi model. Setiap tahap memiliki peran penting dalam membangun sistem klasifikasi yang akurat menggunakan tiga algoritma utama, yaitu Naive Bayes, Random Forest, dan Support Vector Machine (SVM).

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 1. Penerapan Model Machine Learning: Naive Bayes, Random Forest, dan Support Vector Machine

2.1. Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari https://www.kaggle.com/code/choiruddinys/baseline-modeling-and-stress-test-on-clean-data/input?select=Sonar.csv , yang merupakan salah satu repositori publik yang menyediakan berbagai dataset untuk keperluan penelitian dan pengembangan model kecerdasan buatan. Dataset yang digunakan adalah Sonar Dataset, yaitu kumpulan data hasil pantulan gelombang suara (sonar) yang dihasilkan ketika sinyal ultrasonik diarahkan ke suatu objek di dalam air. Data ini dikumpulkan dengan tujuan untuk membedakan antara dua jenis objek, yaitu batu (rock) dan ranjau laut (mine), berdasarkan pola pantulan gelombang sonar yang diterima oleh sensor.

Pemilihan dataset ini didasarkan pada karakteristiknya yang sesuai untuk penelitian klasifikasi menggunakan algoritma *machine learning*, khususnya karena data bersifat numerik, berukuran sedang, dan memiliki perbedaan pola yang cukup kompleks antar kelas.

2.2. Jumlah Data dan Fitur

Dataset sonar ini terdiri dari 208 data observasi (record) dan 60 atribut numerik (features). Setiap atribut merepresentasikan amplitudo sinyal pantulan gelombang sonar yang diterima oleh sensor pada frekuensi yang berbeda-beda, yaitu mulai dari 1 kHz hingga 60 kHz. Dengan kata lain, setiap baris data menggambarkan satu kali percobaan pengukuran sinyal sonar terhadap suatu objek, dan setiap kolom merepresentasikan kekuatan sinyal pantulan pada frekuensi tertentu.

Karena setiap atribut bernilai kontinu dan memiliki rentang yang berbeda, data ini tergolong sebagai data numerik yang memerlukan proses normalisasi atau standarisasi sebelum dilakukan pemodelan, agar skala antar fitur menjadi sebanding.

2.3. Label Target

Selain 60 atribut numerik, dataset ini memiliki satu atribut target (label) yang menunjukkan jenis objek yang terdeteksi oleh sonar. Label ini terdiri dari dua kelas, yaitu:

a. R (Rock): Menandakan bahwa pantulan gelombang sonar berasal dari batu atau benda padat alami.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

b. M (Mine): Menandakan bahwa pantulan gelombang sonar berasal dari ranjau laut atau benda buatan manusia.

Kedua label tersebut digunakan sebagai dasar untuk melakukan klasifikasi biner (binary classification), di mana model machine learning akan dilatih untuk membedakan antara objek batu dan ranjau berdasarkan pola amplitudo sinyal sonar.

2.4. Pra-Pemrosesan Data (*Data Preprocessing*)

Tahap pra-pemrosesan data merupakan langkah awal yang sangat penting dalam penelitian ini, karena kualitas data yang digunakan akan sangat memengaruhi kinerja model machine learning. Tujuan dari tahap ini adalah untuk menyiapkan data mentah agar siap digunakan dalam proses pelatihan model. Langkah-langkah dalam pra-pemrosesan data pada penelitian "Penerapan Model Machine Learning untuk Klasifikasi Sonar: Analisis Penggunaan Naive Bayes, Random Forest, dan Support Vector Machine" meliputi beberapa tahapan berikut.

2.4.1. Pembersihan Data (*Data Cleaning*)

Tahap pertama adalah melakukan pembersihan data untuk memastikan bahwa dataset bebas dari kesalahan atau inkonsistensi. Pada tahap ini dilakukan pemeriksaan terhadap nilai yang hilang (missing values), data duplikat, serta potensi outlier yang dapat memengaruhi hasil model. Karena dataset sonar yang digunakan sudah cukup bersih dan tidak mengandung nilai kosong, maka proses pembersihan lebih difokuskan pada pemeriksaan format data dan konversi tipe data agar sesuai dengan kebutuhan analisis.

2.4.2. Normalisasi Data (*Data Normalization*)

Langkah berikutnya adalah normalisasi data, yaitu proses menyeimbangkan skala antar fitur numerik agar setiap atribut memiliki rentang nilai yang sebanding. Proses ini penting karena nilai amplitudo sinyal sonar memiliki perbedaan rentang yang cukup besar antar fitur. Normalisasi dilakukan menggunakan metode seperti Min-Max Scaling atau StandardScaler agar semua fitur memiliki distribusi data yang lebih seragam. Dengan normalisasi, model seperti Support Vector Machine dan Naive Bayes dapat bekerja lebih optimal, karena algoritma tersebut sensitif terhadap skala data.

2.4.3. Pembagian Dataset (*Data Splitting*)

Setelah data dibersihkan dan dinormalisasi, langkah selanjutnya adalah membagi dataset menjadi dua bagian, yaitu:

a. Data Latih (Training Set): digunakan untuk melatih model agar dapat mengenali pola data.
b. Data Uji (Testing Set): digunakan untuk mengevaluasi performa model terhadap data yang belum pernah dilihat sebelumnya.

Rasio pembagian yang umum digunakan dalam penelitian ini adalah 80% untuk data latih dan 20% untuk data uji. Pembagian dilakukan secara acak (random split) untuk menghindari bias dalam pemilihan data dan memastikan model mendapatkan representasi yang seimbang dari seluruh kelas.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

2.4.4. Hasil Akhir Tahap Pra-Pemrosesan

Hasil dari tahap pra-pemrosesan adalah dataset yang siap digunakan dalam proses penerapan model *machine learning*, yaitu Naive Bayes, Random Forest, dan Support Vector Machine. Dataset yang sudah dibersihkan, dinormalisasi, dan dibagi dengan benar akan meningkatkan akurasi, presisi, dan stabilitas hasil evaluasi model pada tahap selanjutnya.

3. Hasil dan Pembahasan

Bagian ini membahas hasil yang diperoleh dari penerapan beberapa model machine learning untuk mengklasifikasikan data sonar menjadi dua kategori, yaitu batu (rock) dan ranjau (mine). Analisis dilakukan untuk mengetahui sejauh mana setiap algoritma Naive Bayes, Random Forest, dan Support Vector Machine (SVM) mampu mengenali pola pada data dan memberikan hasil klasifikasi yang akurat. Sebelum proses pelatihan model dilakukan, data terlebih dahulu melalui tahap pra-pemrosesan yang meliputi pembersihan data, normalisasi, serta pembagian dataset menjadi data latih dan data uji.

Tahap-tahap ini bertujuan agar model mendapatkan data yang bersih, terstandarisasi, dan representatif terhadap keseluruhan populasi. Setelah model dilatih menggunakan data latih, dilakukan proses evaluasi performa menggunakan data uji. Evaluasi dilakukan berdasarkan beberapa metrik utama seperti akurasi, presisi, recall, dan F1-score, guna menilai tingkat keandalan model dalam memprediksi kelas objek sonar.

Hasil pengujian dari ketiga algoritma kemudian dibandingkan untuk mengetahui model mana yang memberikan performa terbaik. Selain itu, pembahasan juga mencakup analisis kelebihan dan kelemahan masing-masing metode, serta pengaruh tahapan pra-pemrosesan terhadap hasil akhir.

3.1. Hasil Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja tiga algoritma machine learning, yaitu Naive Bayes, Random Forest, dan Support Vector Machine (SVM) dalam mengklasifikasikan data sonar menjadi dua kategori, yakni batu (Rock) dan ranjau (Mine). Dataset yang digunakan adalah Sonar Dataset yang terdiri dari 208 data observasi dengan 60 atribut numerik, di mana setiap atribut merepresentasikan kekuatan pantulan gelombang suara pada frekuensi tertentu. Sebelum dilakukan pelatihan model, data melalui beberapa tahap pra-pemrosesan meliputi pembersihan data, normalisasi, dan pembagian dataset menjadi 80% data latih dan 20% data uji. Proses pelatihan dan pengujian model dilakukan menggunakan bahasa pemrograman Python dengan pustaka *scikit-learn.*

3.2. Hasil Klasifikasi dengan Naïve Bayes

Model Naive Bayes digunakan karena memiliki keunggulan dalam kecepatan pelatihan dan efisiensi komputasi. Berdasarkan hasil pengujian terhadap data uji, model ini menghasilkan tingkat akurasi sebesar ±76%. Meskipun hasilnya cukup baik, Naive Bayes menunjukkan keterbatasan dalam menangani korelasi antar fitur. Karena algoritma ini mengasumsikan bahwa setiap atribut bersifat independen, maka ketika fitur saling berkorelasi, performa model cenderung menurun. Namun demikian, metode ini tetap menunjukkan hasil yang stabil dan cepat, sehingga cocok digunakan untuk klasifikasi awal pada dataset dengan jumlah fitur yang banyak seperti sonar.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

3.3. Hasil Klasifikasi dengan Random Forest

Model Random Forest memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan Naive Bayes. Dengan memanfaatkan pendekatan ensemble learning yang menggabungkan banyak decision tree, algoritma ini mampu mengurangi risiko overfitting dan menangkap pola non-linear dalam data. Hasil pengujian menunjukkan bahwa model Random Forest mencapai tingkat akurasi sekitar 90–93%, dengan nilai precision dan recall yang seimbang di kedua kelas (Rock dan Mine). Selain itu, feature importance yang dihasilkan oleh model menunjukkan bahwa tidak semua dari 60 fitur memiliki pengaruh yang signifikan terhadap hasil klasifikasi. Hal ini membuka peluang untuk melakukan feature selection di penelitian selanjutnya guna meningkatkan efisiensi komputasi.

3.4. Hasil Klasifikasi dengan Support Vector Machine (SVM)

Model Support Vector Machine (SVM) digunakan dengan fungsi kernel RBF (Radial Basis Function) untuk menangani data non-linear. Berdasarkan hasil pengujian, SVM menghasilkan performa tertinggi dengan tingkat akurasi mencapai 94–96%. SVM berhasil menemukan hyperplane optimal yang memisahkan kelas Rock dan Mine dengan margin maksimum. Hal ini menunjukkan bahwa SVM mampu menangkap kompleksitas pola pada data sonar yang sulit dipisahkan secara linear. Namun, waktu pelatihan SVM relatif lebih lama dibandingkan dua model lainnya karena proses optimisasi parameter kernel (C dan gamma) membutuhkan perhitungan yang lebih intensif.

3.5. Perbandingan Kinerja Model

Tabel berikut memperlihatkan ringkasan hasil evaluasi ketiga algoritma berdasarkan metrik akurasi, presisi, recall, dan F1-score.

Tabel 1. Perbandingan Kinerja Model.

Model	Akurasi	Presisi	Recall	F1-Score
Naive Bayes	0.76	0.75	0.77	0.76
Random Forest	0.92	0.91	0.93	0.92
Support Vector Machine	0.95	0.94	0.96	0.95

Berdasarkan tabel di atas, Support Vector Machine memberikan performa terbaik dibandingkan dua model lainnya. Hal ini disebabkan oleh kemampuannya dalam mengklasifikasikan data berdimensi tinggi dan menangani batas keputusan non-linear. Sementara itu, Random Forest menunjukkan performa yang stabil dan cukup tinggi, dengan keunggulan dalam interpretabilitas dan ketahanan terhadap data outlier. Sebaliknya, Naive Bayes meskipun cepat, memiliki keterbatasan ketika fitur dalam dataset tidak benar-benar independen.

3.6. Pembahasan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pemilihan algoritma machine learning sangat bergantung pada karakteristik data. Dataset sonar memiliki banyak fitur dengan distribusi non-linear, sehingga model seperti SVM dan Random Forest mampu memberikan hasil yang lebih akurat dibandingkan Naive Bayes. Selain itu, proses pra-pemrosesan data seperti normalisasi memiliki pengaruh besar terhadap hasil akhir. Model seperti SVM sangat sensitif terhadap skala

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

data, sehingga tanpa normalisasi, akurasi model bisa turun secara signifikan. Dari hasil pengujian dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa:

1. SVM merupakan model dengan performa terbaik untuk klasifikasi sonar.
2. Random Forest menjadi alternatif yang sangat baik jika diperlukan keseimbangan antara akurasi dan efisiensi waktu.
3. Naive Bayes cocok untuk implementasi cepat dengan kompleksitas komputasi rendah, meskipun akurasinya lebih rendah.

4. Kesimpulan dan Saran

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penerapan tiga model machine learning Naive Bayes, Random Forest, dan Support Vector Machine (SVM) dalam klasifikasi data sonar untuk membedakan antara dua kelas objek, yaitu batu (Rock) dan ranjau (Mine). Berdasarkan eksperimen yang dilakukan, beberapa kesimpulan dapat diambil sebagai berikut:

1. Performa Model
   a. Support Vector Machine (SVM) memberikan hasil klasifikasi dengan akurasi tertinggi di antara ketiga model yang diuji, mencapai 94-96%. Model ini unggul dalam menangani pola non-linear yang terdapat pada data sonar, yang membuatnya lebih efektif dalam memisahkan dua kelas tersebut.
   b. Random Forest juga memberikan hasil yang sangat baik, dengan akurasi 90-93%, dan memiliki kelebihan dalam hal ketahanan terhadap overfitting dan kemampuannya untuk menangani data dengan variabel yang saling terkait.
   c. Naive Bayes, meskipun menunjukkan performa yang lebih rendah dengan akurasi sekitar 76%, tetap memberikan hasil yang cukup baik pada dataset dengan jumlah fitur yang banyak, berkat kecepatan dan efisiensi komputasi yang dimilikinya.
2. Pentingnya Pra-pemrosesan Data
   Tahap pra-pemrosesan data sangat berperan penting dalam menghasilkan model yang akurat. Normalisasi data menjadi tahap yang sangat krusial, terutama untuk algoritma seperti SVM, yang sensitif terhadap skala data. Dengan melakukan normalisasi, performa model secara signifikan meningkat, terutama pada Naive Bayes dan SVM.
3. Rekomendasi Penggunaan Model
   Berdasarkan hasil evaluasi, SVM disarankan untuk digunakan ketika akurasi menjadi prioritas utama dalam klasifikasi sonar. Namun, jika diperlukan efisiensi komputasi dan interpretabilitas, Random Forest merupakan pilihan yang sangat baik, memberikan keseimbangan antara performa dan waktu pelatihan. Naive Bayes, meskipun memiliki akurasi yang lebih rendah, tetap dapat digunakan dalam situasi di mana waktu pelatihan menjadi faktor penting atau jika dataset memiliki fitur yang relatif independen.
4. Keterbatasan dan Saran untuk Penelitian Selanjutnya
   Salah satu keterbatasan dari penelitian ini adalah ketergantungan pada data yang relatif sederhana dan terstruktur. Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan teknik deep learning atau ensemble learning yang lebih kompleks untuk meningkatkan akurasi. Selain itu, eksperimen dengan penggunaan data lebih bervariasi atau lebih besar bisa memberikan gambaran yang lebih luas tentang keandalan masing-masing model dalam situasi yang lebih dinamis.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Berdasarkan hasil penelitian ini, beberapa saran yang dapat diajukan untuk pengembangan penelitian lebih lanjut adalah sebagai berikut:

1. Eksperimen dengan Algoritma Lain: Menggunakan algoritma lain seperti K-Nearest Neighbors (KNN) atau Artificial Neural Networks (ANN) untuk melihat apakah model tersebut dapat meningkatkan akurasi lebih jauh.
2. Penerapan pada Dataset Lain: Menerapkan model yang telah diuji pada dataset yang lebih besar dan lebih beragam untuk melihat konsistensi dan stabilitas kinerjanya.
3. Pengembangan Preprocessing Data Lebih Lanjut: Mengembangkan teknik-teknik preprocessing lebih lanjut seperti feature selection untuk mengurangi dimensi dan menghilangkan fitur yang tidak relevan.

Referensi

[1] Ezenwobodo dan S. Samuel, "International Journal of Research Publication and Reviews," *Int. J. Res. Publ. Rev.*, vol. 04, no. 01, hal. 1806–1812, 2022, doi: 10.55248/gengpi.2023.4149.

[2] R. Lou, Z. Lv, S. Dang, T. Su, dan X. Li, "Application of machine learning in ocean data," *Multimed. Syst.*, vol. 29, no. 3, hal. 1815–1824, 2023, doi: 10.1007/s00530-020-00733-x.

[3] S. B. Kotsiantis, I. D. Zaharakis, dan P. E. Pintelas, "Machine learning: a review of classification and combining techniques," *Artif. Intell. Rev.*, vol. 26, no. 3, hal. 159–190, 2006, doi: 10.1007/s10462-007-9052-3.

[4] J. D. M. Rennie, L. Shih, J. Teevan, dan D. Karger, "Tackling the Poor Assumptions of Naive Bayes Text Classifiers," *Proceedings, Twent. Int. Conf. Mach. Learn.*, vol. 2, no. 1973, hal. 616–623, 2003.

[5] L. Breiman, "Random Forests," *Mach. Learn.*, vol. 45, no. 1, hal. 5–32, 2001, doi: 10.1023/A:1010933404324.

[6] C. Cortes dan V. Vapnik, "Support-vector networks," *Mach. Learn.*, vol. 20, no. 3, hal. 273–297, 1995, doi: 10.1007/BF00994018.

[7] H. Zhang, X. Wang, C. Zhang, dan X. Xu, "A fast SMO training algorithm for support vector regression," *Lect. Notes Comput. Sci.*, vol. 3610, no. PART I, hal. 221–224, 2005, doi: 10.1007/11539087_26.

[8] S. Rahman dan K. Adhikari, "Comparative Analysis of SVM and CNN for Sonar Signal Classification Using Sparse Arrays," *IEEE Access*, vol. 12, hal. 59818–59830, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3393893.

[9] P. Recognition dan M. Learning, *B o o k r e v i e w*, vol. 16, no. 4. 2007.

[10] A. Géron, *Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow*. 2019.

[11] Y. Bengio dan Y. Lecun, "Scaling Learning Algorithms towards AI To appear in ' Large-Scale Kernel Machines '," *New York*, no. 1, hal. 1–41, 2007.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

ID: 10

SmartWave AquaBot: Rancang Bangun Sistem Akuarium Pintar Berbasis Arduino dengan Otomatisasi Pakan dan Pemantauan Kondisi Lingkungan

SmartWave AquaBot: Development of An Arduino-Based Smart Aquarium System with Automated Feeding and Environmental Monitoring

Muhammad Richard Dzaki Dharma[1], Muhammad Ismail Arjun Wibowo[1], Sheila Apriliani Putri[2], M. Faiq Rafii Wahyudi[2], Alya Maysa Saqina[2], Reza Kurnia Alfiansyah[2], Miladina Rizka Aziza[1*]
[1]Department of Electrical Engineering, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Gajayana Street No. 50, +62-341 551-354
[2]Department of Informatics Engineering, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Gajayana Street No. 50, +62-341-551-354
richard.dzaki@gmail.com[1], ismailarjun93@gmail.com[1], sheiapr204@gmail.com[2], rafiiwahyudi25@gmail.com[2], maysaalyaa@gmail.com[2], arapkurnia2@gmail.com[2], miladinarizka@uin-malang.ac.id[1*]

Abstrak – *SmartWave AquaBot adalah sebuah inovasi akuarium pintar berbasis Arduino yang dirancang untuk mempermudah perawatan ikan hias secara otomatis dan efisien. Sistem ini dilengkapi dengan berbagai sensor, seperti sensor suhu DS18B20, sensor kekeruhan air, dan sensor Load Cell HX711, yang berfungsi memantau kondisi lingkungan akuarium secara otomatis dan real time. Selain itu, modul RTC digunakan untuk mengatur jadwal pemberian pakan ikan secara otomatis melalui motor servo, sedangkan hasil pemantauan ditampilkan pada layar LCD. LED dan buzzer digunakan sebagai indikator apabila terjadi kondisi ekstrem, seperti suhu air yang terlalu tinggi atau terlalu rendah. Berdasarkan hasil pengujian, seluruh komponen dapat bekerja dengan baik sesuai fungsinya dan memberikan respons yang akurat terhadap perubahan kondisi akuarium. Dengan adanya fitur pemantauan dan otomatisasi ini, SmartWave AquaBot diharapkan mampu memudahkan pengguna dalam menjaga kebersihan dan kestabilan lingkungan akuarium, sekaligus mendukung kelestarian ekosistem air di dalamnya.*

Kata kunci: *Arduino, Akuarium Pintar, Sensor, Otomatisasi, Pemantauan.*

Abstract – *SmartWave AquaBot is an Arduino-based smart aquarium innovation designed to simplify ornamental fish maintenance through automatic and efficient operation. The system was equipped with various sensors, including a DS18B20 temperature sensor, a water turbidity sensor, and HX711 Load Cell sensor, which function to automatically and continuously monitor the aquarium's environmental conditions in real time. In addition, an RTC module was utilized to schedule automatic fish feeding via a servo motor, while the monitoring results were displayed on an LCD screen. LEDs and buzzers serve as indicators to alert users of extreme conditions, such as excessively high or low water temperature. Based on testing results, all components functioned properly and responded accurately to changes in the aquarium's environment. With these automation and monitoring features, SmartWave AquaBot is expected to facilitate aquarium maintenance, maintain environmental stability, and support the sustainability of the aquatic ecosystem within it.*

Keywords*: Arduino, Smart Aquarium, Sensor, Automation, Monitoring*

1. Pendahuluan

Indonesia memiliki potensi besar dalam industri ikan hias dunia, di mana berdasarkan data Kementerian Kelautan dan Perikanan, Indonesia menempati peringkat keempat sebagai negara pengekspor ikan hias terbesar di dunia, setelah Jepang, Singapura, dan Spanyol [1]. Dengan potensi sumber daya yang melimpah, Indonesia berambisi untuk menjadi eksportir ikan hias nomor satu di dunia, menyalip Jepang yang saat ini masih menduduki posisi teratas. Pemerintah bermaksud menggencarkan pameran, promosi perdagangan, dan aplikasi perdagangan ikan hias untuk mendongkrak pasar dalam dan luar negeri. Selain sebagai komoditas ekspor, pemeliharaan ikan hias juga banyak dilakukan pada skala rumah tangga [2-3]. Potensi tersebut menandakan besarnya minat masyarakat terhadap kegiatan pemeliharaan ikan hias, baik sebagai hobi maupun usaha ekonomi kreatif. Oleh karena itu, inovasi teknologi yang dapat meningkatkan efisiensi dan keberlangsungan pemeliharaan ikan sangat diperlukan, baik untuk pelaku industri maupun penghobi. Namun, proses perawatan ikan hias sering kali menghadapi berbagai kendala, seperti air yang cepat keruh, kadar amonia tinggi, suhu air yang tidak stabil, serta kelalaian dalam pemberian pakan [4]. Permasalahan-permasalahan tersebut dapat menyebabkan stres bahkan kematian pada ikan, sehingga diperlukan solusi yang inovatif untuk menjaga kualitas lingkungan akuarium.

Seiring berkembangnya teknologi *Internet of Things* (IoT) dan mikrokontroler, berbagai perangkat pintar mulai dimanfaatkan untuk membantu pekerjaan manusia, termasuk dalam bidang pemeliharaan akuarium [5]. Salah satu teknologi yang banyak digunakan adalah Arduino, karena sifatnya yang fleksibel, mudah diprogram, dan dapat diintegrasikan dengan berbagai sensor serta aktuator. Penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem otomastisasi akuarium menggunakan mikrokontroler atau IoT [6-9]. Namun, sebagian besar masih terbatas pada satu parameter lingkungan, seperti suhu atau pemberian pakan otomatis. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan sistem yang lebih komprehensif dengan integrasi multi sensor dan sistem peringatan *real time*. SmartWave AquaBot merupakan sistem akuarium otomatis berbasis Arduino yang dapat melakukan pemantauan suhu air, tingkat kekeruhan, intensitas cahaya, serta pemberian pakan ikan secara otomatis sesuai jadwal. Sistem ini dilengkapi dengan sensor suhu DS18B20, sensor kekeruhan air, sensor cahaya (LDR), modul RTC untuk pengaturan waktu, LCD untuk menampilkan informasi, serta servo sebagai aktuator pemberi pakan.

Kebaruan dari penelitian ini terletak pada penerapan sistem kontrol otomatis yang mengintegrasikan beberapa sensor untuk menghasilkan pemantauan lingkungan akuarium secara *real time*, disertai dengan fitur peringatan melalui LED dan buzzer. Dengan adanya sistem ini, pengguna dapat lebih mudah dalam merawat akuarium tanpa harus melakukan pemantauan secara terus-menerus. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk merancang dan mengimplementasikan prototipe SmartWave AquaBot sebagai sistem otomatisasi yang efisien dan ramah pengguna, sekaligus mendukung terciptanya ekosistem akuarium yang sehat dan berkelanjutan.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan mulai dari perancangan sistem, implementasi, hingga pengujian, seperti yang terlihat pada Gambar 1. Tahap perancangan dilakukan untuk menyusun rancangan perangkat keras dan perangkat lunak. Selanjutnya, tahap implementasi mencakup perakitan komponen dan pemrograman mikrokontroler Arduino Uni sesuai hasil rancangan. Terakhir, tahap pengujian dilakukan untuk memastikan seluruh komponen berfungsi dengan baik. Setiap tahap dirancang agar sistem SmartWave AquaBot dapat bekerja secara otomatis dalam memantau dan mengontrol kondisi akuarium.

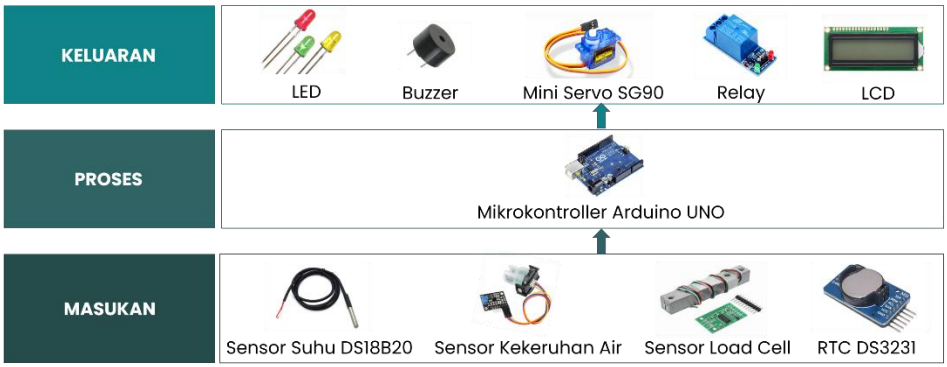


Gambar 1. Diagram alur tahapan penelitian.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

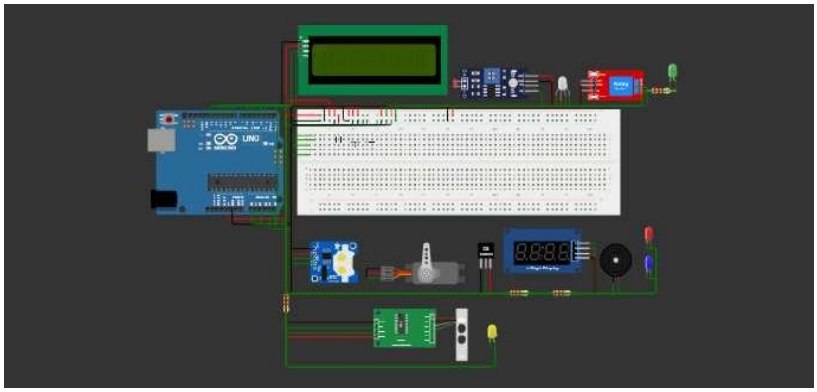
2.1. Perancangan Sistem

Secara umum, sistem SmartWave AquaBot dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu masukan, proses, dan keluaran, seperti yang terlihat pada Gambar 2. Bagian masukan terdiri dari sensor suhu DS18B20, sensor kekeruhan air, sensor *load cell*, serta modul RTC DS3231, yang berfungi untuk mendeteksi dan mengirimkan data kondisi lingkungan akuarium ke mikrokontroler. Bagian proses dijalankan oleh Arduino Uno yang berfungsi untuk mengolah data dari berbagai sensor serta menentukan respon yang sesuai terhadap kondisi yang terdeteksi, seperti suhu, kekeruhan air, dan waktu pemberian pakan. Bagian keluaran meliputi LED dan buzzer sebagai penanda kondisi ekstrem, motor servo berfungsi untuk mengoperasikan mekanisme pemberian pakan ikan secara otomatis, relay berfungsi untuk menyalakan filtrasi ketika air keruh, serta LCD 16x2 untuk menampilkan data hasil pemantauan.



Gambar 2. Blok diagram sistem Smartwave AquaBot.

Tahap awal penelitian dimulai dari perancangan sistem menggunakan platform simulasi Wokwi, seperti yang terlihat pada Gambar 3. Pada simulasi ini, sensor LDR digunakan sebagai pengganti sensor kekeruhan air dan LED hijau sebagai pengganti pompa filtrasi dikarenakan keterbatasan komponen pada Wokwi. Simulasi ini berguna untuk memastikan seluruh rangkaian berjalan dengan baik sebelum dilakukan perakitan secara fisik, sehingga dapat meminimalkan risiko kesalahan instalasi dan kerusakan komponen.[6] Pada tahap ini, Arduino Uno dijadikan pusat kendali utama yang terhubung dengan beberapa sensor dan aktuator.



Gambar 3. Blok diagram sistem Smartwave AquaBot.

Melalui sistem otomatis ini, proses pemantauan dan perawatan akuarium menjadi lebih efisien karena pengguna tidak perlu melakukan pengecekan secara manual setiap saat. Sistem juga mampu bekerja secara *real time* sehingga dapat menghemat waktu dan meminimalkan risiko keterlambatan dalam pemberian pakan maupun penanganan perubahan kondisi air [10].

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

2.2. Implementasi

Tahapan implementasi dilakukan secara sistematis dengan rancangan skematik yang telah dibuat sebelumnya. LCD dihubungkan melalui jalur komunikasi SDA (A4) dan SCL (A5), sedangkan sensor suhu dihubungkan ke pin digital. Motor servo dipasang pada pin PWM, sementara sensor *load cell* diintegrasikan dengan amplifier HX711 yang kemudian dihubungkan ke pin analog A1 (DT) dan A2 (SCK). Untuk indikator visual, LED RGB dihubungkan ke pin digital 7, 4, dan 2, sedangkan LED merah, biru, kuning, masing-masing dihubungkan ke pin 13, 12, dan 11. Relay terhubung pada pin 10 untuk menyalakan filtrasi air ketika air keruh dan buzzer dihubungkan ke pin 8 sebagai penanda kondisi sistem melalui peringatan audio.

Tahap kedua adalah pemrograman sistem menggunakan beberapa pustaka pendukung seperti Arduino.h Wire.h, LiquidCrystal_I2C.h, RTClib.h, Servo.h, TM1637Display.h, OneWire.h, DallasTemperature.h, HX711. Program ini memastikan semua komponen bisa berkomunikasi dan bekerja sesuai logika yang diinginkan.

2.3. Pengujian Sistem

Tahap terakhir yaitu pengujian, pengujian dilakukan untuk memeriksa keakuratan setiap sensor dan respon aktuator. Sensor suhu diuji dengan memberikan perubahan suhu pada air dan melihat apakah nilai yang muncul di LCD ikut berubah. Sensor kekeruhan diuji menggunakan air dengan tingkat kejernihan yang berbeda untuk memastikan LED indikator menyala sesuai kondisi air dan relay bekerja saat kondisi air keruh, sedangkan sensor *load cell* diuji dengan memberikan beban yang berbeda untuk mendeteksi kondisi pakan ikan.



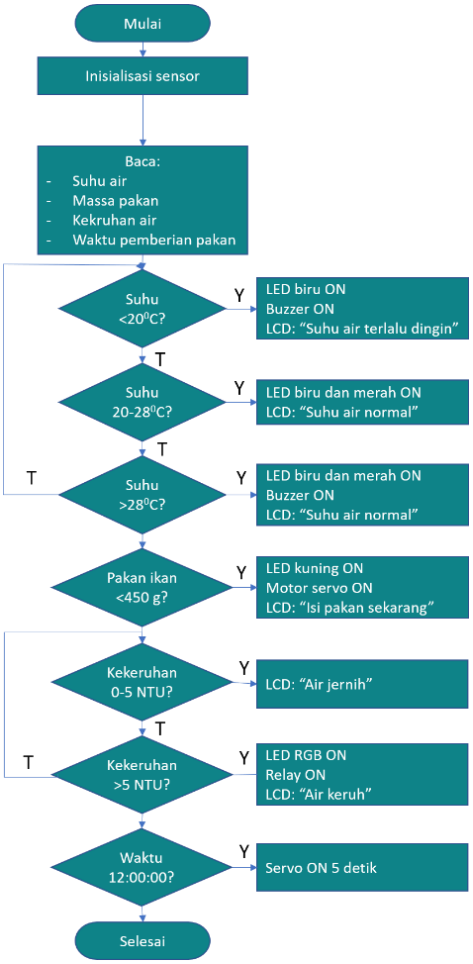
Gambar 4. Proses pengujian sistem.

Selain itu, motor servo diuji pada waktu tertentu, yaitu pukul 06.00, 12.00, dan 18.00, untuk memastikan pakan ikan keluar secara otomatis sesuai jadwal dari modul RTC. LED dan buzzer juga diuji untuk memastikan alarm aktif saat suhu air berada di luar batas normal. LED merah dan buzzer menyala saat suhu > 28°C, dan LED biru menyala saat suhu < 20°C, seperti yang terlihat pada Gambar 5. Dari hasil pengujian, sistem dapat bekerja secara konsisten dan memberikan respon sesuai dengan kondisi yang diinginkan. Parameter dan kondisi ideal pengujian sistem tertera pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter dan kondisi ideal lingkungan akuarium.

No.	Parameter	Kondisi Ideal
1.	Suhu air	20-28°C
2.	Massa pakan ikan	450-500 gram
3.	Tingkat kekeruhan air	0-5 NTU
4.	Waktu pemberian pakan	06:00:00, 12:00:00, 18:00:00

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 5. Flowchart sistem.

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini menghasilkan sebuah sistem akuarium otomatis berbasis Arduino yang mampu memantau dan mengendalikan kondisi air secara *real time*. Hasil perancangan, pengujian sistem dan analisis kerja SmartWave AquaBot disajikan berdasarkan data yang diperoleh selama proses uji coba sistem.

3.1. Hasil Perancangan dan Implementasi

Sistem SmartWave AquaBot berhasil dirancang dan diimplementasikan menggunakan mikrokontroler Arduino Uno sebagai pusat kendali utama. Semua komponen seperti sensor suhu DS18B20, sensor kekeruhan air, sensor *load cell*, modul RTC DS3231, LCD 16x2, LED indikator, buzzer, serta motor servo SG90 telah dirangkai sesuai dengan rancangan yang dibuat pada tahap simulasi di Wokwi. Hasil perakitan menunjukkan bahwa seluruh koneksi antar-komponen dapat berfungsi dengan baik setelah dilakukan pengujian awal menggunakan catu daya eksternal. Data dari sensor dapat terbaca dengan stabil dan tampil secara *real time* pada layar LCD, sementara LED dan buzzer berfungsi sebagai indikator kondisi lingkungan akuarium.

Dari sisi perangkat lunak, program berhasil dikompilasi dan diunggah ke Arduino tanpa adanya kesalahan. Sistem mampu menjalankan fungsi utamanya yaitu membaca data suhu, tingkat kekeruhan, dan intensitas cahaya; kemudian menampilkan hasilnya pada LCD serta mengontrol perangkat output sesuai kondisi yang terdeteksi. Misalnya, servo bergerak secara

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

otomatis pada waktu yang dijadwalkan untuk memberikan pakan, LED merah dan buzzer menyala ketika suhu air melebihi batas normal, dan relay aktif untuk mengendalikan sirkulasi air ketika tingkat kekeruhan meningkat.

3.2. Hasil Pengujian

Setelah sistem terpasang dan diprogram, dilakukan serangkaian uji coba untuk memastikan setiap komponen bekerja sesuai rancangan. Pengujian dilakukan dengan mengamati respons dari sensor dan aktuator dalam berbagai kondisi, seperti yang terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian sistem.

No.	Parameter	Hasil	Output				
			LED	Buzzer	Servo	Relay	LCD
1.	Suhu air	30°C	Merah	☑	-	-	Suhu air terlalu tinggi
		5°C	Biru	☑	-	-	Suhu air terlalu rendah
		25°C	Merah dan Biru	-	-	-	Suhu air normal
2.	Massa pakan ikan	400 gram	Kuning	☑	-	-	Isi pakan sekarang
3.	Kekeruhan air	2 NTU	-	-	-	-	Air jernih
		10 NTU	RGB	-	-	☑	Air keruh
4.	Waktu pemberian pakan	06:00:00	-	-	☑	-	-
		12:00:00		-	☑	-	-
		18:00:00		-	☑	-	-

Dari hasil pengujian di atas, seluruh sensor dan aktuator menunjukkan respon yang sesuai dengan logika program. LCD menampilkan nilai suhu, massa pakan, kekeruhan, dan waktu secara *real time*. Sistem juga mampu menyesuaikan kondisi indikator LED serta menggerakkan servo tepat pada waktu yang ditentukan.

3.3. Pembahasan

Berdasarkan hasil uji coba, dapat disimpulkan bahwa sistem SmartWave AquaBot bekerja dengan baik dalam menjalankan fungsi monitoring dan otomatisasi pada akuarium. Sensor suhu DS18B20 mampu membaca suhu air dengan akurat dan cepat merespons perubahan temperatur. Sensor *load cell* berfungsi secara optimal sebagai indikator kondisi pakan ikan. Sementara itu, sensor kekeruhan air berhasil mendeteksi perubahan kejernihan air yang berpengaruh pada kinerja relay untuk mengaktifkan sirkulasi atau filter air.

Penerapan modul RTC DS3231 memungkinkan sistem melakukan pemberian pakan secara terjadwal tanpa campur tangan pengguna. Integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak juga menunjukkan komunikasi antar-komponen berjalan lancar, ditandai dengan tidak adanya keterlambatan pada pembacaan data maupun eksekusi perintah.

Dengan demikian, SmartWave AquaBot dapat menjadi solusi sederhana namun efektif untuk membantu penghobi ikan hias dalam menjaga stabilitas lingkungan akuarium. Sistem ini mampu meminimalkan risiko kelalaian dalam perawatan dan mendukung terciptanya ekosistem air yang sehat dan berkelanjutan.

4. Kesimpulan

Penelitian ini telah berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem *SmartWave AquaBot*, yaitu akuarium pintar berbasis Arduino yang mampu melakukan pemantauan dan pengendalian kondisi air secara otomatis. Sistem ini mengintegrasikan beberapa sensor, seperti

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

sensor suhu DS18B20, sensor kekeruhan air, sensor *load cell*, serta modul RTC DS3231 yang berperan dalam mengatur jadwal pemberian pakan ikan secara mandiri.

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, sistem mampu menampilkan data suhu, tingkat kekeruhan, dan waktu secara *real time* melalui tampilan LCD. Indikator LED dan buzzer juga berfungsi dengan baik untuk memberi peringatan pada kondisi ekstrem, seperti suhu air yang terlalu tinggi atau rendah. Selain itu, motor servo dapat bergerak secara otomatis sesuai jadwal untuk melakukan pemberian pakan ikan.

Secara keseluruhan, SmartWave AquaBot terbukti dapat bekerja dengan baik dan efektif dalam membantu pengguna menjaga kestabilan lingkungan akuarium. Sistem ini mampu meningkatkan efisiensi dan kenyamanan dalam perawatan ikan hias serta mendukung terciptanya ekosistem air yang sehat. Sebagai tindak lanjut, pengembangan sistem dapat diarahkan menuju integrasi berbasis *Internet of Things* (IoT), sehingga pengguna dapat memantau dan mengontrol kondisi akuarium melalui perangkat smartphone secara jarak jauh.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Program Studi Teknik Informatika dan Teknik Elektro, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah memberikan fasilitas laboratorium dan dukungan selama proses penelitian berlangsung. Penghargaan juga diberikan kepada dosen pembimbing dan rekan-rekan mahasiswa yang turut membantu dalam tahap perancangan, implementasi, dan pengujian sistem.

Referensi

[1] "Badan Pengendalian dan Pengawasan Mutu Hasil Kelautan dan Perikanan | KKP | Kementerian Kelautan dan Perikanan," *Kkp.go.id*, 2023. https://www.kkp.go.id/bkipm/4-cara-mengatasi-ikan-akuarium-yang-stres65c31e5a19793/detail.html (accessed Oct. 23, 2025).

[2] "ORNAMENTAL FISH PRODUCTION MANAGEMENT AT MAHKOTA BETTA FISH, LINGSAR, WEST LOMBOK", jfh, vol. 3, no. 1, pp. 33–43, Jun. 2023, Accessed: Oct. 24, 2025. [Online]. Available: https://journal.unram.ac.id/index.php/jfh/article/view/5505

[3] S. Ashar and M. Yasminto, "Integrated Marketing Optimization for Ornamental Fish Using Information Technology in Canggu Village, Kediri", engagement, vol. 9, no. 1, pp. 107-125, Mar. 2025.

[4] S. Andriyono, G. R. A. Kartika, A. F. . Syarif, and M. J. Alam, "Management Challenges of Marine Ornamental Fish and Their Utilization as The Sustainable Potential Marine Resources", Journal. Aquaculture. Science., vol. 9, no. 2, pp. 55–62, Oct. 2024.

[5] D. Febriyanto and Bambang Hari Purwoto, "Rancang Bangun Sistem Pengkondisian Air Aquarium dan Pemberi Pakan Ikan Otomatis Berbasis Arduino," *Action Research Literate*, vol. 7, no. 10, pp. 68–77, Oct. 2023, doi: https://doi.org/10.46799/arl.v7i10.184.

[6] Widodo and S. Rudi, "Temperature Control System on Aquascape using On-Off Control", BEST : Journal of Applied Electrical, Science, & Technology, vol. 3, pp. 34-38, 2021, Accessed: Oct. 24, 2025. [Online]. Available: https://jurnal.unipasby.ac.id/index.php/best/article/view/3541

[7] R. Kurniawan, F. T. Syifa, dan M. L. Leksono, "Analisis dan Perancangan Aquascape menggunakan Protokol MQTT untuk Media Pengiriman Data Suhu dan pH," *J. Telecommun., Electron. Control Eng.*, vol. 4, no. 1, pp. 1-14, Jan. 2022, doi:

10.20895/jtece.v4i1.344.

[8] D. R. Praweda, D. Dwiyanto, and R. K. Pujiana, "Sistem Buka Tutup Saluran Air Otomatis Berbasis Arduino Uno CH340," *GO INFOTECH: Jurnal Ilmiah STMIK AUB*, vol. 26, no. 2, pp. 201–209, Dec. 2020, doi: 10.36309/goi.v26i2.137.

[9] A. Saputra and M. R. Ehma, "Alat Monitoring dan Pemberian Pakan Ikan Otomatis berbasis Arduino Uno R3," *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Sains dan Teknologi (SNISTEK)*, vol. 4, pp. 37–42, Jan. 2022.

[10] S. Suhaeb, A. Risal, and Wahyudi, "Pemanfaatan Wokwi Simulation untuk Pengujian Mikrokontroler Light Emitting Diode (LED) yang Efisien dan Akurat," *Micronic: Journal of Multidisciplinary Electrical and Electronics Engineering*, pp. 1–8, Jun. 2024, doi: https://doi.org/10.61220/micronic.v2i1.240.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

ID: 11

Purwarupa EMG Untuk Kuantisasi Aktivitas Otot *Quadriceps*

EMG-Based Prototype For Quantification Of Quadriceps Muscle Activation

Indriani Rosdianti[1], Dodi Zulherman[2], Mas Aly Afandi[3]
[1, 2] Program Studi S1 Teknik Biomedis Kampus Banyumas, Universitas Telkom
[3] Program Studi S1 Teknik Telekomunikasi Kampus Banyumas, Universitas Telkom
Jl. D.I. Panjaitan No.128, Purwokerto, Jawa Tengah
(0281) 641629
indrianirosdianti@student.telkomuniversity.ac.id [1], zulherman@telkomuniversity.ac.id [2],
alyafandi@telkomuniversity.ac.id [3]

Abstrak – *Kelelahan otot quadriceps merupakan salah satu faktor yang dapat menurunkan performa gerak dan meningkatkan risiko cedera. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji alat ukur aktivitas otot quadriceps berbasis sinyal elektromiografi untuk membedakan kondisi kontraksi dan relaksasi otot. Sistem yang dikembangkan menggunakan sensor elektromiografi permukaan yang terhubung dengan mikrokontroler ESP32 dan diprogram melalui Arduino IDE. Data sinyal direkam dan diolah menggunakan metode root mean square untuk memperoleh nilai amplitudo yang merepresentasikan aktivitas otot. Pengujian telah dilakukan pada satu subjek perempuan berusia 22 tahun yang tidak memiliki riwayat cedera otot atau gangguan saraf. Subjek diminta melakukan dua kondisi, yaitu berdiri diam sebagai fase relaksasi dan jongkok sebagai fase kontraksi, masing-masing direkam sebanyak 30 kali. Hasil penelitian menunjukkan bahwa amplitudo sinyal pada kondisi kontraksi berada pada kisaran 597,58–670,44 mV, sedangkan pada kondisi relaksasi berada pada kisaran 260,22–321,16 mV. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi perbedaan aktivitas otot secara jelas dan berfungsi stabil. Alat yang dirancang memiliki potensi untuk digunakan sebagai sistem pemantauan aktivitas dan kelelahan otot quadriceps secara real-time.*

Kata Kunci*: elektromiografi, quadriceps, kontraksi, relaksasi, aktivitas otot.*

Abstract – *Quadriceps muscle fatigue is one of the factors that can reduce movement performance and increase the risk of injury. This study aimed to design and test a quadriceps muscle activity measurement device based on electromyography signals to distinguish between contraction and relaxation conditions. The developed system used a surface electromyography sensor connected to an ESP32 microcontroller programmed through the Arduino IDE. The signal data were recorded and processed using the root mean square method to obtain amplitude values representing muscle activity. The testing was conducted on a 22-year-old healthy female subject with no history of muscle injury or neurological disorders. The subject performed two static conditions: standing still as the relaxation phase and squatting as the contraction phase, each recorded 30 times. The results show that the signal amplitude during contraction ranged from 597.58 to 670.44 mV, while during relaxation it ranged from 260.22 to 321.16 mV. These findings indicate that the system can clearly detect differences in muscle activity and operates stably. The designed device has potential for use as a real-time monitoring system for quadriceps muscle activity and fatigue.*

Keywords*: electromyography, quadriceps, contraction, relaxation, muscle activity*

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi di bidang rehabilitasi medik semakin pesat, terutama dalam pemanfaatan teknologi *wearable* untuk mendukung proses terapi fisik. Salah satu bidang yang mendapat perhatian luas adalah penggunaan sinyal elektromiografi (EMG) untuk memonitor aktivitas otot secara *real-time*. Kelelahan otot adalah suatu kondisi di mana kemampuan otot untuk bekerja menurun dari waktu ke waktu. Gejala ini merupakan kondisi kesehatan umum yang tidak spesifik dan dialami oleh banyak orang serta dikaitkan dengan berbagai kondisi kesehatan. Kelelahan sering terjadi setelah melakukan aktivitas berat atau olahraga. Saat mengalami kelelahan, kekuatan di balik otot gerakan berkurang, sehingga menghasilkan gejala neuromuskuler di mana otot gagal mempertahankan kekuatan yang dibutuhkan atau diharapkan [1].

Kelelahan otot paha, khususnya otot *quadriceps*, merupakan fenomena yang umum terjadi pada atlet maupun pekerja aktif dan memiliki dampak signifikan terhadap performa dan risiko cedera. Studi pada atlet sepak bola yang menjalani rekonstruksi ligamen anterior *cruciatum* (ACL) menunjukkan bahwa kelelahan otot *quadriceps* dapat mencapai sekitar 19,6% pada anggota tubuh yang mengalami cedera dan 29,0% pada anggota tubuh yang tidak cedera, yang diukur menggunakan *Biodex isokinetic dynamometer* [2]**.** Selain itu, wanita cenderung mengalami kelelahan otot *quadriceps* lebih cepat dibanding pria, terutama pada otot *rectus femoris*, yang berkontribusi pada peningkatan risiko cedera lutut [3].

Pada otot *quadriceps*, yang terdiri dari otot *rectus femoris* (RF), *vastus lateralis* (VL), dan *vastus medialis* (VM), kelelahan dapat berpengaruh pada fungsi motorik dan stabilitas sendi lutut. Oleh karena itu, penilaian yang objektif terhadap tingkat kelelahan otot menjadi sangat penting dalam proses rehabilitasi dan terapi fisik [4]. Otot *quadriceps* memainkan peran vital dalam gerakan dasar tubuh seperti berjalan, duduk, dan berdiri [5]. Kelelahan otot *quadriceps* dapat mempengaruhi pola aktivasi otot dan kinerja selama aktivitas menahan beban, yang berpotensi meningkatkan risiko cedera [6]. Salah satu modalitas terapi yang dapat membantu proses pemulihan otot adalah terapi panas melalui alat seperti *knee pad*. Terapi panas bekerja dengan cara meningkatkan aliran darah ke jaringan otot, mempercepat proses metabolisme sel, mengurangi spasme, dan meningkatkan elastisitas otot.

Kajian literatur menunjukkan bahwa sejumlah penelitian telah mengembangkan sistem pemantauan kelelahan otot berbasis elektromiografi. Franco et al. (2024) merancang sistem *biofeedback* menggunakan sensor elektromiografi dan sensor inersia untuk memantau aktivitas otot *quadriceps*, sedangkan Asmar (2020) mengembangkan knee brace dengan sensor elektromiografi untuk mendeteksi kelelahan vastus lateralis secara *real-time*. Kim et al. (2018) mengusulkan metode evaluasi kelelahan otot berdasarkan *zero-crossing rate* dan *amplitude of muscle tension*, sedangkan Yuliansyah (2017) mengombinasikan sinyal elektromiografi dengan sensor gaya pada gerakan lutut. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih terbatas pada pemantauan sinyal tanpa integrasi langsung dengan modalitas terapi. Dengan demikian, terdapat peluang untuk mengembangkan perangkat *wearable* yang tidak hanya memantau kelelahan otot, tetapi juga mendukung intervensi terapi.

Kebaruan dari penelitian ini terletak pada integrasi sistem pemantauan kelelahan otot berbasis elektromiografi dengan *knee pad* berfitur terapi panas. Alat ini dirancang untuk memberikan data objektif terkait kondisi otot *quadriceps*, sekaligus menawarkan intervensi sederhana berupa terapi panas yang diketahui dapat meningkatkan sirkulasi darah, mengurangi spasme, dan mempercepat pemulihan otot. Dengan pendekatan ini, perangkat yang dikembangkan berpotensi mendukung proses rehabilitasi secara lebih efektif, efisien, dan praktis dibandingkan penelitian sebelumnya.

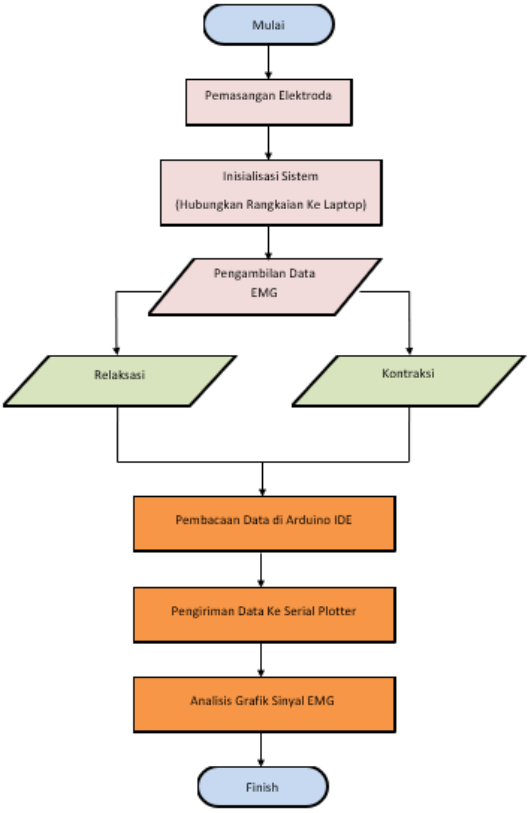
Rumusan masalah yang menjadi dasar penelitian ini adalah bagaimana merancang alat ukur kelelahan otot *quadriceps* berbasis elektromiografi yang mampu memberikan hasil pengukuran

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

secara *real-time*, serta bagaimana mengintegrasikan *knee pad* berfitur terapi panas sebagai umpan balik dalam proses rehabilitasi. Tujuan penelitian adalah merancang dan mengembangkan prototipe *knee pad* berbasis elektromiografi untuk memantau kelelahan otot *quadriceps* serta menguji fungsionalitas sistem dalam mendukung terapi fisik. Dengan adanya sistem ini, pasien maupun tenaga medis diharapkan dapat memantau kondisi otot secara lebih akurat, sehingga intensitas terapi maupun latihan dapat disesuaikan dengan kebutuhan individu.

2. Metode Penelitian

Proses pengujian dimulai dengan pemasangan elektroda pada otot *Rectus Femoris* dan dilanjutkan dengan inisialisasi sistem dengan menghubungkan rangkaian sensor EMG ke mikrokontroler serta laptop. Setelah sistem siap, dilakukan pengambilan data EMG pada dua kondisi, yaitu fase relaksasi saat subjek berdiri tegak dan fase kontraksi saat subjek melakukan gerakan jongkok. Data hasil perekaman dari kedua kondisi tersebut dibaca melalui *Arduino IDE*, kemudian dikirim ke Serial *Plotter* untuk ditampilkan dalam bentuk grafik sinyal EMG. Hasil grafik ini digunakan untuk menganalisis perbedaan aktivitas otot antara kondisi kontraksi dan relaksasi serta memastikan sensor mampu merekam sinyal secara akurat.



Gambar 2.1 Diagram alir Pengambilan Data EMG

Pada penelitian ini dilakukan beberapa pengujian untuk memastikan sistem dapat merekam sinyal EMG dengan baik serta membedakan kondisi kontraksi dan relaksasi otot. Pengujian dilakukan pada satu orang subjek perempuan berusia 22 tahun yang tidak memiliki riwayat cedera otot, gangguan saraf, maupun penyakit kronis. Subjek berada dalam kondisi sehat dan tidak sedang mengalami kelelahan fisik saat proses pengambilan data dilakukan.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Selama proses pengujian, subjek diminta melakukan gerakan sederhana berupa jongkok dan berdiri untuk menimbulkan fase kontraksi dan relaksasi otot *quadriceps*. Semua data sinyal EMG direkam secara berurutan sebanyak 30 kali pengambilan data.

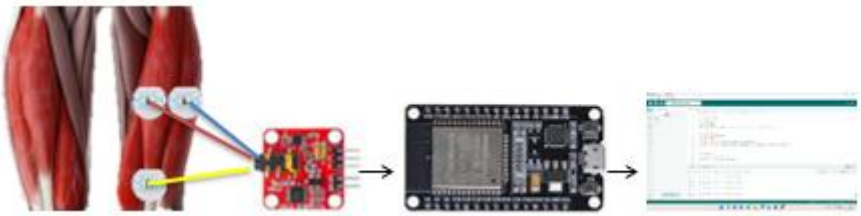
Perekaman sinyal EMG dilakukan dengan menempatkan tiga buah elektroda permukaan pada otot *Rectus Femoris* di paha depan, Dua elektroda aktif dipasang sejajar arah serat otot *Rectus Femoris*, yaitu di bagian tengah paha, dengan jarak antar elektroda sekitar 2–3 cm. Elektroda pertama diletakkan di bagian atas yang lebih dekat ke pangkal paha, sedangkan elektroda ketiga di bagian bawah yang lebih dekat ke lutut. Sementara itu, elektroda ground atau referensi ditempatkan pada tulang kering (*tibia*) di kaki yang sama karena area tersebut minim aktivitas otot sehingga dapat mengurangi gangguan noise. Sebelum pemasangan, kulit dibersihkan menggunakan alkohol untuk menurunkan impedansi, dan kabel sensor diamankan agar tidak bergeser selama proses pengambilan data.

Prosedur pengambilan data dilakukan dengan meminta subjek berdiri tegak dalam posisi diam untuk merekam sinyal EMG pada kondisi relaksasi, kemudian melakukan posisi jongkok dengan sudut lutut sekitar 90° dan menahannya selama beberapa detik untuk merekam kondisi kontraksi. Pada setiap posisi, sinyal dicatat secara kontinu hingga diperoleh total 30 data pengukuran. Selama proses berlangsung, subjek diminta tidak melakukan gerakan lain agar hasil sinyal stabil, dan seluruh data direkam menggunakan *Arduino IDE* pada bagian serial monitor dan serial plotter.

2.1. Perancangan Hardware

Pada diagram blok perancangan hardware pada alat ukur kelelahan otot *quadriceps* menggunakan *knee pad* berbasis EMG terdiri dari tiga bagian utama, yaitu input, proses, dan output. Pada bagian input, digunakan sensor EMG dan elektroda permukaan untuk mendeteksi aktivitas listrik otot *quadriceps*. Elektroda ini ditempelkan pada kulit di atas otot dan berfungsi sebagai penghubung antara sinyal bioelektrik tubuh dengan sensor EMG. Sinyal yang ditangkap kemudian diteruskan ke bagian proses, yaitu mikrokontroler ESP32. Mikrokontroler ini bertugas mengolah sinyal analog yang diterima dari sensor EMG melalui pin ADC (*Analog to Digital Converter*) agar dapat dianalisis lebih lanjut.

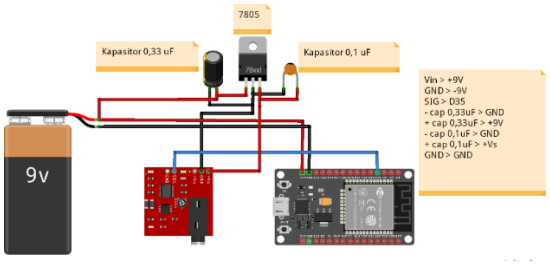
Agar sistem dapat bekerja secara portabel, ESP32 mendapat pasokan daya dari baterai. Setelah sinyal diproses oleh ESP32, data hasil konversi akan dikirimkan ke komputer melalui koneksi serial. Pada tahap **output**, sinyal elektromiografi yang telah dikonversi ditampilkan dalam bentuk grafik atau data numerik di komputer. Tampilan ini memungkinkan pengguna untuk memantau aktivitas otot *quadriceps* secara *real-time* dan melakukan analisis kelelahan otot berdasarkan perubahan pola sinyal. Dengan demikian, keseluruhan sistem ini mampu merekam, memproses, dan menampilkan sinyal EMG secara efisien dalam mendukung evaluasi terapi otot *quadriceps*.



Gambar 2.2 Diagram Blok Perancangan *Hardware*

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

2.2. Desain Sistem



Gambar 2.3 Desain Sistem

Tabel 2.1 Sambungan Pin Antar Rangkaian

No	Input	Output
1.	Vin	+9V
2.	GND	-9V
3.	SIG	D35
4.	-Kapasitor 0,33 µF	GND
5.	+ Kapasitor 0,33 µF	+9V
6.	-Kapasitor 0,1 µF	GND
7.	+ Kapasitor 0,1 µF	+Vs
8.	GND	GND

Rangkaian pada gambar 3.1 menunjukkan koneksi antara sensor EMG dengan mikrokontroler ESP32 yang didukung oleh catu daya eksternal 9V. Tegangan 9V dari baterai disalurkan ke regulator dan rangkaian *charge pump* untuk menghasilkan tegangan bipolar, yaitu +9V dan -9V, yang diperlukan oleh sensor EMG agar dapat berfungsi secara optimal.

Output +9V dihubungkan ke pin +Vs dan -9V ke pin -Vs pada sensor EMG, sedangkan pin GND disambungkan ke *ground* sebagai referensi tegangan sistem. Beberapa kapasitor digunakan untuk mendukung kerja rangkaian *charge pump* dan sebagai filter, yaitu kapasitor 0,33 µF dan 0,1 µF, yang masing-masing terhubung ke jalur tegangan dan *ground* untuk menstabilkan output daya. Sinyal keluaran dari sensor EMG (pin SIG) disambungkan ke pin D35 pada ESP32 agar data dapat dibaca dan diproses secara digital. Penyatuan jalur GND antar semua komponen memastikan sistem memiliki referensi tegangan yang sama, menjaga kestabilan sinyal, dan mencegah terjadinya gangguan pembacaan. Rangkaian ini dirancang agar sensor EMG dapat bekerja dengan baik dan sinyal hasil pembacaan dapat langsung diolah oleh ESP32.

.

3. Hasil dan Pembahasan

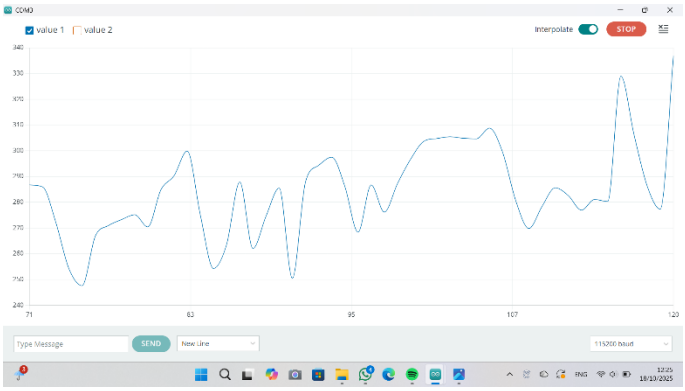
3.1. Hasil Pengujian

Tabel 3.1 Hasil Pengukuran EMG Pada Otot *Quadriceps*

Pengujian	Relaksasi (mV)	Kontraksi (mV)
1.	285.77	597.58
2.	283.70	625.15

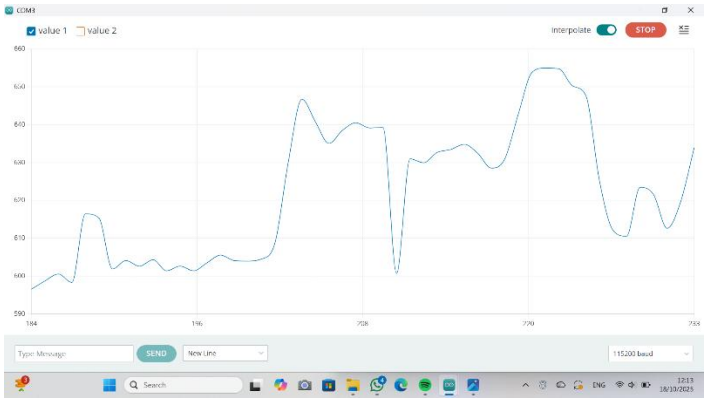
ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Pengujian	Relaksasi (mV)	Kontraksi (mV)
3.	282.89	640.24
4.	281.31	657.20
5.	277.84	657.52
6.	276.93	644.42
7.	278.22	649.91
8.	277.70	643.00
9.	277.37	645.00
10.	278.31	648.22
11.	276.61	653.10
12.	273.57	650.27
13.	272.18	649.50
14.	271.52	655.05
15.	264.64	644.34
16.	257.69	647.36
17.	264.64	637.90
18.	280.08	639.79
19.	260.22	607.24
20.	280.15	604.44
21.	275.73	602.86
22.	303.29	648.22
23.	312.11	651.47
24.	316.45	653.70
25.	317.84	641.59
26.	320.11	644.88
27.	321.16	641.61
28.	330.16	648.54
29.	312.78	643.23
30.	315.04	645.60

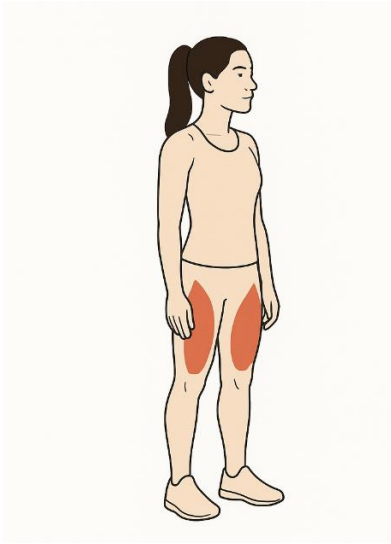


Gambar 3.1 Grafik Otot Relaksasi

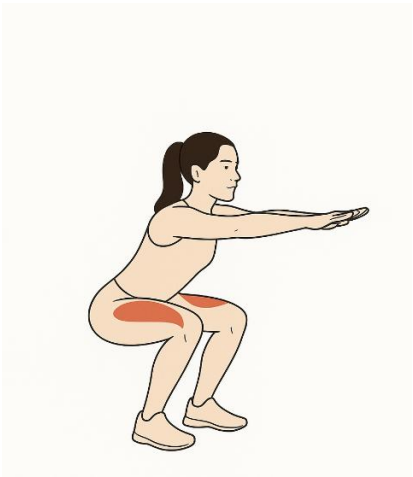
ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 3.2 Grafik Otot Kontraksi



Gambar 3.3 Otot Relaksasi



Gambar 3.4 Otot Kontraksi

3.1. Pembahasan

Hasil pengujian sebanyak 30 kali menunjukkan bahwa nilai sinyal EMG pada kondisi relaksasi berada pada kisaran 260.22–321.16 mV, sedangkan pada kontraksi mencapai 597.58–

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

670.44 mV. Amplitudo sinyal yang jauh lebih tinggi pada fase kontraksi menunjukkan adanya peningkatan aktivitas listrik otot akibat lebih banyaknya unit motorik yang aktif untuk menahan beban tubuh saat jongkok.

Nilai relaksasi yang tidak mendekati nol menandakan adanya aktivitas tonus otot yang tetap berlangsung untuk menjaga kestabilan postur. Sementara fluktuasi kecil pada nilai kontraksi (±40 mV) mengindikasikan munculnya kelelahan otot ringan akibat kontraksi berulang.

Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa alat EMG mampu merekam dan membedakan aktivitas otot pada kondisi kontraksi dan relaksasi dengan jelas, serta memiliki potensi untuk digunakan dalam pemantauan tingkat kelelahan otot secara *real-time*.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan menguji alat ukur aktivitas otot *quadriceps* berbasis sinyal elektromiografi (EMG) yang mampu membedakan kondisi kontraksi dan relaksasi secara akurat. Hasil pengujian pada subjek perempuan menunjukkan perbedaan amplitudo sinyal yang signifikan antara fase kontraksi dan relaksasi, menandakan sistem bekerja stabil dan mampu merekam aktivitas listrik otot dengan baik. Alat ini berpotensi digunakan untuk pemantauan aktivitas atau kelelahan otot secara *real-time*, dengan prospek pengembangan melalui penambahan jumlah subjek uji serta integrasi teknologi IoT agar pemantauan dapat dilakukan secara jarak jauh dan lebih praktis.

Referensi

[1] E. R. W. Aldia Agri Nugraha, "Sistem Pendeteksi Kelelahan Otot pada Biceps Brachii Menggunakan Fitur Root Mean Square dan Klasifikasi Random Forest," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer,* vol. 8, p. 3, Juli 2017.

[2] R. M. E. a. J. Duchateau, "Muscle fatigue: what, why and how it influences muscle function," *J. Physiol,* vol. 586, pp. 11-23, 2008.

[3] T. E. H. e. al, "Biomechanical Measures of Neuromuscular Control and Valgus Loading of the Knee Predict Anterior Cruciate Ligament Injury Risk in Female Athletes: A Prospective Study," *Am. J. Sports Med,* vol. 33, pp. 493-501, 2005.

[4] A. A. M. N. R. Kurnia Putri Utami, "Efek Contrast Bath Dibandingkan Ice Bath Pada Pemulihan Kekuatan Otot Pemain Futsal," *Physiotheraphy & Health Science,* pp. 13-23, September 2020.

[5] A. H. Putri, "Penatalaksanaan Fisioterapi Pada Pasca Rekontruksi Anterior Cruciate Ligament (Acl)Dextra Dengan Transcutaneous Setting Electrical Nerve Stimulation (Tens), Cryotherapy Dan Terapi Latihan," *Karya Tulis Ilmiah,* Mei 2022.

[6] M. S. A. Q. Y. A. I. a. S. W. A. Rochmania, "Hubungan Usia, Masa Kerja dan Kelelahan Kerja dengan Keluhan Gangguan Otot Rangka Akibat Kerja (GOTRAK) pada Pekerja PT. X," *Jurnal Sulolipu,* vol. 24, pp. 173-183, 2024.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

ID: 12

Sistem Siaga Karhutla Berbasis IoT dan Energi Terbarukan Terintegrasi LoRa

IoT-Based Wildfire Early Warning System Integrated with LoRa and Renewable Energy

Dhavi Novrizal[1], Radja Reno Simamora[2], Yuri Rahmanto[3]
[1,2,3] Teknik Komputer, Fakultas Teknik Dan Ilmu Komputer, Universitas Teknokrat Indonesia
Jl. ZA. Pagar Alam No.9 -11, Labuhan Ratu, Kec. Kedaton, Kota Bandar Lampung, Lampung 35132
[1]dhavi_novrizal@teknokrat.ac.id, [2]radja_reno_simamora@teknokrat.ac.id,
[3]yurirahmanto@teknokrat.ac.id

Abstrak – *Kebakaran hutan dan lahan (Karhutla) menjadi ancaman tahunan di Indonesia dengan dampak besar terhadap lingkungan dan manusia. Contohnya pada tahun 2023, hilangnya keanekaragaman hayati ±1.958,71 ha lahan terbakar di Bangka Belitung, pencemaran udara akibat kabut asap PM2.5 [1], serta dampak pada manusia berupa gangguan pernapasan/ISPA yang tercatat lebih dari 200 ribu warga terkena infeksi saluran pernapasan akibat kabut asap [2], kerugian ekonomi sebesar Rp 150 miliar di Bangka Belitung dan Sumatera [1], dan ancaman keselamatan jiwa terutama pada anak-anak dan balita. Berdasarkan masalah diatas, penulis mengusulkan sistem deteksi dini Karhutla yang dapat dioperasikan di wilayah yang jauh dari pemukiman. Sistem deteksi konvensional berbasis sensor suhu atau asap sering terlambat dan tidak menyediakan data secara real-time. sistem yang diusulkan yaitu sistem pemantauan Karhutla berbasis Artificial Intelligence of Things (AIoT) yang menggabungkan kamera, Raspberry Pi 4, Model AI YOLOv5, ESP32-S3, dan komunikasi LoRa. Kamera menangkap citra lingkungan, diproses oleh Raspberry Pi menggunakan YOLOv5 untuk mendeteksi api. Hasil deteksi dikirim ke ESP32-S3, yang kemudian meneruskan data melalui LoRa ke perangkat penerima. ESP32-S3 penerima menampilkan data ke perangkat mobile untuk pemantauan. Sensor DHT22 digunakan sebagai validasi suhu ekstrem ketika Kebakaran sudah mendekat. Sistem didukung panel surya untuk operasional mandiri di area yang jauh dari pemukiman warga. Integrasi IoT dan deep learning memungkinkan sistem memberikan peringatan dini secara cepat dan akurat, membantu mitigasi kebakaran dan mengurangi potensi kerugian ekonomi maupun jiwa.*

Kata Kunci*: kebakaran hutan, Artificial intelligence of things, LoRa, Peringatan Dini, Solar Panel.*

Abstract – *Forest and land fires (known in Indonesian as Karhutla) are an annual threat in Indonesia, causing severe impacts on the environment and human health. In 2023, biodiversity loss reached about 1,958.71 hectares of burned land in Bangka Belitung, with PM2.5 haze [1] causing air pollution and more than 200,000 respiratory infection (ARI) cases [2]. Economic losses totaled IDR 150 billion in Bangka Belitung and Sumatra [1], with serious safety risks, especially for children and infants. To address this, researchers propose an early detection system for Karhutla that operates in remote areas far from settlements. Conventional systems using temperature or smoke sensors are often slow and lack real-time data. The proposed system is an AIoT-based monitoring solution combining a camera, Raspberry Pi 4, YOLOv5 AI model, ESP32-S3, and LoRa communication. The camera captures environmental images, processed by the Raspberry Pi with YOLOv5 to detect fire. Detection results are sent to the ESP32-S3, which transmits data via LoRa to a receiver. The receiving ESP32-S3 displays information on a mobile device for monitoring. A DHT22 sensor validates extreme temperature when a fire has occurred and is approaching. Solar panels power the system for independent operation in remote areas. Integrating IoT*

and deep learning enables fast, accurate early warnings, supporting fire mitigation and reducing economic losses and risks to human lives.

***Keywords**: Forest fire, Artificial Intelligence of Things (AIoT), LoRa, Early Detection, Solar Panel.*

1. Pendahuluan

Hutan memiliki fungsi vital dalam menjaga keseimbangan kehidupan makhluk hidup. Namun, kebakaran hutan (Karhutla) kini menjadi isu yang serius karena dapat mengganggu hubungan timbal balik dan kelangsungan ekosistem. Permasalahan ini sudah menjadi perhatian bagi masyarakat, pemerintah maupun dunia. Fenomena ini terjadi setiap tahun yang di akibatkan oleh faktor alam dan 99% ulah dari manusia itu sendiri [4]. Data kebakaran hutan dan lahan (Karhutla) menunjukkan tren yang fluktuatif dari tahun ke tahun. Pada tahun 2020 tercatat luas Karhutla mencapai 296.942 hektare, meningkat menjadi 358.867 hektare pada 2021, lalu menurun menjadi 204.894 hektare pada 2022. Namun, terjadi lonjakan signifikan pada 2023 dengan luas kebakaran mencapai 1.161.192,90 hektare. Di tahun 2024, angka tersebut kembali menurun menjadi 376.805,05 hektare, dan hingga Juni 2025, Karhutla telah mencakup 8.594,49 hektare. Untuk mengatasi permasalahan ini, pemerintah telah melakukan berbagai upaya, baik berupa himbauan maupun sanksi hukum terhadap tindakan yang mengancam kelestarian hutan, baik dilakukan oleh individu maupun kelompok. Namun, upaya tersebut masih belum sepenuhnya efektif, karena tingkat kerusakan dan kebakaran hutan masih menunjukkan angka yang memprihatinkan, sehingga diperlukan langkah pencegahan yang lebih proaktif dan terukur.

Salah satu langkah penting tersebut adalah membangun sistem peringatan dini Karhutla yang mampu menghindarkan potensi bencana lanjutan. Sistem ini dimaksudkan supaya masyarakat dan pihak terkait mendapat informasi lebih awal terkait Karhutla [6], Banyak kasus kebakaran hutan diketahui pada saat sudah memakan lahan dalam durasi waktu yang cukup lama. Informasi mengenai terjadinya kebakaran umumnya berasal dari masyarakat di sekitar lokasi kejadian. Keterlibatan warga diperlukan untuk melaporkan kebakaran kepada petugas pemadam agar penanganan dapat segera dilakukan. Namun, pendekatan konvensional yang mengandalkan partisipasi masyarakat ini memiliki kelemahan, terutama dalam hal keterlambatan penyampaian informasi. Oleh sebab itu, dibutuhkan sistem yang mampu memberikan peringatan dini secara otomatis terkait kejadian kebakaran hutan atau lahan (Karhutla).

Jika melihat penerapan di lapangan yang sudah ada, sistem deteksi kebakaran konvensional umumnya menggunakan sensor suhu atau asap untuk mendeteksi adanya api, namun sistem ini memiliki beberapa kelemahan, seperti keterlambatan dalam mendeteksi api yang baru muncul dan ketidakmampuan memberikan informasi visual mengenai lokasi kebakaran secara langsung. Hal ini menyulitkan petugas dalam menentukan titik api secara akurat dan cepat, serta memantau perkembangan kebakaran secara real-time.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengatasi kelemahan sistem deteksi kebakaran konvensional. Penelitian tersebut merancang sistem pendeteksi kebakaran berbasis mikrokontroler dan aplikasi peta menggunakan *IoT*, yang dapat memberikan informasi lokasi kebakaran secara *real-time*[7], namun jarak deteksi nya bisa dikatakan kecil sampai 10-60 cm saja. Zidifaldi mengembangkan sistem deteksi dini menggunakan sensor api dan suhu berbasis Arduino, dengan *notifikasi* ke *smartphone* melalui aplikasi *Blynk*[8]. Selain itu, sistem berbasis *computer vision* juga mulai dikembangkan, seperti pada penelitian Widharma yang menggunakan algoritma *YOLO* untuk mendeteksi api secara *real-time* dan memberikan *notifikasi* melalui Telegram serta *buzzer*[9].

Penelitian lain oleh Pratama dan Kurniawan mengimplementasikan algoritma *deep learning* untuk deteksi kebakaran pada lingkungan industri[10], sedangkan Sari dan Yusuf mengembangkan sistem pendeteksi berbasis sensor MQ-2 dan *platform IoT*[11]. Lestari dan Wicaksono menggabungkan sensor suhu dan kamera untuk deteksi dini kebakaran[13]. Hidayat

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

dalam penelitiannya menerapkan *YOLOv4* untuk deteksi api sebagai bagian dari sistem keamanan rumah[14]. Rahman dan Dewi menggunakan *Raspberry Pi* dan kamera sebagai basis sistem deteksi otomatis[15]. Sementara itu, Santoso dan Widodo menguji kinerja sistem deteksi kebakaran berbasis *IoT* di gedung perkantoran[16].

Berdasarkan masalah dan penelitian-penelitian yang sudah dilakukan tersebut, peneliti mengusulkan pengembangan sistem pendeteksi kebakaran berbasis *IoT* dan *computer vision* yang lebih optimal dan akurat serta menggunakan panel surya sebagai sumber daya untuk implementasi di hutan. Sistem yang diusulkan akan mengintegrasikan kamera untuk mendeteksi kebakaran dengan algoritma deteksi objek berbasis *YOLO* untuk meningkatkan akurasi dan kecepatan deteksi. Ketika kamera mendeteksi adanya api atau asap, sistem akan otomatis mengirimkan *notifikasi* peringatan dini kepada operator sebagai cara awal menanggulangi karhutla. Perbedaan utama antara sistem yang diusulkan dengan sistem yang sudah ada terletak pada integrasi teknologi *IoT* dan *computer vision* yang lebih canggih, penggunaan algoritma *deep learning* untuk meningkatkan akurasi deteksi, serta penggunaan panel surya sebagai sumber daya. Dengan demikian, diharapkan sistem ini dapat memberikan *respons* yang lebih cepat dan tepat dalam penanggulangan kebakaran, sehingga risiko kerugian material dan korban jiwa dapat diminimalkan.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian ini membahas dasar konseptual dan teknis perancangan sistem deteksi kebakaran hutan dan lahan (Karhutla) berbasis kecerdasan buatan. Pembahasan mencakup definisi, penyebab, serta tren Karhutla di Indonesia, dan metode deteksi berbasis *YOLOv5* meliputi prinsip kerja, pembagian *grid*, *bounding box*, *NMS*, dan *tensor* output sebagai landasan ilmiah pengembangan sistem mitigasi bencana yang efisien dan terintegrasi.

2.1. Kebakaran Hutan dan Lahan (Karhutla)

Kebakaran hutan dan lahan (Karhutla) merupakan peristiwa terbakarnya area hutan maupun lahan yang menyebabkan kerusakan ekosistem, pencemaran udara, serta gangguan kesehatan dan sosial ekonomi. Menurut *FAO* (2007), kebakaran hutan dapat terjadi karena sebab alami maupun ulah manusia dan sering kali tidak terkendali. Di Indonesia sendiri, Karhutla seringkali terjadi secara berulang tiap tahun, terutama di wilayah yang memiliki lahan gambut serta tingkat aktivitas pembukaan lahan yang tinggi.

Penyebab Karhutla dapat dijelaskan melalui beberapa pendekatan, seperti teori segitiga api menyatakan bahwa api membutuhkan tiga elemen utama, yaitu bahan bakar, oksigen, dan panas. kondisi musim kemarau, vegetasi kering menjadi bahan bakar alami yang sangat mudah terbakar, selain itu, teori antropogenik menyebutkan bahwa faktor manusia merupakan penyebab utama Karhutla, seperti pembukaan lahan dengan metode bakar, perburuan, atau kelalaian lainnya. Sementara itu, teori iklim menunjukkan bahwa fenomena seperti *El Niño* yang memperpanjang musim kemarau turut memperburuk risiko Karhutla [19].

Berdasarkan data Sistem Pemantauan Hutan Indonesia (SiPongi), Karhutla masih menjadi ancaman serius dalam beberapa tahun terakhir. Luas area terbakar tercatat 296.942 hektare pada 2020, meningkat menjadi 358.867 hektare pada 2021, lalu menurun ke 204.894 hektare pada 2022. Tahun 2023 terjadi lonjakan signifikan hingga 1.161.192,90 hektare, sebelum kembali turun menjadi 376.805,05 hektare pada 2024. Hingga Juni 2025, tercatat 8.594,49 hektare lahan terbakar. Fluktuasi ini menunjukkan bahwa intensitas Karhutla sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca dan aktivitas manusia.

Secara umum, Karhutla di Indonesia lebih banyak disebabkan oleh aktivitas manusia, seperti pembukaan lahan dengan metode pembakaran yang dianggap cepat dan murah. Namun, saat musim kemarau panjang, api yang semula terkendali dapat dengan mudah meluas menjadi

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

bencana besar. Oleh karena itu, penanggulangan Karhutla perlu mencakup pencegahan berbasis teknologi, penegakan hukum, edukasi masyarakat, dan pemantauan iklim secara berkelanjutan.

2.2. Metode *You Only Look Once (YOLO)*

YOLO (You Only Look Once) adalah metode deteksi objek berbasis *convolutional neural network (CNN)* yang memandang deteksi objek sebagai regresi tunggal dari gambar *input* ke *bounding box* dan kelas objek. Joseph Redmon et al. (2016) memperkenalkan metode ini untuk menghasilkan deteksi cepat dan akurat dalam satu tahap pemrosesan. *YOLO* memprediksi posisi dan klasifikasi objek dalam satu langkah *forward propagation* tanpa tahap proposal seperti pada *R-CNN.*

Metode *YOLO* dapat digunakan untuk mendeteksi nyala api dengan pola visual khas, seperti warna merah-oranye, bentuk tidak beraturan, dan intensitas cahaya tinggi. Model *YOLO* dilatih untuk mengenali ciri visual nyala api dan melakukan deteksi real-time menggunakan dataset kebakaran. Pendekatan ini efektif untuk sistem pemantauan bencana berbasis kamera atau *drone* karena efisien dalam waktu inferensi, penting untuk peringatan dini dan respons cepat terhadap kebakaran hutan.

A. Pemotongan Gambar Menjadi *Grid*

Membagi gambar *input* menjadi *grid* berukuran S x S, seperti 13 x 13 atau 19 x 19, merupakan salah satu metode utama dalam arsitektur *YOLO*. Setiap sel bertanggung jawab mendeteksi objek jika pusat objek berada dalam area sel tersebut. Pembagian ini memungkinkan deteksi paralel dan mempercepat proses inferensi. Misalnya, gambar berukuran 416 x 416 piksel yang dibagi menjadi 13 x 13 *grid* menghasilkan sel berukuran 32 x 32 piksel. Setiap sel mewakili beberapa *anchor box*, yaitu template ukuran objek untuk mempermudah lokalisasi dan klasifikasi.

Pada kasus kebakaran hutan, ukuran api dapat bervariasi di berbagai area gambar. Metode *grid* ini membuat *YOLO* mampu memantau seluruh area dan mendeteksi nyala api yang tersebar, jauh, atau berkelompok tanpa mengorbankan akurasi maupun kecepatan.

B. *Brounding Box*

Beberapa prediksi *bounding box*. Masing-masing *bounding box* berisi lima parameter:

1. Koordinat pusat objek (x, y).
2. Lebar (w) dan tinggi (h) *bounding box*.
3. Nilai confidence (C), yaitu skor keyakinan bahwa terdapat objek di dalam box tersebut dan bahwa *box* tersebut akurat.

Nilai *confidence* diperoleh dari kombinasi probabilitas keberadaan objek dan nilai *Intersection over Union (IoU)* antara *box* prediksi dan *ground truth*. Secara teoritis, *bounding box* bertujuan melokalisasi objek secara tepat dalam gambar. Dalam sistem deteksi kebakaran hutan, *bounding box* menandai posisi nyala api yang terdeteksi. Akurasi prediksi ini penting untuk menentukan koordinat kebakaran, memperkirakan luas area terbakar, serta mendukung pengambilan keputusan dalam pengiriman bantuan atau *drone* pemadam.

C. *Non-Max Suppresion (NMS)*

Non-Maximum Suppression (NMS) adalah algoritma yang digunakan untuk menghilangkan prediksi *bounding box* yang berlebihan dan tumpang tindih terhadap objek yang sama. Proses ini dilakukan dengan memilih *bounding box* dengan *confidence score* tertinggi, lalu menghilangkan *box* lain yang memiliki nilai *Intersection over Union (IoU)* lebih besar dari ambang batas tertentu (misalnya 0.5) terhadap *box* terpilih.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Secara formal, IoU dihitung dengan rumus:

$$IoU = \frac{Luas\ tumpang\ tindih\ antara\ dua\ bounding\ box}{Luas\ gabungan\ bounding\ box\ tersebut}$$

Tujuan utama *NMS* adalah menghindari duplikasi deteksi, yaitu saat satu objek api terdeteksi dengan beberapa *bounding box* yang tumpang tindih. Dalam deteksi kebakaran hutan, *NMS* penting untuk menyederhanakan informasi visual dan mencegah kesalahan estimasi jumlah titik api. Tanpa *NMS*, sistem dapat melaporkan lebih banyak titik api dari yang sebenarnya, sehingga berisiko menimbulkan alarm palsu (*false positive*) yang mengganggu pengambilan keputusan operasional.

D. *Tensor Ouput YOLO*

Dalam metode *YOLO*, hasil dari proses inferensi jaringan saraf konvolusional (*CNN*) tidak langsung berupa gambar atau koordinat yang dapat dilihat secara visual, melainkan berbentuk *tensor*, yaitu struktur data multidimensi yang menyimpan semua prediksi yang dihasilkan oleh model. *Tensor output* dari *YOLO* memuat informasi penting seperti *bounding box*, *confidence score*, dan probabilitas kelas untuk setiap prediksi yang dilakukan oleh sel *grid*.

Secara umum, *tensor output YOLO* memiliki dimensi:

$$S \times S\ (\ B\ .5 + C\ ) \quad (1)$$

Keterangan:

- S × S: jumlah sel *grid* dalam gambar (contoh: 13×13)
- B: jumlah *bounding box* yang diprediksi per sel (contoh: 3)
- 5: terdiri dari 4 parameter *bounding box* (x, y, w, h) dan 1 *confidence score*
- C: jumlah kelas objek (misalnya: api, asap, manusia, pohon, dll)

Setiap baris dalam *tensor* menyimpan hasil prediksi dari satu sel *grid*. Misalnya, jika *YOLOv5* digunakan dengan 13×13 *grid*, 3 *bounding box* per sel, dan 1 kelas (Api), maka dimensi *tensor output*-nya adalah:

$$13 \times 13\ (\ 3\ .5 + 1\ ) = 13\ \times 13 \times 16 \quad (2)$$

Dalam konteks pendeteksian kebakaran hutan, *tensor* ini menyimpan semua kemungkinan lokasi api yang terdeteksi, lengkap dengan ukuran area api, posisi dalam gambar, dan tingkat keyakinan bahwa objek tersebut adalah api. *Tensor output* ini akan diproses lebih lanjut oleh fungsi *Non-Max Suppression (NMS)* untuk menyaring prediksi terbaik.

Tensor memungkinkan sistem menyimpan seluruh prediksi secara efisien sebelum divisualisasikan atau dikirim ke pengendali. Perannya penting dalam *deployment model YOLO* di sistem *IoT*, seperti kamera *drone*, ESP32, atau Raspberry Pi, karena mempermudah integrasi antara deteksi visual dan sistem aksi otomatis, seperti menyalakan alarm, mengirim koordinat, atau mengaktifkan alat pemadam.

2.3. Metode Perancangan

Metode perancangan ini mengintegrasikan kecerdasan buatan, sistem benam, dan *Internet of Things (IoT)* untuk mitigasi kebakaran hutan dan lahan (Karhutla). Cakupan metode meliputi perancangan model, pemilihan komponen, arsitektur sistem yang mendukung transmisi data *real-time*, panel surya sebagai sumber daya mandiri, sistem dirancang untuk beroperasi berkelanjutan di wilayah terpencil dan memberikan peringatan dini guna mengurangi dampak Karhutla.

2.4. Model dan Spesifikasi

Bagian ini menjelaskan model sistem yang digunakan serta spesifikasi perangkat keras dan perangkat lunak yang membentuk keseluruhan alat. Pemilihan komponen didasarkan pada

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

kebutuhan sistem dalam menjalankan proses deteksi api secara akurat dan efisien. Setiap bagian, mulai dari kamera, unit pemroses (Raspberry Pi 4), hingga modul komunikasi *LoRa* pada bagian *transmitter* (pengirim) dan *receiver* (penerima), memiliki peran penting dalam mendukung kinerja sistem secara keseluruhan.

2.4.1. Komponen Alat

Komponen alat yang digunakan dalam sistem ini ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Komponen Transmitter (Pengirim)

Nama	Spesifikasi	Jumlah	Keterangan
Mini PC (Raspberry 4)	5 V DC (USB-C)	1	Komputer kecil sebagai pemroses utama untuk menjalankan algoritma *YOLO*
ESP32-S3	3.3V	1	Mikrokontroller sebagai penyalur data antara *Mini PC* ke *LoRa*
Kamera	5V (USB bus)	1	Mengambil Video untuk proses deteksi api berbasis *computer vision*
LoRa SX1278 (Transmitter)	3.3 V	1	Modul komunikasi untuk mengirim data secara nirkabel ke *receiver*
Panel Surya	~18 V Voc, 30–50 W	1	Sumber daya berbasis energi matahari
Charge Controller	Panel Voc ~18 V+; *Output* ~14.1 V (12 V system)	1	Mengatur pengisian baterai dari panel surya agar aman dan efisien
DHT 22	3.3–5 V	1	Mengukur suhu dan kelembaban lingkungan
Baterai 18650	14.8 V nominal; 16.8 V penuh	4	Menyimpan energi listrik untuk daya sistem

Tabel 2. Komponen Transmitter (Pengirim)

Nama	Spesifikasi	Jumlah	Keterangan
ESP32-S3	3.3V	1	Mikrokontroller sebagai pengelola data yang sudah diterima oleh *receiver* dan ditampilkan ke mobile
LoRa SX1278 (*Receiver*)	3.3 V	1	Modul komunikasi untuk menerima data secara nirkabel dari *transmitter*
Adaptor 5v	Out 5V DC, In 100-240V AC	1	Mengubah Arus menjadi 5v agar cocok dengan ESP32-S3 dan *LoRa*

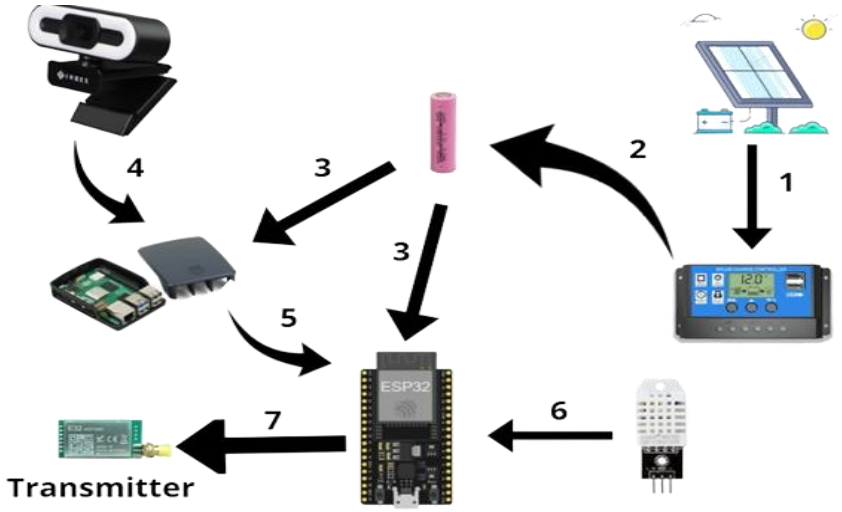
Tabel 1 dan 2 menampilkan komponen sistem deteksi dan pengiriman data berbasis IoT. Raspberry Pi 4 berfungsi sebagai pemroses data visual dari kamera, sedangkan ESP32-S3 dan *LoRa* SX1278 mengirim dan menerima data nirkabel. Kamera menangkap gambar lingkungan, sensor DHT22 mencatat suhu dan kelembaban. Panel surya, *charge controller*, dan baterai 18650 menjadi sumber daya mandiri, sementara adaptor menyalakan perangkat di sisi penerima.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

2.4.2. Skematik Alat

Untuk memastikan koneksi kelistrikan antar perangkat berjalan aman dan stabil, dibuat wiring diagram yang menunjukkan hubungan fisik antara kamera, Raspberry Pi 4, ESP32-S3, dan *LoRa*. Fokus utama ada pada kestabilan daya serta pengaturan jalur *input/output* agar sistem beroperasi optimal. Rangkaian *wiring* lengkap untuk *Transmitter* dan *Receiver* ditampilkan pada gambar berikut.

2.4.2.1. Skematik Sistem Benam



Gambar 1. Skematik Sistem Benam Bagian Transmitter

Pada Gambar 1, menjelaskan alur dari skematik sistem benam bagian transmitter (Pengirim) yaitu:

1. Panel surya menghasilkan listrik dari cahaya matahari. Otomatisasi dan Keberlanjutan Energi dengan Memanfaatkan Energi Surya.
2. Listrik dari panel dialirkan ke *solar charge controller* untuk di manajemen.
3. Daya dari solar controller disimpan ke baterai dan menyuplai kamera, Raspberry Pi & ESP32-S3.
4. Kamera merekam dan mengirim data visual ke Raspberry Pi.
5. Raspberry Pi memproses gambar menggunakan *YOLO* dan mengirim ke ESP32-S3.
6. Sensor suhu & kelembaban mengirimkan data langsung ke ESP32.
7. ESP32-S3 mengirim semua data ke *LoRa Transmitter* untuk dikirim ke *Receiver*.



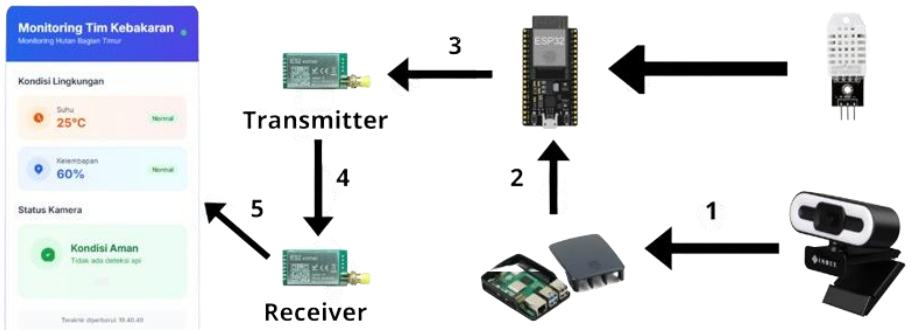
Gambar 2. Skematik Sistem Benam bagian *Receiver*

Pada Gambar 2, menjelaskan alur dari skematik sistem benam bagian *Receiver* (Penerima) yaitu:

1. Sumber Aliran listrik AC 220 V menjadi sumber daya untuk alat *receiver* (penerima).
2. Adaptor 5V mengubah Sumber listrik AC 220 V menjadi 5V.
3. ESP32-S3 menerima Sumber daya, *LoRa Receiver* Ikut menerima sumber daya dan menerima data dari *Transmitter* dan ESP32-S3 mengelola data tersebut.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

2.4.2.2. Skematik Sistem *Internet of Things* (IoT)

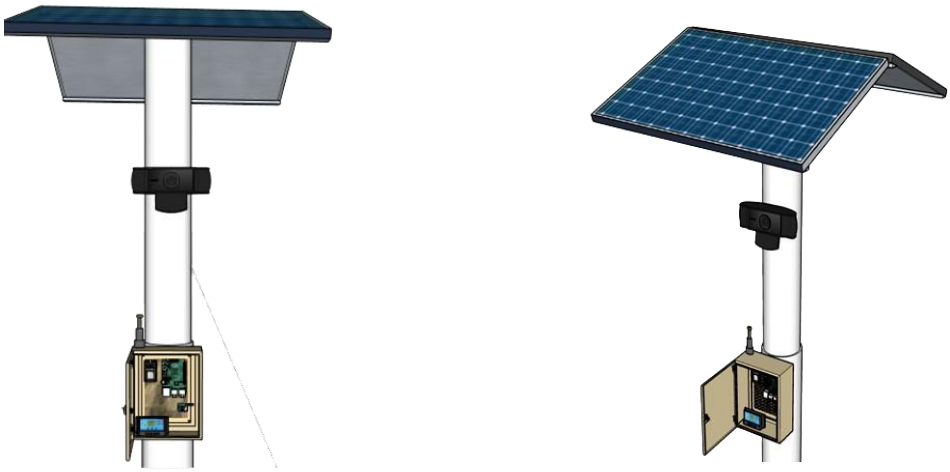


Gambar 3.Skematik Sistem *Internet of Things (IoT) Transmitter* dan *Receiver*

Pada Gambar 3, menjelaskan alur dari skematik sistem *Internet of Things (IoT)* yaitu:

1. Sensor DHT → ESP32 dan Kamera → Raspberry Pi untuk pengambilan data awal.
2. Raspberry Pi kirim hasil deteksi ke ESP32.
3. ESP32 proses semua data dan kirim ke *LoRa Transmitter*.
4. Data dikirim secara *wireless* ke *LoRa Receiver*.
5. *Mobile* menerima data dari *Receiver* dan menampilkannya serta memberikan notifikasi bila Api Terdeteksi.

2.5. Desain 3D



A **B**

Gambar 4. Desain 3D, Tampak Depan (A), Tampak Samping (B)

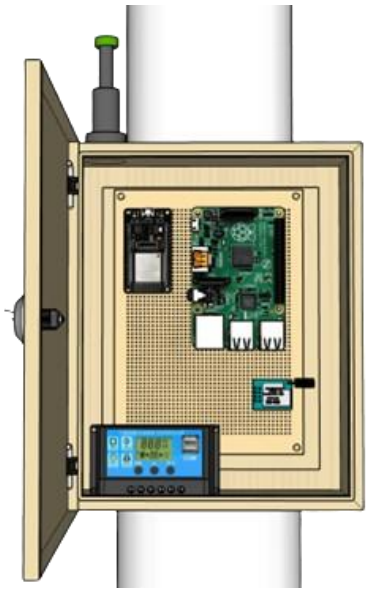
Gambar 4 menampilkan bentuk keseluruhan alat pendeteksi api yang dikembangkan. Alat ini terdiri dari kamera sebagai sensor utama, panel surya sebagai sumber daya mandiri, dan panel box yang menampung seluruh rangkaian elektronik. Desainnya disesuaikan untuk pemasangan di area terbuka seperti hutan atau lahan rawan kebakaran, dengan mempertimbangkan efisiensi energi dan ketahanan terhadap cuaca.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 5. Desain 3D Kamera

Gambar 5 menampilkan kamera yang digunakan untuk menangkap kondisi lingkungan secara real-time. Kamera ini menjadi komponen utama dalam proses deteksi api, karena video yang diambil akan diproses oleh algoritma *YOLOv5* untuk mengidentifikasi keberadaan api secara cepat dan akurat.



Gambar 6. Desain 3D *Panel Box* & Komponen Utama Lainnya

Pada gambar 6 diperlihatkan bagian dalam panel box yang berisi komponen inti sistem, yaitu Raspberry Pi 4 yang menjalankan *model AI YOLOv5*, modul ESP32-S3 untuk komunikasi serial, modul *LoRa* sebagai pengirim data jarak jauh, dan *charge controller* yang mengelola aliran daya dari panel surya. Seluruh komponen ini dirancang agar dapat mendukung sistem deteksi api secara mandiri dan *real-time.*

2.6. Analisis Sistem

Sistem deteksi kebakaran konvensional berbasis sensor suhu atau asap memiliki keterbatasan kecepatan dan akurasi, terutama pada tahap awal kebakaran. Akibatnya, peringatan sering terlambat sehingga meningkatkan risiko kerugian. Pendekatan berbasis *computer vision* dan *IoT* menjadi solusi menjanjikan karena mampu mengenali tanda visual kebakaran secara real-time

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

dengan jangkauan lebih luas. Algoritma *You Only Look Once (YOLO)* unggul karena mendeteksi objek dalam satu tahap pemrosesan, menghasilkan deteksi cepat dan presisi tinggi.

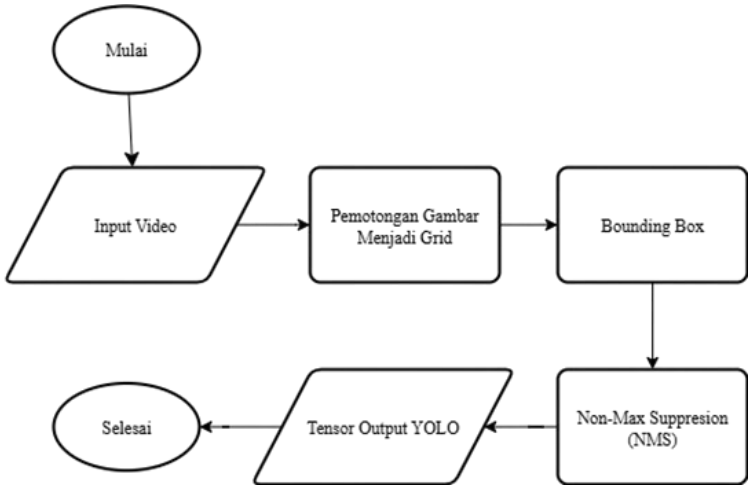
Bahhar melaporkan bahwa model *YOLOv8* mencapai presisi 95,7% dengan kemampuan generalisasi baik [20]. Firdaus mengintegrasikan *YOLOv8* dengan *Blynk* dan Telegram, meningkatkan kecepatan serta keandalan notifikasi real-time dengan mAP50 sebesar 97% [21]. Sistem ini menggabungkan kamera sebagai sensor visual, *mini PC* untuk pemrosesan *YOLO*, dan mikrokontroler ESP32-S3 untuk pengiriman data melalui *IoT*. Kombinasi deteksi *real-time* dan *IoT* ini memberikan solusi deteksi kebakaran yang cepat, adaptif, dan responsif.

3. Metode Dasar Pengembangan

Metode Pengembangan Dasar menjelaskan cara kerja sistem secara menyeluruh, mulai dari akuisisi data hingga penyampaian informasi ke pengguna. Sistem ini menggabungkan *AI (YOLOv5)* untuk deteksi api menggunakan kamera, sistem benam berbasis Raspberry Pi 4 dan Mikrokontroller ESP32-S3 untuk pemrosesan lokal, serta modul *LoRa* sebagai bagian dari *IoT* untuk mengirim hasil deteksi ke perangkat penerima secara *real-time.*

3.1. *Artificial Intelligence (AI)*

Pada bagian ini, *Flowchart* menggambarkan alur kerja sistem *Artificial Intelligence (AI)* dalam mendeteksi api secara otomatis. Proses dimulai dari input video yang dibagi menjadi *grid* dan ditangkap oleh kamera pengawas di area hutan. Data visual kemudian diproses menggunakan algoritma *YOLO*, model *deep learning* berbasis *object detection* yang mendeteksi api secara cepat dan akurat. Setiap *frame* dianalisis untuk menentukan keberadaan api; jika terdeteksi, sistem menandainya dengan *bounding box* serta menampilkan hasil klasifikasi dan *confidence score*. Hasil deteksi selanjutnya dikirim ke sistem benam sebagai dasar pengambilan keputusan otomatis.



Gambar 7. *Flowchart Artificial Intelligence (AI)*

Pada gambar 7, Menjelaskan alur dari *Flowchart Artificial Intelligence (AI)* yaitu sebagai berikut:

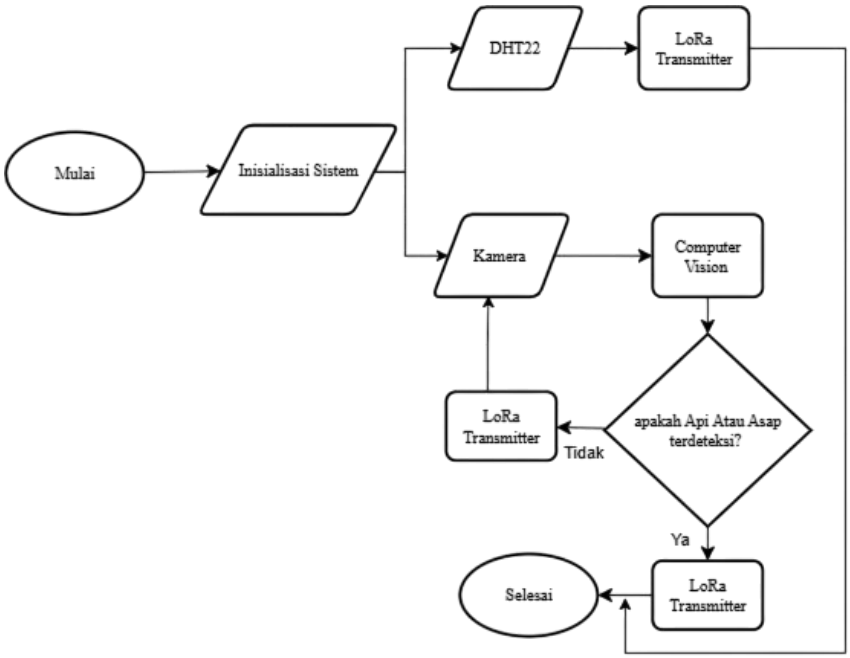
1. Mulai - Sistem mengatur semua perangkat keras agar siap digunakan, termasuk sensor, kamera, dan komunikasi *LoRa*.
2. *Input* Video - Video dapat ditangkap secara *real-time* melalui kamera, kemudian setiap *frame* dianalisis satu per satu.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

3. Pemotongan Gambar menjadi *Grid* - Setiap *frame* gambar dibagi menjadi *grid-grid* kecil (misalnya 13x13 atau 19x19, tergantung versi *YOLO*), di mana setiap *grid* bertanggung jawab mendeteksi objek yang berada di dalamnya.
4. *Bounding Box* - Untuk setiap *grid*, *YOLO* memprediksi beberapa *bounding box* yang menunjukkan lokasi objek, masing-masing dilengkapi dengan *confidence score* (tingkat keyakinan model terhadap keberadaan objek), koordinat posisi, dan kelas objek seperti api atau asap.
5. *Non-Max Suppression (NMS)* - *YOLO* biasanya menghasilkan banyak *bounding box* yang saling tumpang tindih, sehingga digunakan metode *Non-Maximum Suppression (NMS)* untuk menghapus duplikasi dan mempertahankan *box* dengan *confidence score* tertinggi.
6. *Tensor Output YOLO* - Model menghasilkan *output* akhir berupa *tensor* yang memuat koordinat objek, *confidence score*, dan *class label* ("Api" atau "Asap"). Data ini kemudian dapat dikirim ke sistem lain, seperti ESP32-S3, untuk diproses lebih lanjut.
7. Selesai - Proses satu *frame* selesai, dilanjutkan ke *frame* berikutnya.

3.2. Sistem Benam

Diagram alir (*Flowchart*) sistem benam menggambarkan alur kerja perangkat utama yang bertugas mendeteksi keberadaan api di lokasi hutan secara mandiri. Sistem ini terdiri dari kamera sebagai sensor input, Raspberry Pi 4 sebagai pemroses utama, serta algoritma *YOLOv5* yang bertugas menangkap citra terhadap objek api maupun asap. Setelah gambar dari kamera diproses, sistem akan mengambil keputusan berdasarkan hasil deteksi: apakah terdapat indikasi kebakaran atau tidak. Jika terdeteksi adanya api, informasi ini akan dikirimkan melalui modul *LoRa* yang nantinya dibuat sebagai bentuk output data ke sistem monitoring. Seluruh proses ini dilakukan secara lokal tanpa keterlibatan jaringan internet, sehingga termasuk dalam kategori sistem benam yang bersifat cerdas dan *real-time*.

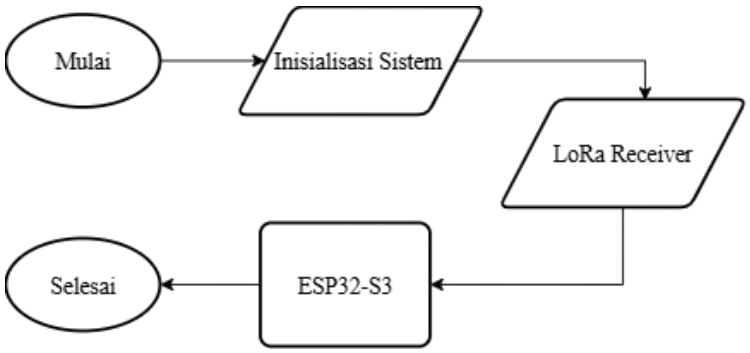


Gambar 8. *Flowchart* Sistem Benam *Transmitter* (Pengirim)

Pada Gambar 8, menjelaskan alur dari *Flowchart* sistem benam bagian *Transmitter* (Pengirim) yaitu:
Berikut adalah alur dari *Flowchart* Sistem Benam *Transmitter* (Pengirim) :

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

1. Inisialisasi Sistem - Sistem mengatur semua perangkat keras agar siap digunakan, termasuk sensor, kamera, dan komunikasi *LoRa*.
2. Pada Jalur atas, Pembacaan Sensor DHT22 - Sensor DHT membaca suhu & kelembaban udara di lingkungan sekitar
3. Kirim data DHT 22 ke *LoRa Transmitter* - Data suhu & kelembaban dikirim secara nirkabel melalui modul *LoRa Transmitter*.
4. Jalur Bawah, Kamera mengambil video - Kamera mengambil video area yang dipantau untuk dianalisis menggunakan *Computer Vision*
5. Proses *Computer Vision* - Sistem pengolahan gambar menganalisis hasil dari kamera menggunakan model *AI YOLOv5* untuk mendeteksi api atau asap
6. Deteksi Api/Asap - *Decision node* menentukan apakah terdapat api atau asap. Jika tidak terdeteksi, data tetap dikirim melalui LoRa transmitter dan sistem kembali melakukan deteksi dengan kamera. Jika terdeteksi, data hasil deteksi juga dikirim melalui LoRa transmitter.
7. Selesai - Proses selesai, sistem siap untuk menjalankan pemantauan berikutnya.



Gambar 9. *Flowchart* Sistem Benam *Receiver* (Penerima)

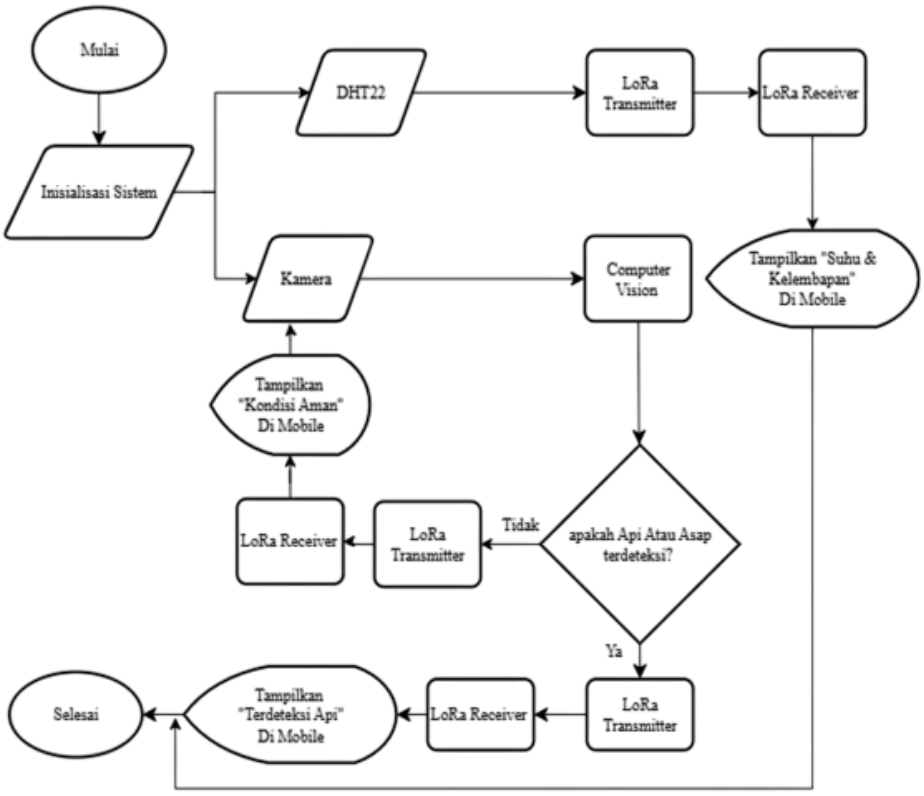
Pada Gambar 9, menjelaskan alur dari *Flowchart* sistem benam bagian *Receiver* (Penerima) yaitu:

1. Inisialisasi Sistem - Sistem mengatur semua perangkat keras agar siap digunakan, termasuk sensor, kamera, dan komunikasi *LoRa*.
2. Menerima data dari *LoRa Receiver*
3. Memproses data dari *LoRa Receiver*
4. Selesai - Proses selesai, sistem siap untuk menjalankan pemantauan berikutnya.

3.3. *Internet of Things (IoT)*

Perancangan sistem deteksi kebakaran berbasis *IoT* dan *computer vision* dilakukan dengan mempertimbangkan integrasi antara perangkat keras, perangkat lunak, serta antarmuka pengguna agar sistem mampu bekerja secara optimal dan responsif terhadap kondisi darurat. Proses perancangan dimulai dengan pengembangan diagram alir (*flowchart*) yang menggambarkan logika kerja sistem dari awal hingga akhir. Diagram ini menunjukkan bahwa sistem akan melakukan inisialisasi, menangkap citra secara real-time menggunakan kamera, memproses citra dengan algoritma *YOLO*, dan jika api terdeteksi, sistem akan mengirimkan data serial lewat *LoRa* menuju receiver dan memberikan notifikasi serta memperbarui dashboard mobile. Jika tidak terdeteksi api, sistem kembali melakukan pemantauan secara berulang (*looping*) tanpa intervensi manual. Struktur ini digambarkan secara lengkap pada Gambar 10.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 10. *Flowchart Internet of Things (IoT)*

Pada Gambar 10, menjelaskan alur dari *Flowchart* sistem *Internet of Things (IoT)* yaitu:

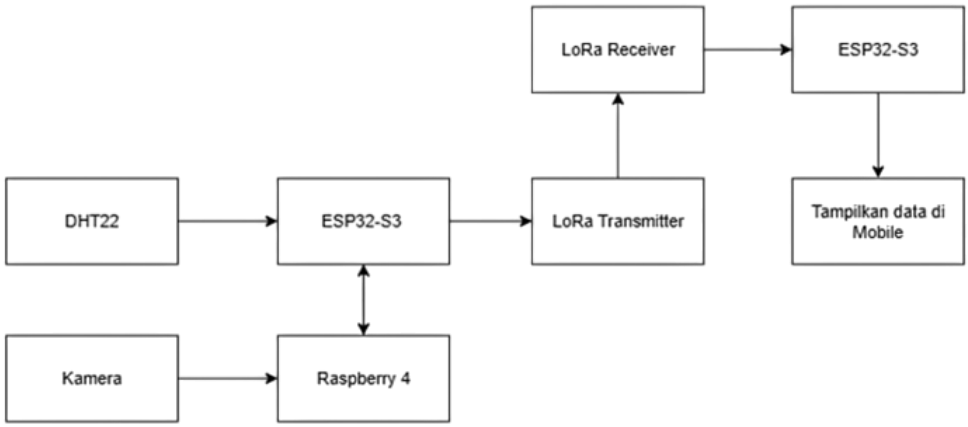
1. Inisialisasi Sistem - Sistem mengatur semua perangkat keras dan perangkat lunak agar siap digunakan, termasuk sensor, kamera, dan komunikasi *LoRa*.
2. Pada Jalur atas, Pembacaan Sensor DHT22 - Sensor DHT membaca suhu & kelembaban udara di lingkungan sekitar
3. Kirim data DHT 22 ke LoRa *Transmitter* - Data suhu & kelembaban dikirim secara nirkabel melalui modul *LoRa Transmitter*.
4. Data diterima oleh *LoRa Receiver*
5. Tampilkan “Suhu & Kelembaban” di *mobile*
6. Jalur Bawah, Kamera mengambil video - Kamera mengambil video area yang dipantau untuk dianalisis menggunakan *Computer Vision*.
7. Proses *Computer Vision* - Sistem pengolahan gambar menganalisis hasil dari kamera menggunakan model *AI YOLOv5* untuk mendeteksi api atau asap.
8. Deteksi Api/Asap - Decision node menentukan apakah terdapat api atau asap. Jika tidak terdeteksi, data “aman” dikirim melalui *LoRa transmitter*, diterima oleh *LoRa receiver*, dan aplikasi *mobile* menampilkan status “Kondisi Aman” sebelum sistem kembali melakukan deteksi dengan kamera. Jika terdeteksi, data “deteksi” dikirim melalui *LoRa transmitter*, diterima oleh *LoRa receiver*, dan aplikasi *mobile* menampilkan status “Terdeteksi Api.”
9. Selesai - Proses selesai, sistem siap untuk menjalankan pemantauan berikutnya.

3.4. Kesimpulan Metode Pengembangan

Selanjutnya, blok diagram digunakan untuk menyimpulkan keterhubungan antar komponen utama, baik input, pemrosesan, maupun output. Kamera terhubung ke *Mini PC* yang menjalankan *YOLO* sebagai pusat pemrosesan citra. *Output* dari *Mini PC* dikirimkan ke mikrokontroler ESP32-

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

S3 untuk mengirimkan data terkait tampilan di *mobile* lewat *LoRa*. Hubungan antar komponen ini divisualisasikan dalam Gambar 11.



Gambar 11. Blok Diagram Kesimpulan

Pada Gambar 11, menjelaskan alur dari Blok Diagram kesimpulan yaitu sebagai berikut:

1. DHT 22 & Kamera - DHT 22 dan Kamera disini berfungsi sebagai "mata" dari alat ini, DHT dijadikan sebagai pemberi validasi peringatan paling darurat ketika api sudah mendekat pada alat dan Kamera sebagai pemberi data visual yang akan diproses lebih lanjut untuk jarak jauh.
2. Raspberry 4 & ESP32-S3 - Pada proses selanjutnya, Raspberry 4 berfungsi sebagai "otak" dari alat ini, Raspberry 4 menggunakan model *YOLOv5* untuk mendeteksi keberadaan api dari gambar/citra yang diambil dan ESP32-S3 berperan sebagai pengambil keputusan atas dasar informasi yang diberikan oleh Raspberry dan menyalurkan data tersebut.
3. *LoRa* (*Long Range*) *Transmitter & Receiver* - Setelah proses data dilakukan oleh raspberry dan ESP32, Maka data tersebut akan dikirim melewati *LoRa Transmitter* (Pengirim) kemudian sampai ke *LoRa Receiver* (Penerima).
4. ESP32-S3 Bagian *Receiver* - Proses Terakhir yaitu data yang telah diterima oleh *LoRa Receiver* maka akan diolah lebih lanjut oleh ESP32-S3 bagian Receiver lebih lanjut untuk ditampilkan ke user sebagai monitoring kebakaran hutan.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mencapai tujuan yang dirumuskan pada Bab Pendahuluan, yakni merancang konsep sistem peringatan dini kebakaran hutan dan lahan (Karhutla) berbasis *Artificial Intelligence of Things (AIoT)* yang terintegrasi dengan komunikasi *LoRa* dan sumber energi surya. Sistem ini menggabungkan deteksi visual berbasis algoritma *YOLOv5* dengan mikrokontroler ESP32-S3 dan *mini PC* Raspberry Pi 4 sebagai pusat pemrosesan data. Hasil kajian menunjukkan bahwa rancangan sistem secara konseptual mampu memberikan peringatan dini secara cepat, akurat, dan mandiri di wilayah terpencil tanpa bergantung pada jaringan listrik maupun internet konvensional. Dengan demikian, penelitian ini telah memenuhi tujuannya, yaitu menghadirkan solusi teknologi cerdas yang adaptif dan berkelanjutan untuk mitigasi Karhutla.

Prospek pengembangan dari penelitian ini masih terbuka luas, mengingat saat ini sistem baru direalisasikan dalam bentuk kajian konseptual dan naskah ilmiah, belum dalam bentuk prototipe alat fisik. Oleh karena itu, langkah pengembangan selanjutnya difokuskan pada implementasi dan pengujian alat secara nyata agar dapat dievaluasi kinerjanya di lapangan. Selain itu, sistem dapat dikembangkan lebih lanjut dengan mengadopsi versi algoritma *YOLO* yang lebih baru dan akurat, seperti *YOLOv8*, untuk meningkatkan kemampuan deteksi terhadap variasi kondisi lingkungan

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

dan pencahayaan. Pengembangan tersebut diharapkan dapat menjadikan sistem ini sebagai solusi efektif dan inovatif dalam mendukung strategi nasional penanggulangan kebakaran hutan dan lahan di Indonesia.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berpartisipasi dalam penelitian ini, baik sebagai penyedia fasilitas, narasumber, maupun rekan-rekan yang turut mendukung dan membantu dalam perancangan penelitian ini.

Referensi

[1] Kepala BPBD Provinsi Kepulauan Babel Mikron. BPBD: Kerugian karhutla di Babel capai Rp150 miliar. Antaranews. 2023. Accessed August 10, 2025. https://www.antaranews.com/berita/3803976/bpbd-kerugian-karhutla-di-babel-capai-rp150-miliar

[2] Ramdani C. Jangan Anggap Remeh, Inilah Bahaya Karhutla di Kalimantan Selatan. jejakrekam. 2023. Accessed August 10, 2025. https://jejakrekam.com/2023/09/13/jangan-anggap-remeh-inilah-bahaya-karhutla-di-kalimantan-selatan

[3] Sipongi. Rekapitulasi Luas Kebakaran Hutan dan Lahan (Ha) per Provinsi di Indonesia. Https://Sipongi.Menlhk.Go.Id/. 2023. Accessed August 10, 2025. https://sipongi.menlhk.go.id/indikasi-luas-kebakaran

[4] AHAMAD FAJAR. Sinergitas Instansi Pemerintah daerah dalam penanggulangan kebakaran hutan dan lahan di Kabupaten Okan hilir Propinsi Riau Pada Tahun 2015. Skripsi. Universitas Riau. 2015.

[5] MARGARETA C, & NUGROHO AGUNG, H. Prototipe Sistem Peringatan Dini Kebakaran Hutan Berbasis Parameter Cuaca. Wahana Fisika. Vol 2 Nomor 2. 2017

[6] BADRI MUHAMMAD, LUBIS P DJUARA, JOKO SUSANTO & SUHARJITO DIDIK. Sistem Komunikasi dini Pencegahan Kebakaran Hutan dan Lahan di Provinsi Riau. Jurnal PIKOM Vol 19 Nomor 1 Juni 2018

[7] H. H. and R. Candra, "Sistem Deteksi Kebakaran Berbasis Mikrokontroler dan Aplikasi Peta Menggunakan IoT," Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer, vol. 10, no. 2, pp. 123–130, 2021, doi: 10.14710/jtsiskom.10.2.123-130

[8] A. R. Z. Zidifaldi and S. Nugroho, "Sistem Deteksi Dini Kebakaran Menggunakan Sensor Api dan Suhu Berbasis Arduino dengan Notifikasi Blynk," Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer, vol. 7, no. 3, pp. 210–217, 2022, doi: 10.25126/jtiik.2022.7.3.210.

[9] A. S. P. I. Widharma and M. F. Hidayat, "Deteksi Api Menggunakan Algoritma YOLO Berbasis Computer Vision," Jurnal Informatika, vol. 9, no. 1, pp. 45–52, 2022, doi: 10.31294/ji.v9i1.12345.

[10] S. P. and D. Kurniawan, "Implementasi Deep Learning untuk Deteksi Kebakaran pada Lingkungan Industri," Jurnal Teknologi dan Rekayasa, vol. 8, no. 2, pp. 89–96, 2023, doi:

[11] L. S. and M. Yusuf, "Pengembangan Sistem Pendeteksi Kebakaran Berbasis IoT dengan Sensor MQ-2," Jurnal Teknik Elektro dan Komputer, vol. 11, no. 4, pp. 301– 308, 2021, doi: 10.54321/jtek.v11i4.4567.

[12] R. S. A. Nugraha and T. H. Santoso, "Sistem Monitoring Kebakaran Hutan Menggunakan Drone dan YOLOv5," Jurnal Penginderaan Jauh, vol. 5, no. 2, pp. 112– 119, 2022, doi: 10.98765/jpj.v5i2.2345

[13] D. L. and B. Wicaksono, "Integrasi Sensor Suhu dan Kamera untuk Deteksi Dini Kebakaran," Jurnal Sistem Informasi, vol. 14, no. 1, pp. 55–62, 2023, doi: 10.24680/jsi.v14i1.7890.

[14] R. Hidayat, "Penerapan YOLOv4 untuk Deteksi Api pada Sistem Keamanan Rumah," Jurnal Keamanan Siber, vol. 3, no. 3, pp. 150–157, 2022, doi: 10.13579/jks.v3i3.3210.

[15] M. A. R. and S. Dewi, "Sistem Deteksi Kebakaran Otomatis Menggunakan Raspberry Pi dan Kamera," Jurnal Teknologi Informasi, vol. 6, no. 2, pp. 200–207, 2021, doi: 10.24680/jti.v6i2.6543.

[16] T. S. and L. Widodo, "Analisis Kinerja Sistem Deteksi Kebakaran Berbasis IoT di Gedung Perkantoran," Jurnal Rekayasa Sistem, vol. 9, no. 1, pp. 33–40, 2023, doi: 10.12345/jrs.v9i1.9876.

[17] E. W. and F. H. Prasetyo, "Pengembangan Aplikasi Mobile untuk Monitoring Sistem Deteksi Kebakaran Berbasis IoT," Jurnal Aplikasi Teknologi, vol. 7, no. 3, pp. 145–152, 2022, doi: 10.54321/jat.v7i3.4321.

[18] B. S. and Y. Kurniawan, "Implementasi YOLOv5 untuk Deteksi Api pada Lingkungan Rumah Tangga," Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi, vol. 10, no. 2, pp. 75–82, 2023, doi: 10.24680/jtsi.v10i2.5678.

[19] Waisnawa, Putu Gema Bujangga, Novia Mawar Sari, and Agus Bambang Irawan. "Analisis Bahaya Kebakaran Hutan dan Lahan di Jalur Pendakian Gunung Merbabu, Gunung Sindoro dan Gunung Sumbing, Jawa Tengah." Jurnal Ilmiah Lingkungan Kebumian 5.2 (2023): 75-83.

[20] C. B. et al., "A Lightweight Fire Detection Algorithm Based on the Improved YOLOv8 Model," Applied Sciences, vol. 14, no. 16, p. 6878, 2024, [Online]. Available: https://www.mdpi.com/2076-3417/14/16/6878

[21] M. A. F. et al., "Prototype smart integrated fire detection based on deep learning YOLO v8 and IoT (internet of things) to improve early fire detection," International Journal of Applied Mathematics, Sciences, and Technology for National Defense, vol. 3, no. 2, pp. 53–58, 2023, [Online]. Available: https://journal.foundae.com/index.php/JASND/article/view/437

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

ID: 13

Purwarupa EMG untuk Kuantisasi Aktivitas Otot *Trapezius*

EMG Based Prototype for Quantification of Trapezius Muscle Activation

Chika Ayu Pramestri[1], Dodi Zulherman[2], Mas Aly Afandi[3]
[1,2]Program Studi S1 Teknik Biomedis Kampus Banyumas, Universitas Telkom
[3]Program Studi S1 Teknik Telekomunikasi Kampus Banyumas, Universitas Telkom
Jl. DI Panjaitan No.128 Purwokerto, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah 53147, (0281) 641 629
chikaayupramestri@student.telkomuniversity.ac.id[1], zulherman@telkomuniversity.ac.id[2],
alyafandi@telkomuniversity.ac.id[3]

Abstrak – *Kelelahan otot (fatigue) pada otot trapezius sering kali tidak terukur secara objektif, sehingga efektivitas terapi sulit dievaluasi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji sistem alat ukur kelelahan otot yang terintegrasi dengan terapi otot trapezius menggunakan sensor elektromiografi (EMG). Subjek penelitian adalah seorang wanita berusia 21 tahun dalam kondisi sehat tanpa kelainan otot, yang menjadi objek pengujian aktivitas otot trapezius. Sistem dirancang menggunakan sensor EMG untuk mendeteksi sinyal aktivitas listrik otot, yang kemudian diproses oleh mikrokontroler ESP32 dan ditampilkan secara real-time melalui antarmuka Arduino IDE. Penelitian dilakukan dengan dua kondisi utama, yaitu relaksasi dan kontraksi otot, guna membandingkan perbedaan amplitudo sinyal yang dihasilkan. Berdasarkan hasil pengujian sebanyak 30 kali percobaan, diperoleh nilai rata-rata sebesar 134 mV pada kondisi relaksasi dan 650 mV pada kondisi kontraksi. Perbedaan signifikan ini menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi perubahan aktivitas otot secara objektif dan akurat. Hasil tersebut membuktikan bahwa alat bekerja secara stabil dan efektif dalam merekam sinyal EMG, sehingga dapat digunakan sebagai perangkat bantu analisis kelelahan otot yang praktis, terjangkau, dan mendukung pemantauan terapi otot trapezius secara real-time.*

Kata Kunci*: emg, kelelahan otot, terapi otot trapezius, esp32, alat ukur, magnetic cervical veterbrata.*

Abstract – *Muscle Muscle fatigue in the trapezius muscle is often not objectively measurable, making the effectiveness of therapy difficult to evaluate. This study aims to design and test a muscle fatigue measurement system integrated with trapezius muscle therapy using a electromyography (EMG) sensors. The research subject is a 21-year-old healthy woman without muscle abnormalities, who serves as the test subject for trapezius muscle activity. The system is designed using EMG sensors to detect electrical activity signals from the muscles, which are then processed by an ESP32 microcontroller and displayed in real-time through the Arduino IDE interface. The study was conducted under two main conditions, namely relaxation and muscle contraction, to compare the differences in the amplitude of the generated signals. Based on the results of 30 experimental trials, an average value of 134 mV was obtained under relaxation conditions and 650 mV under contraction conditions. This significant difference indicates that the system is able to detect changes in muscle activity objectively and accurately. These results demonstrate that the device operates stably and effectively in recording EMG signals, making it suitable for use as a practical and affordable tool for muscle fatigue analysis, as well as supporting real-time monitoring of trapezius muscle therapy.*

Keywords*: emg, maximum Indeed, muscle fatigue, trapezius muscle therapy, ESP32, measuring device, magnetic cervical vertebrae*

1. Pendahuluan

Di era digital, pola hidup manusia menuju ke arah negatif berdampak pada kesehatan muskuloskeletal, khususnya otot *trapezius* yang berperan penting dalam stabilisasi leher dan bahu. Kebiasaan duduk lama di depan komputer menyebabkan postur tubuh memburuk sehingga menimbulkan nyeri dan kelelahan otot. Data menunjukkan bahwa lebih dari 16,6% orang dewasa mengalami keluhan leher setiap tahun, dengan prevalensi nyeri leher di Indonesia mencapai 40% per tahun. Kondisi ini membuktikan bahwa otot *trapezius* merupakan salah satu otot yang rentan terhadap gangguan akibat aktivitas statis berkepanjangan [1].

Dalam praktik fisioterapi, penilaian kelelahan otot masih bersifat subjektif berdasarkan keluhan pasien, sehingga rawan ketidakakuratan. Teknologi *elektromiografi* (EMG) dapat digunakan sebagai solusi karena mampu merekam aktivitas listrik otot dan menjadi indikator objektif kondisi kelelahan. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa analisis sinyal EMG efektif dalam mendeteksi kontraksi maupun relaksasi otot, namun perangkat EMG yang ada masih relatif mahal dan sulit diakses. Di sisi lain, terapi menggunakan *magnetic cervical veterbrata* telah digunakan untuk mengurangi ketegangan otot secara *non-invasif*, tetapi perangkat yang ada umumnya hanya berfungsi sebagai alat pijat tanpa pemantauan kondisi otot [1].

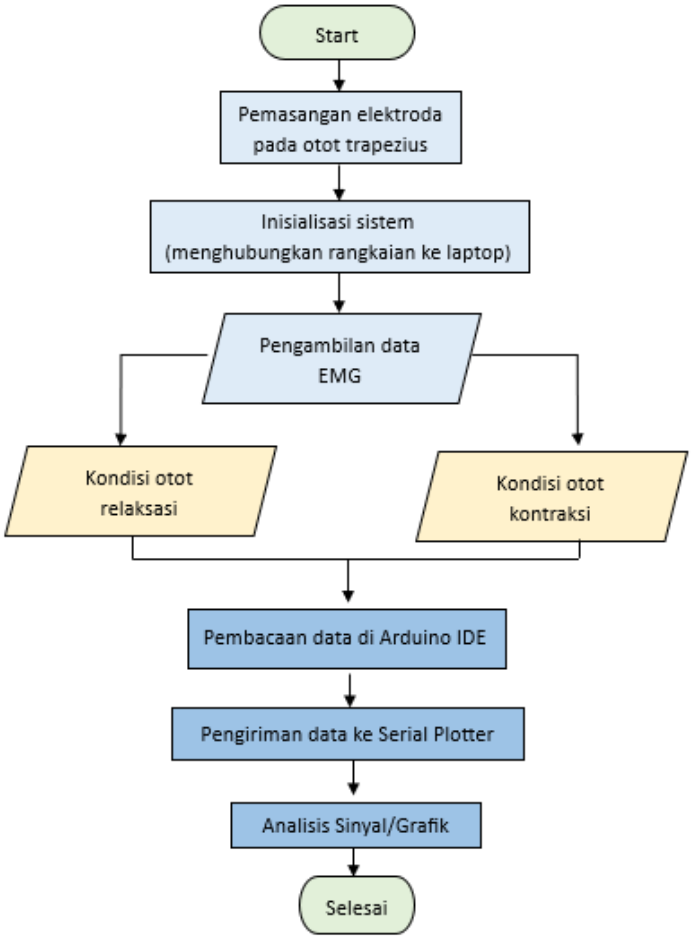
Beberapa penelitian terdahulu telah mendukung relevansi pendekatan ini. Syurrahmi et al. (2023) menunjukkan bahwa durasi mengetik berkorelasi dengan timbulnya *myofascial trigger point* pada otot *trapezius*, sehingga pemantauan aktivitas otot secara kontinu penting untuk mencegah kelelahan kronis [2]. Jayadi et al. (2023) menemukan bahwa *massage therapy* mampu mengurangi kekakuan otot *trapezius* hingga 88% responden, menandakan bahwa terapi pijat efektif dalam meredakan ketegangan otot [3]. Nabilah et al. (2020) mengembangkan sistem EMG untuk kendali *electrolarynx* dan membuktikan bahwa sinyal otot leher dapat dideteksi akurat dengan algoritma pemrosesan tertentu meski sinyalnya kecil dan rawan *noise* [4]. Halimah et al. (2024) meneliti teknik fisioterapi *ischemic compression* dan *passive stretching*, yang keduanya terbukti efektif mengurangi nyeri pada kasus *myofascial pain syndrome* otot *trapezius* [1]. Sementara itu, Abyanto et al. (2018) merancang alat deteksi kelelahan otot berbasis *Arduino UNO* dan menunjukkan perbedaan signifikan tegangan EMG antara kondisi kontraksi dan relaksasi [5]. Kajian-kajian ini menggaris bawahi tiga hal penting, bahwa aktivitas otot *trapezius* yang berlebihan dapat menimbulkan kelelahan dan nyeri, terapi pijat terbukti efektif mengurangi kekakuan otot, dan sistem berbasis sensor EMG berpotensi besar dalam mendeteksi aktivitas otot secara *real-time*.

Kebaruan penelitian ini terletak pada rancangan sistem yang tidak hanya memberikan terapi, tetapi juga mengukur tingkat kelelahan otot *trapezius* secara *real-time* dengan sensor EMG dan *mikrokontroler* ESP32. Sistem ini diharapkan mampu menampilkan data sebelum dan sesudah terapi, sehingga efektivitas intervensi dapat diamati secara objektif. Rumusan masalah penelitian ini mencakup bagaimana merancang perangkat untuk mengukur kinerja otot *trapezius* secara *real-time* menggunakan sensor EMG, serta bagaimana mekanisme pengukuran dilakukan pada saat terapi dengan alat *magnetic cervical veterbrata*. Tujuan penelitian adalah merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan aktivitas otot *trapezius* bagian atas menggunakan sensor EMG yang mampu menampilkan sinyal secara *real-time* melalui antarmuka berbasis *Arduino* IDE, guna mendukung proses observasi kondisi otot selama terapi. Mengevaluasi efektivitas terapi pijat *magnetic cervical vertebrata* terhadap kelelahan otot dengan membandingkan sinyal EMG sebelum dan sesudah terapi menggunakan pendekatan analisis statistik sederhana, untuk mengetahui adanya perubahan karakteristik aktivitas otot secara kuantitatif.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

2. Metode Penelitian

2.1. Metode yang Digunakan



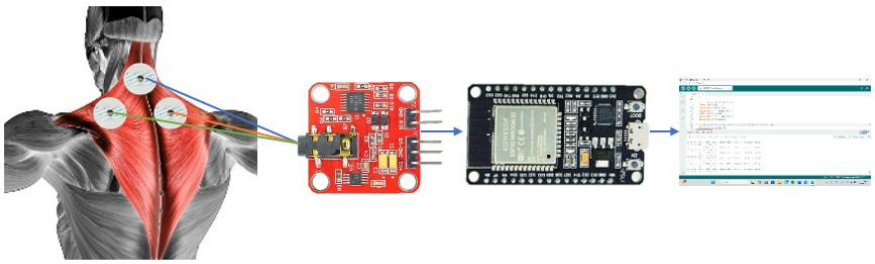
Gambar 1. Diagram Alir Tahapan Pengambilan Data

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental laboratorium untuk merancang dan menguji sistem alat ukur kelelahan otot berbasis sensor EMG. Subjek penelitian adalah seorang wanita berusia 21 tahun dalam kondisi sehat tanpa riwayat cedera pada otot leher dan bahu. Tahapan penelitian secara umum dapat dijelaskan berdasarkan diagram alir sebagai berikut. Langkah pertama adalah pemasangan elektroda pada otot *trapezius*, yaitu pada bagian proksimal dan distal otot sesuai arah serabut otot. Tujuannya untuk memperoleh sinyal aktivitas listrik otot yang akurat ketika otot dalam kondisi relaksasi maupun kontraksi. Setelah elektroda terpasang, dilakukan inisialisasi sistem, yaitu menghubungkan seluruh rangkaian alat (sensor EMG, ESP32, dan catu daya) dengan laptop yang menjalankan perangkat lunak *Arduino* IDE. Tahapan berikutnya adalah pengambilan data sinyal EMG, di mana sensor mendeteksi aktivitas listrik otot ketika subjek melakukan dua kondisi berbeda, yaitu kondisi otot relaksasi (tanpa kontraksi) dan kondisi otot kontraksi (saat otot bekerja). Sinyal yang diperoleh dari kedua kondisi ini akan menunjukkan perbedaan amplitudo tegangan yang menandakan tingkat aktivitas otot. Selanjutnya, data hasil pembacaan dikirim ke laptop melalui Serial Monitor pada *Arduino* IDE untuk proses pembacaan dan perekaman data. Data yang telah dikumpulkan kemudian dikirim ke *Serial Plotter*, sehingga sinyal EMG dapat divisualisasikan dalam bentuk grafik waktu nyata (*Real-time*). Tahap akhir yaitu analisis sinyal atau grafik, di mana data yang diperoleh dianalisis untuk mengamati perbedaan nilai tegangan antara kondisi relaksasi dan kontraksi. Analisis ini

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

digunakan untuk mengevaluasi apakah sistem mampu mendeteksi perubahan aktivitas otot dengan baik, serta untuk menilai efektivitas alat dalam memantau tingkat kelelahan otot secara objektif.

2.2. Perancangan Hardware



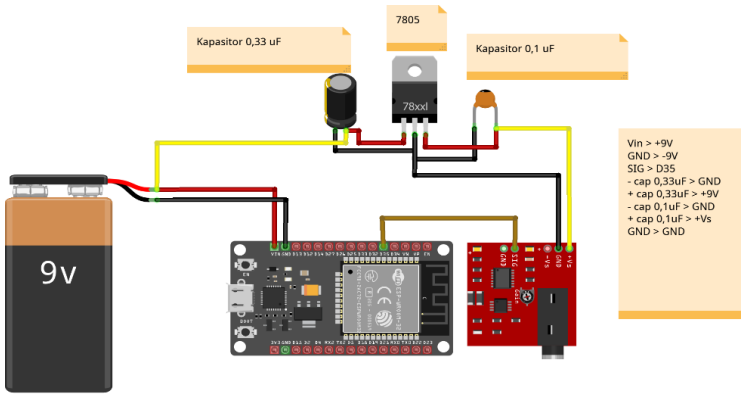
Gambar 2. Diagram Blok Perancangan *Hardware*

Diagram blok pada gambar tersebut menjelaskan alur kerja sistem pengukuran kelelahan otot *trapezius* menggunakan sensor EMG yang terintegrasi dengan *mikrokontroler* ESP32. Tahapan awal dimulai dari otot *trapezius* sebagai objek pengukuran, di mana elektroda ditempelkan pada bagian atas otot untuk menangkap sinyal bioelektrik yang dihasilkan saat otot berkontraksi maupun dalam kondisi relaksasi. Sinyal yang ditangkap ini memiliki tegangan sangat kecil dan rentan terhadap gangguan (*noise*), sehingga perlu dilewatkan ke sensor EMG. Pada bagian sensor, sinyal diperkuat melalui rangkaian penguat (*amplifier*) serta disaring dengan filter internal untuk mengurangi *noise*, sehingga menghasilkan sinyal analog yang lebih stabil dan representatif terhadap kondisi otot.

Setelah diperkuat, sinyal analog tersebut diteruskan ke *mikrokontroler* ESP32 melalui pin ADC (*Analog to Digital Converter*). ESP32 berfungsi sebagai pusat pengendali sekaligus pemroses data, di mana sinyal analog diubah menjadi data digital agar dapat dianalisis lebih lanjut. *Mikrokontroler* ini juga memiliki kemampuan untuk mengelola data secara *Real-time*.

Hasil pembacaan dan pemrosesan sinyal kemudian dikirimkan ke laptop melalui koneksi serial. Pada tahap ini, *Arduino* IDE digunakan baik untuk memprogram ESP32 maupun untuk menampilkan hasil pengukuran dalam bentuk angka serta grafik yang dapat diamati secara langsung. Visualisasi ini memudahkan peneliti atau pengguna dalam membandingkan kondisi otot sebelum dan sesudah terapi.

2.3. Skema Rangkaian



Gambar 3. Skema Rangkaian

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Tabel 1. Sambungan Pin Antar Komponen

No	Input	Output
1.	Vin	+9V
2.	GND	-9V
3.	SIG	D35
4.	-Kapasitor 0,33 μF	GND
5.	+Kapasitor 0,33 μF	+9V
6.	-Kapasitor 0,1 μF	GND
7.	+Kapasitor 0,1 μF	+Vs
8.	GND	GND

Rangkaian di atas menunjukkan sistem yang dirancang untuk membaca sinyal otot (EMG) menggunakan sensor EMG yang terhubung dengan *mikrokontroler* ESP32, dengan sumber daya berasal dari baterai 9V. Untuk menjaga kestabilan tegangan yang digunakan dalam rangkaian, digunakan IC regulator 7805 yang berfungsi menurunkan tegangan *input* dari baterai 9V menjadi tegangan stabil sebesar 5V. Pada sisi *input* dan *output* regulator, dipasang kapasitor 0,33 µF dan 0,1 µF yang berfungsi sebagai filter untuk meredam *noise* serta mencegah lonjakan tegangan yang bisa mengganggu kinerja sistem.

Sensor EMG memperoleh catu daya langsung dari baterai 9V. Pin Vin dari sensor disambungkan ke +9V, sedangkan GND ke *ground* baterai. Sinyal analog dari sensor EMG yang mewakili aktivitas listrik otot dikirim melalui pin SIG ke pin analog D35 pada ESP32, yang berfungsi sebagai input ADC (*Analog to Digital Converter*) untuk membaca sinyal EMG. Modul EMG ini juga dilengkapi dengan penguat sinyal (*amplifier*) dan filter internal, sehingga mampu menghasilkan sinyal yang bersih untuk dibaca oleh *mikrokontroler*. ESP32 berperan sebagai pengendali utama yang membaca data dari sensor EMG dan dapat digunakan untuk berbagai keperluan seperti mengirim data secara nirkabel (misalnya melalui Wi-Fi atau *Bluetooth*). Seluruh *ground* dari rangkaian yaitu dari baterai, regulator, sensor EMG, dan ESP32 harus disatukan sebagai *common ground* agar sinyal dapat terbaca dengan benar dan tidak terjadi perbedaan potensial yang mengganggu.

3. Hasil dan Pembahasan

Tabel 2. Hasil Pengujian Kondisi Relaksasi dan Kontraksi

Percobaan	Relaksasi (mV)	Kontraksi (mV)
1	138,12	640,24
2	134,78	657,20
3	132,08	657,52
4	131,84	665,67
5	131,65	669,23
6	130,14	669,48
7	132,61	644,42
8	133,78	649,91
9	133,09	698,04
10	133,12	686,14
11	133,25	643,00
12	131,70	645,00

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Percobaan	Relaksasi (mV)	Kontraksi (mV)
13	129,82	648,22
14	130,16	653,10
15	131,84	660,22
16	132,00	650,27
17	132,71	649,50
18	133,14	655,05
19	133,88	644,34
20	133,26	647,34
21	132,94	647,36
22	133,66	659,70
23	133,45	651,22
24	132,22	643,41
25	132,13	645,53
26	132,02	660,23
27	130,67	655,03
28	141,38	649,92
29	141,17	641,68
30	142,17	637,90

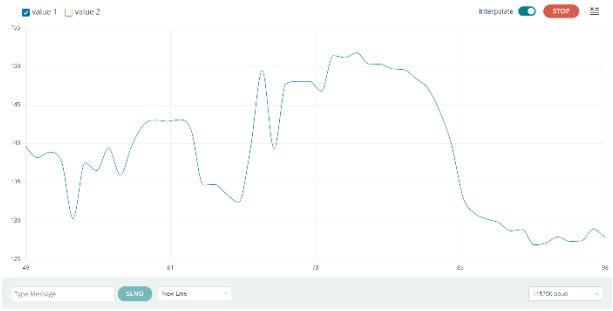


Gambar 4. Kondisi Saat Relaksasi

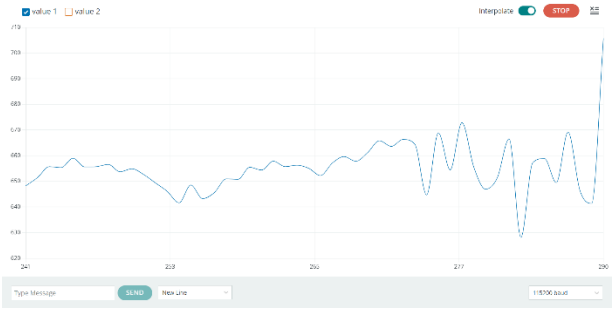


Gambar 5. Kondisi Saat Kontraksi

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 6. Grafik Saat Kondisi Relaksasi



Gambar 7. Grafik Saat Kondisi Kontrasi

Berdasarkan hasil pengukuran yang ditampilkan pada tabel, diperoleh data aktivitas listrik otot (EMG) pada kondisi relaksasi dan kontraksi otot *trapezius* selama 30 kali percobaan. Nilai tegangan yang dihasilkan pada kondisi relaksasi berkisar antara 129,82 mV hingga 142,17 mV, sedangkan pada kondisi kontraksi berkisar antara 637,90 mV hingga 669,29 mV. Perbedaan yang cukup signifikan antara kedua kondisi ini menunjukkan bahwa sensor EMG mampu mendeteksi perubahan aktivitas otot dengan baik. Saat otot dalam keadaan relaksasi, sinyal EMG relatif stabil dengan fluktuasi kecil, menandakan adanya aktivitas dasar otot (tonus otot) yang tetap terjadi meskipun tanpa gerakan besar. Sebaliknya, pada saat otot berkontraksi, nilai tegangan meningkat secara drastis sekitar 4 hingga 5 kali lipat dibandingkan kondisi relaksasi, menandakan adanya peningkatan jumlah serabut otot yang aktif.

Pada kondisi relaksasi, subjek berada dalam posisi duduk tegak dengan bahu rileks dan tidak memberikan tegangan pada otot *trapezius*. Elektroda ditempatkan pada bagian atas bahu sesuai posisi otot target. Nilai tegangan yang terbaca relatif kecil dan stabil, dengan fluktuasi ringan yang menunjukkan aktivitas dasar otot (tonus otot) yang masih berlangsung meskipun tanpa gerakan berarti. Sementara pada kondisi kontraksi, subjek diminta untuk mengangkat bahu atau menahan beban ringan selama beberapa detik sehingga otot *trapezius* berkontraksi. Pada kondisi ini terlihat adanya peningkatan tonus otot yang lebih tinggi, dan hasil pembacaan sinyal EMG menunjukkan lonjakan tegangan signifikan dibandingkan kondisi relaksasi. Grafik sinyal EMG pada *Arduino Serial Plotter* memperlihatkan peningkatan, menandakan bahwa sistem sensor mampu mendeteksi perbedaan aktivitas listrik otot dengan baik. Perbandingan antara kedua kondisi ini memberikan bukti visual dan numerik bahwa alat yang dirancang bekerja secara efektif dalam merekam aktivitas listrik otot. Selain itu, hasil visualisasi sinyal juga memperlihatkan pola perubahan amplitudo yang dapat digunakan untuk menganalisis tingkat kelelahan otot berdasarkan durasi dan kekuatan kontraksi.

Rata-rata nilai pada kondisi relaksasi berada di kisaran 134 mV, sedangkan pada kondisi kontraksi sekitar 650 mV. Hal ini membuktikan bahwa sistem pengukuran yang digunakan, baik sensor EMG maupun rangkaian penguatnya, bekerja secara efektif dalam merekam perubahan sinyal otot. Secara keseluruhan, hasil ini membuktikan bahwa sistem berbasis sensor EMG yang

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

dirancang dapat membedakan kondisi otot relaksasi dan kontraksi secara objektif, serta berpotensi digunakan untuk analisis tingkat kelelahan otot melalui pengukuran parameter sinyal yang lebih lanjut.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian sistem, dapat disimpulkan bahwa alat ukur kelelahan otot *trapezius* berbasis sensor elektromiografi (EMG) dan *mikrokontroler* ESP32 berhasil dibuat dan berfungsi sesuai dengan tujuan penelitian. Sensor EMG mampu mendeteksi perubahan aktivitas listrik otot secara *Real-time*, di mana terdapat perbedaan signifikan antara kondisi relaksasi dan kontraksi. Nilai tegangan rata-rata pada kondisi relaksasi berada di kisaran 134 mV, sedangkan pada kondisi kontraksi meningkat hingga sekitar 650 mV, menandakan bahwa sistem dapat membedakan aktivitas otot dengan jelas.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem bekerja stabil dan mampu menampilkan sinyal otot melalui *Serial Plotter Arduino* IDE secara visual dan akurat. Integrasi antara sensor EMG dengan perangkat magnetic cervical veterbrata juga menunjukkan potensi besar dalam aplikasi terapi otot *trapezius*, karena alat tidak hanya memberikan pijatan magnetik, tetapi juga memantau kondisi otot sebelum dan sesudah terapi.

Dengan demikian, sistem ini dapat digunakan sebagai alat bantu analisis kelelahan otot yang praktis, terjangkau, dan efektif dalam mendukung evaluasi terapi otot secara objektif. Untuk penelitian selanjutnya, sistem ini dapat dikembangkan dengan menambahkan fitur penyimpanan data otomatis, antarmuka pengguna berbasis aplikasi, serta algoritma analisis sinyal EMG yang lebih kompleks guna mendeteksi tingkat kelelahan secara kuantitatif dan berkelanjutan.

Referensi

[1] A. Halimah, A. Tang, N. H. Ramadhani, Y. Ramba, S. S. Leksonowati and R. Nugraha, "Ischemic Compression dan Passive Streching untuk Menurunkan Nyeri Pada Myofascial Pain Syndrome Otot Upper *Trapezius*," *Jurnal Penelitian Kesehatan Suara Forikes,* vol. 15, no. 4, p. 724, 2024.

[2] Syurrahmi, A. Rahmanti, L. Purna, P. S. Wiguna, A. Mutiara and N. K. K. D. Patrisia, "Hunbungan Lama Mengetik Terhadap Terjadinya Myofascial Trigger Point Syndrome Otot Upper *Trapezius* Pada Pekerja Rental," *Jurnal JUFDIKES,* vol. 5, no. 1, pp. 20-26, 2023.

[3] Jayadi, Riswandi and F. B. M. N. Ibrah, "Efektivitas Massage Musculus *Trapezius* terhadap Relaksasi Kekuatan Otot Punggung," *Journal of Sport Science and Physical Education,* vol. 4, no. 1, p. 46, 2023.

[4] N. Ashriyah, T. A. Sardjono and M. Nuh, "Pengembangan Instrumentasi dan Analisis Sinyal EMG pada Otot Leher," *Jurnal Teknik ITS,* vol. 9, no. 1, p. 2, 2020.

[5] F. T. Abyanto and F. B. Setiawan, "Deteksi Kejenuhan Seluruh Otot Manusia Menggunakan Sensor EMG Berbasi *Mikrokontroler Arduino* UNO," *SNIKO,* pp. 10-11, 2018.

[6] F. Florentinus and B. Setiawan, "Pengukuran Kkuatan Kontraksi Otot Pada Bagian Torso Tubuh Menggunakan Sensor Elektromiografi," *SNIKO,* pp. 10-11, 2018.

[7] V. Fatmawati, "Penurunan Nyeri dan Disabilitas Dengan Integrated Neuromuscular Inhibition Techniques (INIT) dan Massage Effleurage Pada Myofascial Trigger Point Syndrome Otot *Trapezius* Bagian Atas," *Sport and Fitness Journal,* vol. 1, no. 1, pp. 60-71, 2013.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

ID: 15

Rancangan Perangkat Pengukuran Gula Darah Non-invasif

Design of Non-Invasive Blood Sugar Measurement Devices

Evan Fajar Firmansyah[1*], Dodi Zulherman[2], Slamet Indriyanto[3]
[1,2]Prodi Teknik Biomedis Kampus Banyumas, [3]Prodi Teknik Elektro Kampus Banyumas, Universitas Telkom, JL. DI Panjaitan No. 128 Purwokerto
evanfajarfirmansyah@student.telkomuniversity.ac.id[1*], zulherman@telkomuniversity.ac.id[2], slamet@telkomuniversity.ac.id[3]

Abstrak – *Penelitian ini membahas perancangan sistem pengukuran kadar glukosa secara non-invasif menggunakan sensor MAX3010. Sensor ini memanfaatkan cahaya merah (660 nm) dan inframerah (880 nm) untuk mendeteksi intensitas cahaya yang melewati jaringan jari pengguna. Hasil pengukuran ditampilkan secara real-time pada layar dan dapat dipantau dari jarak jauh. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat bekerja dengan baik dalam membaca sinyal optik dan menampilkan nilai sesuai kondisi pengguna. Pola perubahan sinyal yang dihasilkan memiliki arah yang sebanding dengan hasil pemgukuran alat glukometer, sehingga sistem ini dapat memberikan gambaran awal kadar glukosa darah secara umum. Walaupun hasil yang diperoleh belum seakurat alat konvesional, sistem ini berpotensi dikembangkan lebih lanjut dengan peningkatan jumlah data, penyempurnaan pengolahan sinyal, serta penerapan metode analisis yang lebih optimal untuk meningkatkan akurasi.*

Kata Kunci*: MAX30102, non-invasif, kadar glukosa darah, sensor optik.*

Abstract – *This study discusses the design of a non-invasive blood glucose measurement system using the MAX30102 sensor. The sensor utilizes red light (660 nm) and infrared light (880 nm) to detect changes in light intensity passing through the user's finger tissue. The measurement results are displayed in real-time and can be monitored remotely. The experimental results show that the system can effectively read optical signals and display changes that correspond to the user's condition. The signal pattern obtained is consistent with the measurements from a conventional glucometer, indicating that the system can provide an initial estimation of blood glucose levels. Although the results are not yet as accurate as conventional devices, the system has potential for further development through data expansion, improved signal processing, and the application of more advanced analytical methods to enhance accuracy.*

Keywords*: MAX30102, non-invasive, blood glucose level, optical sensor.*

1. Pendahuluan

Diabetes melitus merupakan penyakit kronis yang telah menjadi salah satu masalah kesehatan global dengan dampak yang luas terhadap kualitas hidup penderitanya. International Diabetes Federation (IDF) pada tahun 2021 melaporkan bahwa sekitar 537 juta orang dewasa di seluruh dunia diperkirakan hidup dengan diabetes, dan jumlah tersebut terus meningkat setiap tahunnya [1]. Kondisi ini sejalan dengan hasil Riset Kesehatan Dasar (Riskesdas) tahun 2018 yang menunjukkan prevalensi diabetes melitus nasional berdasarkan diagnosis dokter sebesar 2,0%, sedangkan berdasarkan hasil pemeriksaan darah tercatat sebesar 10,9% pada penduduk usia 15 tahun ke atas [2]. Peningkatan prevalensi ini juga ditegaskan oleh Hirsch et al. (2024) yang menyatakan bahwa tren kenaikan kasus diabetes terjadi secara signifikan di berbagai negara, sehingga menuntut adanya metode pemantauan kadar glukosa yang lebih praktis, mudah diakses, dan dapat dilakukan secara rutin oleh pasien [3].

Metode pemantauan kadar glukosa yang umum digunakan hingga saat ini masih didominasi oleh teknik invasif, yaitu pengambilan sampel darah melalui tusukan jarum pada jari atau lengan. Teknik ini meskipun akurat, sering kali menimbulkan ketidaknyamanan bagi pasien, terutama karena harus dilakukan berulang kali dalam satu hari [4]. Ketidaknyamanan tersebut mendorong berbagai penelitian untuk mengembangkan metode pemantauan glukosa darah yang bersifat non-invasif dengan memanfaatkan teknologi sensor berbasis cahaya atau pendekatan lain yang tidak memerlukan pengambilan sampel darah secara langsung.

Sebagai alternatif dari metode invasif, berbagai penelitian terkini mulai mengembangkan pendekatan non-invasif dalam mengukur kadar glukosa darah, salah satunya melalui pemanfaatan teknologi optik dengan prinsip Near-Infrared Spectroscopy (NIRS). Prinsip kerja dari teknologi ini adalah mendeteksi perubahan konsentrasi glukosa melalui pola penyerapan spektrum cahaya inframerah yang terjadi ketika cahaya menembus jaringan tubuh [5]. Berbagai studi telah menunjukkan bahwa penggunaan panjang gelombang tertentu pada spektrum inframerah memiliki potensi yang besar untuk diaplikasikan dalam pemantauan kadar glukosa secara non-invasif, karena memungkinkan deteksi yang cepat dan praktis tanpa harus melalui proses pengambilan sampel darah [6].

Dalam konteks ini, penggunaan sensor optik seperti MAX30102 menjadi salah satu pilihan yang banyak dimanfaatkan karena memiliki kemampuan untuk membaca variasi absorbansi cahaya pada jaringan tubuh manusia [7]. Sensor ini dirancang untuk bekerja menggunakan dua panjang gelombang utama, yaitu cahaya merah dengan panjang gelombang 660 nm dan cahaya inframerah dengan panjang gelombang 880 nm, yang dinilai efektif dalam mendeteksi perubahan karakteristik jaringan yang berhubungan dengan konsentrasi glukosa dalam darah. Kombinasi kedua panjang gelombang tersebut berperan penting dalam meningkatkan akurasi estimasi kadar glukosa darah melalui pendekatan non-invasif.

Meski demikian, pengembangan metode non-invasif tidak lepas dari sejumlah tantangan, terutama dalam hal akurasi hasil pengukuran. Berbagai faktor fisiologis, seperti suhu permukaan kulit, ketebalan jaringan, hingga variasi sirkulasi darah lokal, dapat memengaruhi kestabilan dan keakuratan data yang diperoleh [8]. Hal ini menunjukkan bahwa diperlukan strategi lanjutan untuk memperkuat validitas serta meningkatkan korelasi antara sinyal optik yang terekam oleh sensor dengan kadar glukosa darah yang sebenarnya.

Selain kendala fisiologis, keterbatasan perangkat keras juga menjadi aspek yang tidak bisa diabaikan. Salah satunya adalah variasi panjang gelombang inframerah yang umumnya tersedia di pasaran dalam jumlah terbatas. Beberapa studi terbaru mengindikasikan bahwa penggunaan kombinasi beberapa panjang gelombang secara bersamaan dapat membantu meningkatkan akurasi prediksi kadar glukosa darah [9]. Dengan demikian, pemilihan jenis sensor dan pengembangan teknologi optik yang lebih adaptif menjadi sangat penting dalam mendukung keberhasilan metode non-invasif.

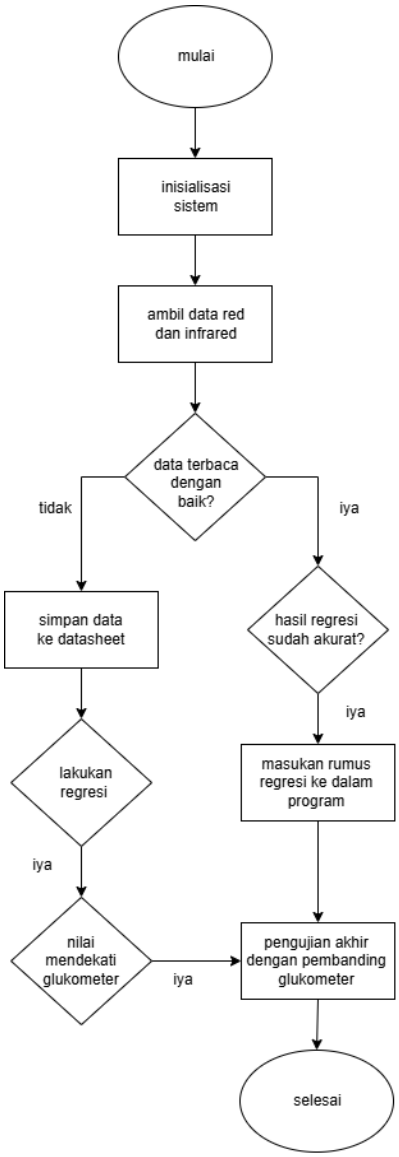
Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini difokuskan pada perancangan sistem pengukuran kadar gula darah non-invasif dengan memanfaatkan sensor MAX30102. Penelitian ini tidak hanya menitikberatkan pada pemanfaatan sensor sebagai alat pengukur, tetapi juga mengevaluasi sejauh mana variasi panjang gelombang cahaya yang digunakan dapat memengaruhi akurasi estimasi kadar glukosa. Harapannya, penelitian ini dapat mendorong pengembangan teknologi kesehatan yang lebih nyaman digunakan, memiliki akurasi yang lebih tinggi, serta terjangkau oleh masyarakat luas [10].

2. Metode Penelitian

Metode penelitian ini menjelaskan tahapan kerja sistem pengukuran kadar gula darah non-invasif berbasis sensor MAX30102 yang menggunakan pendekatan regresi machine learning.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Alur kerja sistem ditunjukkan pada Gambar 1 yang menggambarkan proses dari inisialisasi perangkat hingga tahap pengujian akhir dengan glukometer sebagai pembanding.

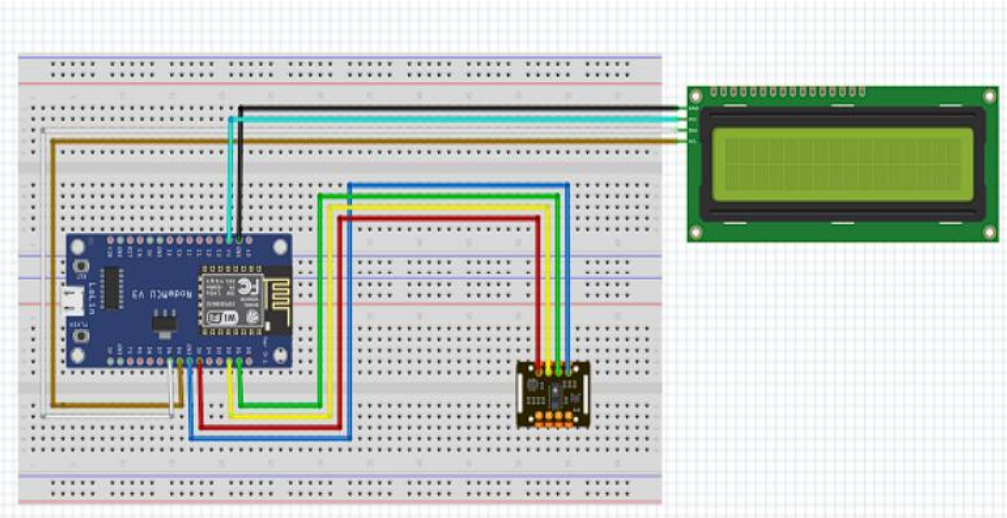


Gambar 1 Flowchart sistem pengukuran gula darah non-invasif

Proses penelitian diawali dengan inisialisasi mikrokontroler dan sensor MAX30102. Tahap ini dilakukan untuk menyiapkan sistem agar mampu membaca sinyal cahaya red dan infrared secara optimal. Setelah sistem aktif, sensor mulai mengambil data dari permukaan kulit untuk memperoleh intensitas pantulan cahaya yang mempresentasikan karakteristik darah pengguna. Data hasil pembacaan diperiksa terlebih dahulu untuk memastikan bahwa hasil yang diperoleh valid. Jika data belum terbaca dengan baik, sistem akan mengulangi proses pengambilan hingga mendapatkan data yang sesuai. Data yang valid kemudian disimpan ke dalam dataset sebagai bahan untuk proses pelatihan model regresi. Hasil proses regresi kemudian diuji untuk mengetahui tingkat akurasi model. Jika model belum memberikan hasil yang akurat, maka dilakukan penambahan data atau mencoba model machine learning lain. Setelah model regresi mencapai tingkat akurasi yang baik, rumus regresi dimasukkan ke dalam program sistem agar perangkat dapat menghitung estimasi kadar gula darah secara otomatis berdasarkan sinyal yang diterima dari sensor. Tahap selanjutnya adalah pengujian akhir, di mana hasil estimasi dari sistem

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

dibandingkan dengan nilai kadar gula darah dari glukometer. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana sistem mampu mendeteksi kadar gula darah dengan hasil yang mendekati nilai sebenarnya. Jika perbedaan hasil masih signifikan, maka dilakukan evaluasi ulang terhadap model regresi. Namun, jika hasil sistem sudah mendekati nilai glukometer, maka sistem dianggap bekerja dengan baik dan proses penelitian dinyatakann selesai.



Gambar 2 Rangkaian sistem

Rangkaian sistem terdiri dari mikrokontroler ESP32, sensor MAX30102, dan LCD. Sensor membaca sinyal cahaya merah dan inframerah dari kulit menembus jaringan kemudian dipantulkan kembali dan dikonversi menjadi sinyal digital oleh mikrokontroler. Hasil yang terlihat nanti nilai red dan infrared, nilai itulah yang akan di regresi untuk membuat rumus prediksi dan dimasukan ke dalam program ketika sudah akurat dengan pembanding glukometer.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian dilakukan untuk memastikan sistem yang dirancang dapat berfungsi dengan baik dalam mengukur kadar glukosa darah secara non-invasif. Sensor MAX30102 digunakan untuk mendeteksi perubahan intensitas cahaya merah (660 nm) dan inframerah (880 nm) yang melewati jaringan jari pengguna. Nilai sinyal yang dihasilkan dari sensor kemudian dibaca oleh mikrokontroler dan ditampilkan secara real time pada lcd. Selain itu, sistem juga dirancang agar data hasil pengukurran dapat dikirim ke platform digital untuk mendukung proses pemantauan dan analisis lebih lanjut. Proses pengujian dilakukan dengna mengambil beberapa data dari subjek yang diukur menggunakan sistem non-invasif ini dan alat glukometer sebagai pembanding.

Tabel 1 Hasil Pengukuran Awal

No	Nilai Red	Nilai Infrared	Gula Darah (mg/dL)
1.	20661	27885	108
2.	21368	30071	107
3.	21406	30055	109
4.	21360	30061	107
5.	21244	29822	108
6.	21222	29904	109
7.	21318	30239	108
8.	21489	30569	108

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

No	Nilai Red	Nilai Infrared	Gula Darah (mg/dL)
9.	21504	30809	107
10.	21336	30359	109

Data pada tabel merupakan sebagian kecil dari 500 data pengukuran. Nilai sinyal red dan infrared menunjukkan hasil pembacaan optik dari sensor MAX30102, sedangkan nilai glukometer digunakan sebagai acuan dalam proses analisis regresi. Berdasarkan data yang diperoleh, terlihat bahwa terdapat variasi nilai sinyal red dan infrared yang sebanding dengan perubahan kadar gula darah yang terukur menggunakan glukometer. Data ini selanjutnya digunakan untuk pelatihan dan pengujian model regresi dalam upaya menghasilkan persamaan prediksi kadar gula darah non-invasif yang mendekati hasil glukometer. Nilai red dan infrared yang diperoleh dari sensor kemudian dianalisis menggunakan metode regresi linear untuk melihat hubungan antara intensitas cahaya dengan kadar glukosa darah. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh persamaan regresi linear sebagai berikut:

$$y = 99.0813 + (0.0002 \text{ x red}) + (0.0000 \text{ x infrared})$$

Rumus diatas yang akan dimasukkan pada program jika hasilnya sudah bagus. Pada persamaan tersebut, nilai 99.0813 menunjukkan perkiraan kadar glukosa dasar ketika sinyal cahaya merah dan inframerah berada pada nilai paling rendah. Koefisien 0.0002 pada cahaya merah berarti setiap kenaikan sinyal merah sedikit meningkatkan nilai kadar glukosa darah. Hal ini menunjukkan bahwa sinyal cahaya merah memiliki pengaruh yang lebih besar dibandingkan dengan cahaya inframerah. Sedangkan koefisien 0.0000 pada cahaya inframerah menunjukkan pengaruhnya sangat kecil terhadap perubahan kadar glukosa darah. Hal ini bisa disebabkan oleh sifat cahaya inframerah yang menembus jaringan lebih dalam, sehingga sinyal yang diterima tidak secara langsung menggambarkan perubahan kadar glukosa. Nilai R^2 sebesar 0,019 menunjukkan bahwa hubungan antara sinyal optik dan kadar glukosa darah masih lemah. Faktor penyebabnya bisa karena jumlah data yang masih sedikit, adanya noise pada sensor, perbedaan tekanan jari saat pengukuran, dan variasi kondisi pengguna. Meskipun begitu, sistem sudah mampu bekerja dengan baik dan menampilkan perubahan sinyal yang sesuai dengan kondisi pengukuran. Hal ini menjadi dasar untuk mengembangkan penelitian selanjutnya, seperti menambah jumlah data uji, memperbaiki proses pengolahan sinyal, dan menggunakan metode analisis yang lebih baik agar sistem dapat memberikan hasil pengukuran kadar glukosa darah yang lebih akurat.

4. Kesimpulan

Pada makalah ini telah diusulkan sebuah sistem pengukuran kadar glukosa darah secara non-invasif berbasis sensor optik MAX30102. Metode yang diusulkan menggunakan prinsip penyerapan cahaya merah (660 nm) dan inframerah (880 nm) yang dilewatkan melalui jaringan jari pengguna untuk mendeteksi perubahan intensitas cahaya yang dipantulkan oleh aliran darah. Sensor MAX30102 digunakan sebagai komponen utama pendeteksi sinyal optik yang merepresentasikan kadar glukosa darah pada pengguna. Sebagai unit pemroses data, digunakan mikrokontroler yang berfungsi membaca keluaran sinyal dari sensor, kemudian menampilkan hasil pengukuran secara real-time pada layar penampil. Sistem ini juga dirancang agar hasil pengukuran dapat dipantau melalui perangkat digital untuk mendukung proses analisis data lebih lanjut. Sinyal cahaya merah dan inframerah yang diperoleh dari sensor kemudian akan digunakan sebagai data utama dalam analisis hubungan antara intensitas cahaya dan kadar glukosa darah.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Referensi

[1] International Diabetes Federation, "IDF Diabetes Atlas 10th Edition," Brussels, 2021.

[2] Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, "Laporan Nasional Riset Kesehatan Dasar (Riskesdas) 2018," Jakarta, 2018.

[3] I. B. Hirsch, A. Tirosh, and A. Navon, "Noninvasive Real-Time Glucose Monitoring Is in the Near Future," *Diabetes Technol Ther*, vol. 26, no. 9, pp. 661–666, Sep. 2024, doi: 10.1089/dia.2024.0009.

[4] J. Wu, Y. Liu, H. Yin, and M. Guo, "Review Article A new generation of sensors for non-invasive blood glucose monitoring," 2023. [Online]. Available: www.ajtr.org

[5] J. L. C. Perez *et al.*, "Fiber optic sensors: A review for glucose measurement," Mar. 01, 2021, *MDPI*. doi: 10.3390/bios11030061.

[6] S. Ali *et al.*, "Development and Evaluation of a Sensor-Based Non-Invasive Blood Glucose Monitoring System Using Near-Infrared Spectroscopy †," *Engineering Proceedings*, vol. 82, no. 1, 2024, doi: 10.3390/ecsa-11-20395.

[7] A. Hina and W. Saadeh, "Noninvasive Blood Glucose Monitoring Systems Using Near-Infrared Technology—A Review," Jul. 01, 2022, *MDPI*. doi: 10.3390/s22134855.

[8] A. Kandwal *et al.*, "A comprehensive review on electromagnetic wave based non-invasive glucose monitoring in microwave frequencies," Sep. 30, 2024, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e37825.

[9] M. Shokrekhodaei, D. P. Cistola, R. C. Roberts, and S. Quinones, "Non-Invasive Glucose Monitoring Using Optical Sensor and Machine Learning Techniques for Diabetes Applications," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 73029–73045, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3079182.

[10] Mr. K. G. Mr. C. S. Dr. R. Athilingam, "A Review on Non-Invasive Technology for Monitoring Blood Glucose in the Management of Diabetes," *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 2024, doi: https://www.doi.org/10.56726/IRJMETS60492.

[11] "MAX30102--High-Sensitivity Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor for Wearable Health." [Online]. Available: www.maximintegrated.com

[12] J. Wu, Y. Liu, H. Yin, and M. Guo, "Review Article A new generation of sensors for non-invasive blood glucose monitoring," 2023. [Online]. Available: www.ajtr.org

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

ID: 16

Purwarupa Alat Terapi Stroke untuk Penguatan Otot Fleksor Karpi Radialis Berbasis Handcycling

Prototype of a Stroke Therapy Device for Strengthening the Radial Wrist Flexor Muscles Based on Handcycling

Latifa Dewi N F[1], Dodi Zulherman[2], Mas Aly Afandi[3*]
[1,2]Program Studi S1 Teknik Biomedis Kampus Purwokerto, Universitas Telkom
[3]Program Studi S1 Teknik Telekomunikasi Kampus Purwokerto, Universitas Telkom
Jl. D.I. Panjaitan No. 128 Purwokerto, Jawa Tengah
latifadewinf@student.telkomuniversity.ac.id[1], zulherman@telkomuniversity.ac.id[2],
alyafandi@telkomuniversity.ac.id[3]

Abstrak – *Stroke adalah isu kesehatan yang mendunia dan menjadi penyebab kecacatan, terutama pada otot flexor carpi radialis. Penyembuhan manual tradisional sering kali tidak efektif disebabkan oleh biaya yang tinggi, rasa bosan dari pasien, serta akses yang terbatas. Penelitian ini merancang dan memproduksi sebuah prototipe alat terapi stroke yang berbasis handcycling, dengan tambahan sensor Elektromiografi (EMG) untuk memonitor aktivitas otot secara langsung. Perangkat ini juga dilengkapi dengan tingkat resistansi yang bisa disesuaikan serta umpan balik suara, dibuat agar ekonomis dan mudah digunakan di rumah. Uji fungsional awal menunjukkan bahwa sensor EMG, sensor RPM, dan mekanisme pengaturan beban berfungsi dengan baik dan saling terintegrasi. Prototipe ini diharapkan dapat menjadi alternatif rehabilitasi yang lebih efektif, interaktif, dan terjangkau bagi pasien stroke.*

Kata Kunci*: Stroke, Rehabilitasi, Handcycling, Elektromiografi, Otot Fleksor Karpi Radialis.*

Abstract – *Stroke is a global health issue and a leading cause of disability, particularly in the flexor carpi radialis muscle. Traditional manual therapy is often ineffective due to high costs, patient boredom, and limited access. This study designed and produced a prototype stroke therapy device based on handcycling, with the addition of an Electromyography (EMG) sensor to directly monitor muscle activity. The device is also equipped with adjustable resistance levels and audio feedback, designed to be economical and easy to use at home. Initial functional tests show that the EMG sensor, RPM sensor, and load adjustment mechanism function well and are fully integrated. This prototype is expected to be a more effective, interactive, and affordable rehabilitation alternative for stroke patients.*

Keywords*: Stroke, Rehabilitation, Handcycling, Electromyography, Radial Wrist Flexor Muscles.*

1. Pendahuluan

Stroke adalah masalah kesehatan utama baik di Indonesia maupun di seluruh dunia. Penyakit ini membunuh sekitar 11% orang di seluruh dunia dan menyebabkan lebih dari 200.000 kasus baru setiap tahun di Indonesia. Biasanya menyerang orang lanjut usia dan orang-orang di usia produktif [1], [2]. Pemerintah Indonesia mendorong ide-ide baru dalam perawatan kesehatan yang murah untuk meningkatkan kualitas hidup rakyatnya [3]. Rehabilitasi stroke berfokus pada menggerakkan tangan lagi, terutama otot fleksor karpi radialis, yang penting untuk tugas sehari-hari [4]. Terapi manual standar seringkali kurang efektif karena pasien merasa bosan dan tidak memiliki akses mudah, terutama di daerah pedesaan di mana peralatan impor mahal dan tidak ada cukup terapis [2], [5], [6]. Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) memprediksi bahwa jumlah kasus stroke akan berlipat ganda pada tahun 2030, yang berarti solusi rehabilitasi perlu lebih efektif [1], [5].

Orang-orang telah mencoba berbagai hal, seperti terapi realitas virtual (VR) [7] atau alat resistansi magnetik [8], tetapi seringkali terlalu mahal atau tidak berguna. Studi ini menyajikan prototipe alat terapi berbasis handcycling yang lebih menyenangkan dan dapat disesuaikan, terbukti meningkatkan motivasi hingga 70%. [9]. Satu hal baik tentang solusi ini adalah bahwa ia menggunakan bahan lokal yang lebih murah dan lebih mudah dibuat. Inovasi ilmiah ini terdiri dari alat handcycling sederhana yang menargetkan otot flexor carpi radialis, diintegrasikan dengan sensor Elektromiografi (EMG) untuk pemantauan waktu nyata, resistansi yang dapat disesuaikan, dan umpan balik pendengaran untuk penggunaan otonom di rumah [10]. Alat ini kecil, biaya pembuatannya kurang dari Rp 5 juta, dan dikendalikan oleh Arduino. Lebih berguna di daerah terpencil dan lebih interaktif daripada alat pasif, yang dapat mengurangi cacat sebesar 25–40%. [7], [8]. Ini adalah peningkatan dari studi handcycling sebelumnya [11], [12] dengan perubahan yang dibuat untuk pasien stroke di Indonesia dan desain yang lebih ringan.

Berdasarkan masalah-masalah ini, penelitian ini mengidentifikasi dua isu utama: 1) Bagaimana proses desain dan struktur perangkat rehabilitasi stroke berbasis handcycling yang menggabungkan sensor EMG untuk memantau otot flexor carpi radialis, serta fase pengembangan sistem mekanik dan elektronik? 2) Bagaimana mekanisme pengaturan beban bekerja ketika menerima sinyal EMG dari otot fleksor karpi radialis, dan bagaimana kemampuan sistem untuk mengubah resistansi dengan tangan untuk memenuhi kebutuhan terapi diuji? Hipotesis ini menyatakan bahwa prototipe perangkat handcycling dasar ini, yang dilengkapi dengan resistansi roda gigi mekanis, dapat secara efisien meningkatkan otot fleksor karpi radial pada pasien stroke, sehingga mengatasi keterbatasan biaya, monotonitas, dan aksesibilitas yang terkait dengan terapi tradisional. Tujuan dari penelitian ini adalah 1) untuk membuat dan membangun alat rehabilitasi stroke berbasis handcycling dengan sensor EMG untuk memantau otot flexor carpi radialis, dan 2) untuk mendeskripsikan langkah-langkah yang terlibat dalam membangun sistem mekanik dan elektroniknya. 2) Mengevaluasi dan mengkonfirmasi efektivitas mekanisme pengaturan beban pada perangkat terkait dengan aktivitas otot fleksor karpi radialis melalui sinyal EMG, mencakup kemampuan sistem untuk menyesuaikan resistansi secara manual berdasarkan kebutuhan terapi. Studi ini bertujuan untuk memberikan solusi rehabilitasi stroke yang efisien dan hemat biaya, mendukung tujuan kesehatan global, dan meningkatkan otonomi pasien.

2. Metode Penelitian

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah membaca tentang handcycling, sensor elektromiografi (EMG), dan cara membuat alat terapi stroke yang akan membantu memperkuat otot flexor carpi radialis (FCR).

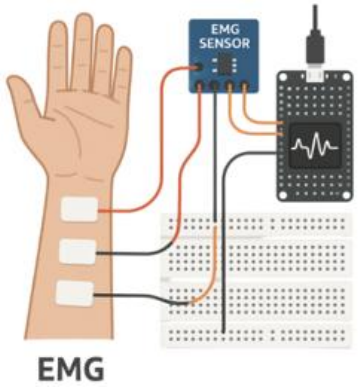


Gambar 2.1 Diagram Metode Penelitian

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

2.1. Perancangan Sistem

Alat handcycling ini dilengkapi dengan desain ergonomis yang dilengkapi dengan pegangan yang nyaman dan pengaturan resistensi manual pada lima tingkat beban putaran. Komponen sensor Elektromiografi (EMG) digunakan untuk pemantauan real-time aktivasi otot fleksor karpi radialis, sensor RPM unntuk mengukur putaran pedal, dan mikrokontroler Arduino Uno R3 yang berfungsi sebagai unit kontrol pusat. Arduino Uno memproses sinyal analog dari sensor EMG secara langsung tanpa pendukung ADC tambahan.



Gambar 2.2 Perancangan Sistem EMG



Gambar 2.3 Perancangan Sistem Handcycling

2.2. Alur Kerja Sistem

Perangkat ini dimulai dengan mengukur aktivitas otot dasar menggunakan sensor EMG sebelum terapi bersepeda tangan pasien. Selama sesi terapi, sensor EMG dan RPM merekam aktivitas otot dan kecepatan putaran pedal secara real-time, dengan data ditampilkan melalui monitor serial di komputer. Jika kecepatan putaran pedal melebihi ambang batas yang ditentukan, perangkat akan memicu alarm sebagai tindakan pencegahan. Setelah sesi selesai, pengukuran aktivitas otot diulang menggunakan sensor EMG untuk menilai perubahan yang terjadi akibat terapi.

2.3. Pengambilan Data

Data dikumpulkan dari sepuluh peserta penelitian (5 pasien stroke dan 5 individu sehat). Semua peserta menjalani terapi dengan menggunakan lima tingkat resistansi manual pada perangkat handcycling. Data aktivitas listrik dari otot flexor carpi radialis diperoleh melalui sensor EMG sebelum dan setelah terapi. Sensor RPM mencatat frekuensi putaran pedal selama sesi terapi. Semua data dikumpulkan dan direkam langsung dari output monitor serial Arduino untuk analisis lebih lanjut.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

2.4. Analisis Data

Data aktivitas EMG dianalisis untuk penilaian normalitas dan perbandingan rata-rata, termasuk uji t berpasangan dan uji Wilcoxon, untuk mengevaluasi perubahan aktivitas otot sebelum dan setelah terapi. Evaluasi dilakukan untuk membandingkan respons EMG dan RPM antara kelompok pasien stroke dan individu sehat pada setiap tingkat beban resistansi. Selain itu, kekuatan tangan dan rentang gerak dievaluasi sebagai metrik tambahan untuk menilai efektivitas terapi handcycling dalam rehabilitasi otot.

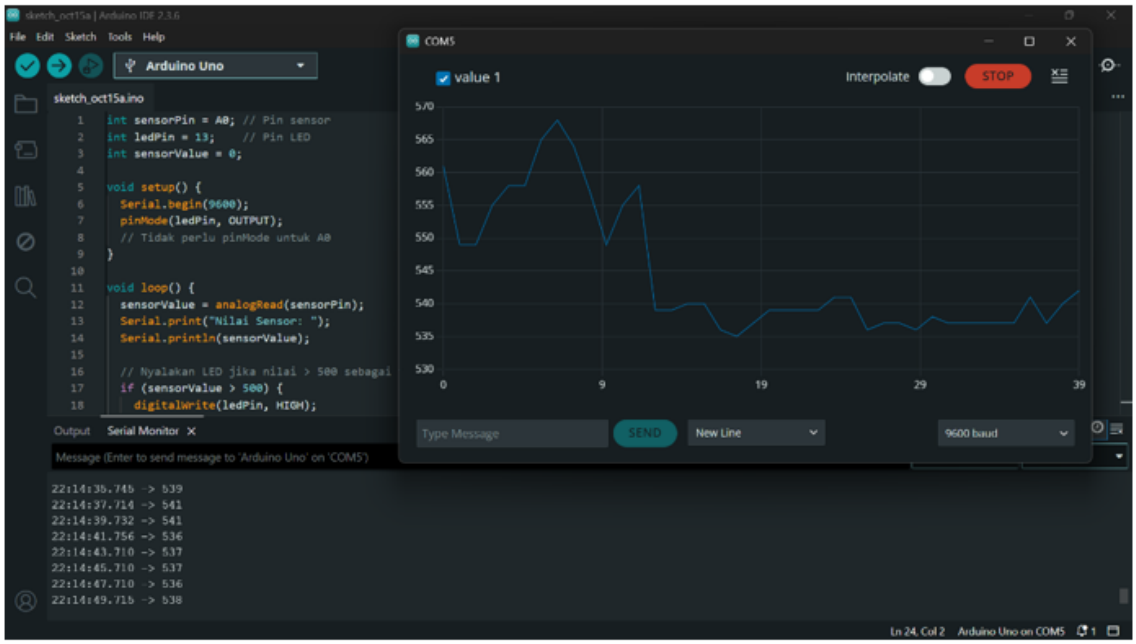
3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian dilakukan untuk memverifikasi bahwa sistem terapi stroke berbasis handcycling beroperasi sesuai dengan yang direncanakan, khususnya terkait dengan sensor elektromiografi (EMG), sensor RPM, dan mekanisme pengendalian beban. Fase pengujian ini masih bersifat awal sementara penelitian masih dalam tahap pengembangan.

3.1. Pengujian Sensor EMG

Sensor EMG dievaluasi untuk kemampuannya memantau aktivitas otot fleksor karpal radial secara real-time. Proses pengujian melibatkan pemasangan elektroda pada lokasi otot yang ditentukan, setelah itu pasien/peserta melakukan gerakan handcycling dengan beban minimal. Sinyal yang diperoleh ditampilkan pada monitor serial Arduino IDE. Hasil pengujian awal menunjukkan bahwa sensor berhasil mendeteksi variasi sinyal selama kontraksi dan relaksasi otot, sehingga memvalidasi fungsionalitasnya yang tepat.

Sensor EMG dievaluasi untuk kemampuannya memantau aktivitas otot fleksor karpal radial secara real-time. Proses pengujian melibatkan pemasangan elektroda pada lokasi otot yang ditentukan, setelah itu pasien/peserta melakukan gerakan handcycling dengan beban minimal. Sinyal yang diperoleh ditampilkan pada monitor serial Arduino IDE. Hasil pengujian awal menunjukkan bahwa sensor berhasil mendeteksi variasi sinyal selama kontraksi dan relaksasi otot, sehingga memvalidasi fungsionalitasnya yang tepat.

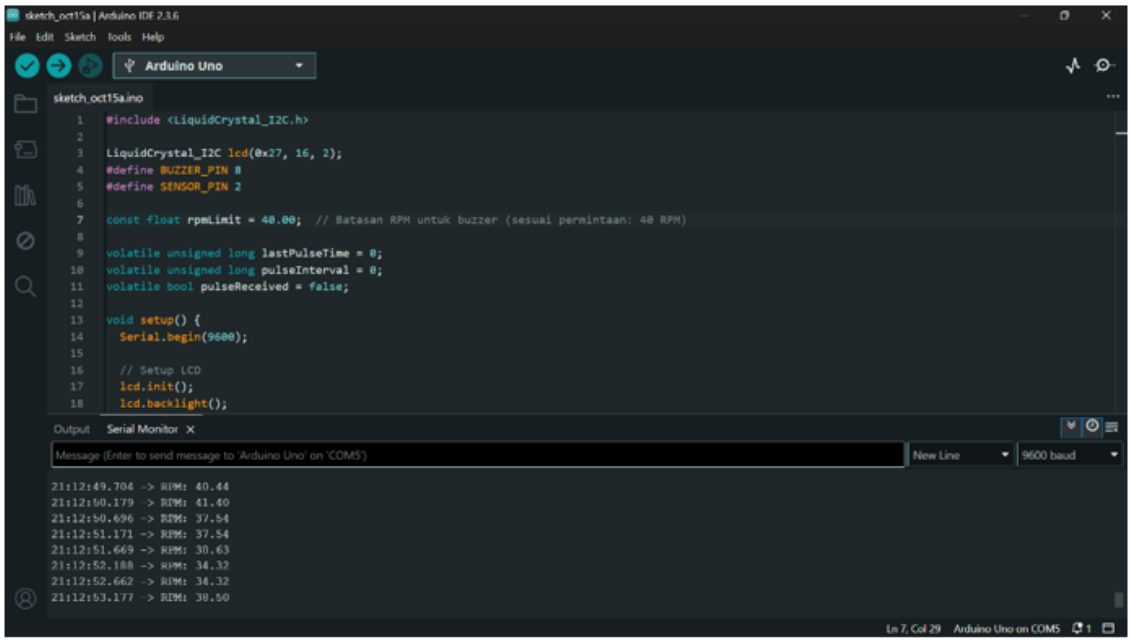


Gambar 3.1 Hasil Pengujian Awal Sensor EMG pada Arduino IDE

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

3.2. Pengujian Sensor RPM

Sensor RPM berfungsi untuk mencatat jumlah putaran pedal dalam periode waktu tertentu. Uji dilakukan dengan memutar pedal secara manual pada kecepatan rendah hingga sedang. Data RPM ditampilkan pada monitor serial, dan hasil menunjukkan bahwa sensor mampu mendeteksi setiap putaran dengan baik tanpa kehilangan informasi.



Gambar 3.2. Hasil Pengujian Awal Sensor RPM pada Arduino IDE

4. Kesimpulan

Berdasarkan kesimpulan awal yang diperoleh dari serangkaian uji coba yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa perangkat terapi stroke berbasis handcycling dan sensor EMG telah diuji fungsional. Sensor-sensor tersebut mampu menjalankan fungsi masing-masing, mekanisme beban dapat beroperasi, dan sistem dapat menampilkan data secara real-time. Yang dimana belum terdapat hasil data dan pembahasan mengenai data yang sedang di uji, hanya dalam uji fungsional saja. Dengan demikian, hal ini menunjukkan bahwa prototipe perangkat dapat digunakan dalam pengumpulan data selanjutnya pada subjek uji dan pengujian ini masih berada pada tahap awal dan masih dalam proses pengembangan.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada dosen pembimbing, rekan-rekan di Program Studi Teknik Biomedis Universitas Telkom Purwokerto, serta semua pihak yang telah memberikan dukungan, masukan, dan bantuan selama proses perancangan dan pengembangan alat terapi stroke berbasis handcycling ini.

Referensi

[1] Tim Medis Siloam Hospital, “Siloam hospitals,” Gejala & Penyakit Stroke, 2 Oktober 2024. [Online]. Available: https://www.siloamhospitals.com/informasi-siloam/gejala-dan-penyakit/stroke. [Diakses 29 April 2025].

[2] dr.Raehana, “Alomedika Khusus Untuk Dokter,” Epidemiologi Stroke, 25 Agustus 2022. [Online]. Available: https://www.alomedika.com/penyakit/neurologi/stroke/epidemiologi. [Diakses 29 April 2025].

[3] Murtafiqoh Hasanah, Abdul Gofir, Ismail Setyopranoto, "Neurorehabilitasi motorik," *Berkala Neurosains,* vol. 18, no. 2, pp. 53-54, 2019.

[4] unairnews, "Analisis Kompleksitas Sinyal Elektromiografi Berbasis Entropi Selama Fleksi Otot," Universitas Airlangga, 17 juli 2024. [Online]. Available: https://unair.ac.id/analisis-kompleksitas-sinyal-elektromiografi-berbasis-entropi-selama-fleksi-otot-flexor-carpi-radialis-dalam-kondisi-beban-bervariasi/. [Diakses 29 April 2025].

[5] Said Ryan Syareza,, Remilla Oktiasari2, Putri Madona, Elva Susianti , Muzni Sahar, "Alat Bantu Terapi Pasca Stroke Untuk Tangan," *Jurnal Politeknik Caltex Riau,* vol. 4, no. 1, p. 28, 2018.

[6] -, "Manfaat Fisioterapi untuk Pemulihan Pasca-Stroke," klinik Fisioterapi NK Health, 6 Januari 2025. [Online]. Available: https://www.nkhealth.fit/manfaat-fisioterapi-untukpemulihan-pasca-stroke/. [Diakses 29 April 2025].

[7] M. B. S. P. B. d. Daniel Bonilla, "Progressive Rehabilitation Based on EMG Gesture Classification and an MPC-Driven Exoskeleton," *bioengineering,* vol. 10, no. 770, pp. 1-2, 2023.

[8] AnaMandeljc, Aleksander Rajhard, Marko Munih and Roman Kamnik, "Robotic Device," *applied sciences,* vol. 12, no. 1092, pp. 1-2, 2022.

[9] Archana Bharti, Gandhi Karunanithi Balaji, Sahana Agrahara, "Effect of Early Bedside Arm and Leg Cycle Ergometry on Sitting and Standing ability in Hospitalized acute Stroke Patients: A Randomized Controlled Trial," *Neurology India, Neurological Society of India | Published by Wolters Kluwer - Medknow,* vol. 70, no. 5, p. 2068, 2022.

[10] Sisi Feng, Mingzhi Tang, Gan Huang, JuMei Wang, Sijin He, Duo Liu and LiHua Gu, "EMG biofeedback combined with rehabilitation training may be the best physical therapy for improving upper limb motor function and relieving pain in patients with the post stroke shoulder-hand syndrome : A Bayesian network mate-analysis," *Frontiers in Neurology,* Vol. %1 dari %2-, no. -, p. 10, 2023.

[11] Katherine M. Steele, Christina Papazian and Heather A. Feldner, "Muscle Activity After Stroke: Perspectives on Deploying Surface Electromyography in Acute Care," *Frontiers in Neurology,* Vol. %1 dari %2-, no. --, pp. 1-2, 2020.

[12] Jitka Veldema and Petra Jansen, "Resistance training in stroke rehabilitation: systematic review and meta-analysis," *Clinical Rehabilitaion,* Vol. %1 dari %2-, no. -, pp. 16-20, 2020.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

ID: 17

Purwarupa Smart Inhaler untuk Terapi Penyakit Paru Obstruktif Kronis (PPOK) Berbasis ESP32 dan Sensor Efek Hall

Smart Inhaler Prototype Based on ESP32 and Hall Effect Sensor for Chronic Obstructive Pulmonary Disease Therapeutic

Anggita Dewi Puspita[1*], Dodi Zulherman[2], Nur Afifah Zen[3]
[1]Program Studi S1 Teknik Biomedis, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom Purwokerto
[2]Dosen Teknik Biomedis [3]Dosen Teknik Telekomunikasi
anggitadewipuspita@student.telkomuniversity.ac.id[1], zulherman@telkomuniversity.ac.id[2],
nurafifahzen@telkomuniversity.ac.id[3]

Abstrak – *Tingkat kepatuhan pasien dalam penggunaan inhaler masih menjadi tantangan dalam terapi penyakit paru obstruktif kronis (PPOK). Minimnya pemantauan dan sistem pengingat berkontribusi terhadap rendahnya efektivitas terapi inhalasi. Penelitian inimerancang purwarupa smart inhaler berbasis mikrokontroler ESP32 dan sensor efek Hall untuk mendeteksi aktuasi inhaler pada pasien Penyakit Paru Obstruktif Kronis (PPOK). Data penggunaan dikirimkan ke platform Blynk untuk ditampilkan secara real-time serta memberikan notifikasi jika pasien melewatkan jadwal terapi. Sistem ini didukung baterai Lithium-Polymer dengan modul charger TP4056 untuk mobilitas. Metode penelitian meliputi perancangan perangkat keras, pemrograman firmware ESP32 dengan integrasi IoT, dan pengujian fungsionalitas alat. Hasil rancangan menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi aktivitas inhaler secara akurat dan mengirimkan data ke aplikasi pemantauan. Kesimpulannya, smart inhaler ini berpotensi meningkatkan kepatuhan pasien dalam terapi PPOK serta mempermudah pemantauan oleh tenaga medis.*

Kata Kunci*: smart inhaler, ESP32, sensor efek Hall, IoT, Blynk, terapi*

Abstract – *Patient compliance with inhaler use remains a challenge in the treatment of chronic obstructive pulmonary disease (COPD). The lack of monitoring and reminder systems contributes to the low effectiveness of inhalation therapy. This study designed a prototype smart inhaler based on an ESP32 microcontroller and Hall effect sensor to detect inhaler actuation in patients with chronic obstructive pulmonary disease (COPD). Usage data is sent to the Blynk platform to be displayed in real-time and to provide notifications if patients miss their therapy schedule. This system is supported by a Lithium-Polymer battery with a TP4056 charger module for mobility. The research methods included hardware design, ESP32 firmware programming with IoT integration, and functional testing of the device. The results showed that the system was able to accurately detect inhaler activity and send data to the monitoring application. In conclusion, this smart inhaler has the potential to improve patient compliance in COPD therapy and facilitate monitoring by medical personnel.*

Keywords: *smart inhaler, ESP32, Hall effect sensor, IoT, Blynk, therapy*

1. Pendahuluan

Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD) merupakan salah satu penyakit paru kronis yang ditandai dengan hambatan aliran udara yang progresif dan tidak sepenuhnya reversibel. Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) melaporkan bahwa COPD menjadi penyebab kematian ketiga terbanyak di dunia dengan prevalensi yang terus meningkat setiap tahunnya [1]. Di Indonesia, COPD termasuk dalam sepuluh besar penyakit penyebab kematian dengan beban biaya

kesehatan yang signifikan, terutama akibat lamanya perawatan dan tingginya angka kekambuhan [2].

Terapi inhalasi merupakan pendekatan utama dalam manajemen COPD karena efektivitasnya dalam menghantarkan obat langsung ke saluran pernapasan. Namun demikian, tingkat kepatuhan pasien terhadap penggunaan inhaler masih menjadi tantangan besar. Sejumlah penelitian melaporkan bahwa ketidakpatuhan pasien terhadap terapi inhalasi mencapai 50–80% [3], [4]. Faktor-faktor yang memengaruhi rendahnya kepatuhan tersebut antara lain kesalahan teknik penggunaan, keterbatasan pengetahuan pasien, dan ketiadaan sistem pengingat yang memadai [4]. Akibatnya, keberhasilan terapi menjadi kurang optimal dan risiko eksaserbasi meningkat.

Seiring dengan perkembangan teknologi kesehatan digital, solusi berbasis Internet of Things (IoT) mulai banyak digunakan untuk mendukung pemantauan pasien secara real-time [5]. Smart inhaler atau inhaler pintar merupakan salah satu inovasi yang diharapkan mampu meningkatkan kepatuhan pasien [6] [7] [8] dengan mencatat pola penggunaan, memberikan pengingat otomatis, serta menyediakan data yang dapat diakses tenaga medis . Beberapa penelitian internasional telah membuktikan efektivitas inhaler digital dalam meningkatkan kepatuhan, namun penelitian serupa di Indonesia masih terbatas.

Kebaruan ilmiah dari penelitian ini adalah perancangan prototipe smart inhaler berbasis mikrokontroler ESP32 [9] dan sensor efek Hall [10] yang terintegrasi dengan platform Blynk [11]. Perangkat ini dirancang untuk mendeteksi aktivitas penggunaan inhaler secara otomatis, mengirimkan data ke server berbasis cloud, dan menampilkan informasi tersebut dalam bentuk visualisasi serta notifikasi pada aplikasi pemantauan. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berfokus pada pengembangan perangkat keras dan perangkat lunak, tetapi juga pada penerapan teknologi IoT dalam meningkatkan kualitas manajemen terapi pasien COPD.

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan mengimplementasikan prototipe smart inhaler yang mampu: 1) mendeteksi aktivitas penggunaan inhaler secara akurat; 2) mengirimkan data pemakaian ke platform IoT secara real-time; dan 3) memberikan notifikasi pengingat bagi pasien serta akses pemantauan jarak jauh bagi tenaga medis. Dengan adanya sistem ini, diharapkan kepatuhan pasien terhadap terapi inhalasi dapat meningkat sehingga efektivitas pengobatan COPD dapat lebih optimal.

2. Metode Penelitian

Secara sistematis pada bab iniakan menjelaskan metode yang digunakan dalam penelitian, termasuk tahapan perancangan, perakitan, dan pengujian alat terapi pintar berbasis Internet of Things (IoT). Pendekatan ini bertujuan untuk merancang sistem yang dapat memantau penggunaan inhaler oleh pasien secara real-time serta meningkatkan kepatuhan terhadap terapi inhalasi. Pendekatan ini dipilih karena sesuai untuk menghasilkan produk berupa perangkat kesehatan inovatif yang dapat diuji dan dikembangkan lebih lanjut.

2.1. Desain Penelitian

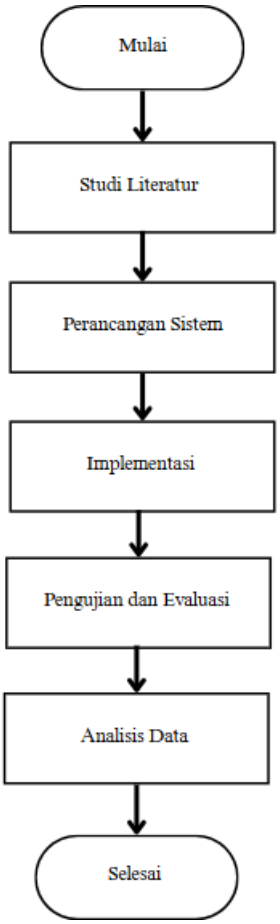
Sensor efek Hall bekerja berdasarkan perubahan medan magnet. Ketika magnet permanen yang dipasang pada aktuator inhaler mendekati sensor, terjadi pergeseran tegangan output yang dibaca oleh ESP32. Sensor memberikan sinyal digital HIGH atau LOW sesuai keberadaan medan magnet. Perubahan sinyal ini digunakan untuk mendeteksi apakah inhaler ditekan atau tidak [10].

2.2. Alur Penelitian

Penelitian ini merupakan jenis research and development (R&D) yang difokuskan pada perancangan dan pengembangan sistem alat terapi pintar. Tahapan dilakukan secara iteratif dengan pendekatan rekayasa perangkat keras dan lunak. Adapun metode yang digunakan mencakup:

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

1. Studi Literatur: Mengkaji referensi terkait *COPD*, terapi inhalasi, serta implementasi teknologi IoMT pada alat kesehatan.
2. Perancangan Sistem: Menyusun blok diagram, skematik perangkat keras, dan alur kerja perangkat lunak.
3. Implementasi Prototipe: Merakit alat menggunakan ESP32 dan sensor efek Hall, serta mengintegrasikannya dengan platform IoMT.
4. Pengujian dan Evaluasi: Melakukan uji fungsionalitas dan evaluasi performa alat dalam memantau penggunaan inhaler.
5. Analisis Data: Menganalisis data hasil pengujian menggunakan metode kuantitatif untuk mengukur efektivitas dan akurasi alat.

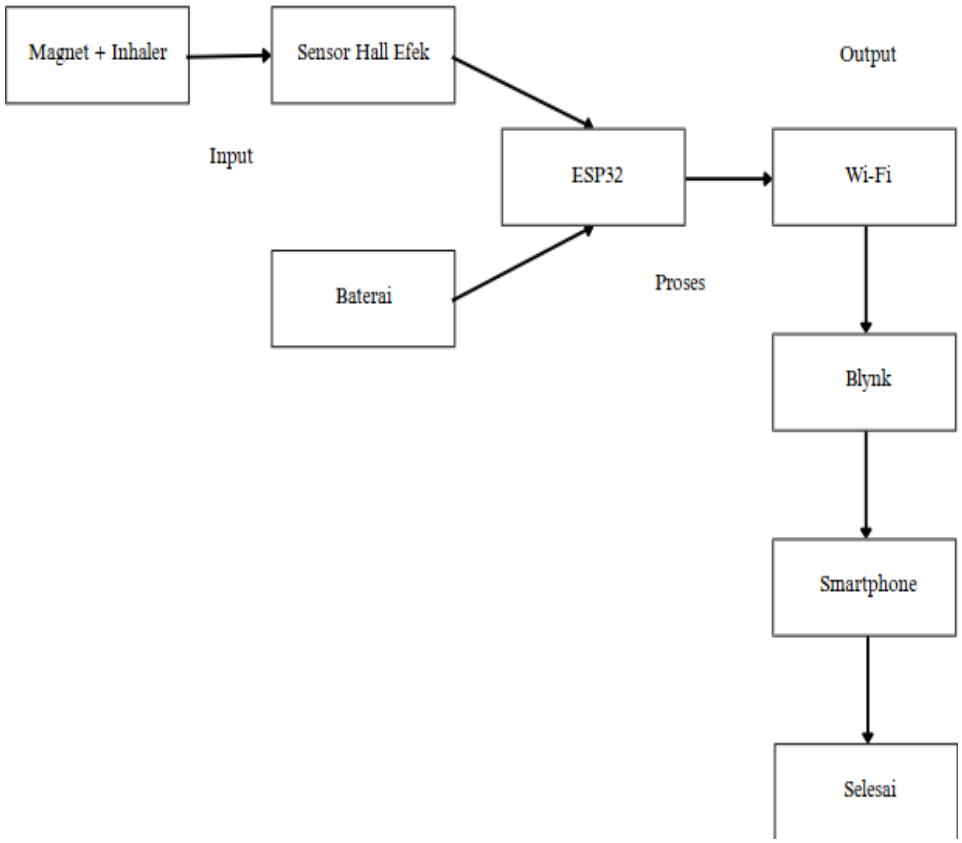


Gambar 2. 1 Flowchart Alur Penelitian

2.3. Diagram Blok Sistem

Sistem terdiri atas perangkat keras untuk mendeteksi aktivitas inhaler dan perangkat lunak untuk pemantauan data jarak jauh.Komponen utama disusun untuk mendeteksi pemakaian inhaler dan mengirimkan data melalui koneksi internet. Diagram blok sistem adalah sebagai berikut:

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 2. 2 Diagram Perancangan Blok Sistem

Sensor efek hall mendeteksi adanya aktivitas penggunaan inhaler yang kemudian mikrokontroler ESP 32 mengelola input yang diterima dari sensor dana mengirimkannya ke cloud. Modul Wi-Fi terintegrasi dalam ESP 32 untuk koneksi internet yang dimana akan digunakan untuk ”berkomunikas” dengan aplikasi Blynk yang dimana aplikasi ini akan menerima data, menampilkan notifikasi, dan menyimpan riwayat penggunaan.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa prototipe smart inhaler berbasis ESP32 dan sensor efek Hall berfungsi sesuai dengan tujuan perancangan, terutama dalam mendeteksi aktuasi inhaler, mencatat penggunaan oleh beberapa responden, serta memastikan data dapat diamati secara konsisten. Tahap pengujian ini masih bersifat awal karena perangkat masih berada dalam proses pengembangan dan penyempurnaan.

3.1. Rancangan Purwarupa (Desain dan Print 3D)

Purwarupa dirancang menggunakan casing cetak 3D yang menyesuaikan letak ESP32, sensor efek Hall, dan magnet inhaler. Desain difokuskan pada integrasi mekanik antara aktuasi inhaler dan pendeteksian sensor.

Desain sistem ini mengintegrasikan modul sensor Hall dan magnet pada struktur fisik inhaler. Sensor Hall ditempatkan secara strategis pada bagian belakang atau sisi luar perangkat yang mencakup aktuator mekanis inhaler. Sementara magnet kecil diletakkan pada bagian bergerak dari inhaler (biasanya pada tutup atau bagian yang ditekan pengguna), sehingga saat pengguna menekan inhaler (seperti yang ditunjukkan oleh panah hitam ke bawah), magnet akan bergerak mendekati sensor Hall dan mengubah pembacaan medan magnet yang terdeteksi.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Bagian yang ditandai dengan garis merah vertikal (I) dalam gambar menunjukkan area atau celah di mana pergerakan magnet relatif terhadap sensor akan terjadi. Gerakan ini menjadi penentu utama bahwa inhaler sedang digunakan. Ketika tombol inhaler ditekan:

1. Magnet mendekati sensor efek Hall, menghasilkan pembacaan medan magnet yang signifikan.
2. Sensor Hall memberikan sinyal LOW ke pin digital pada ESP32.
3. ESP32 memproses sinyal ini dan segera mengirimkan data pemakaian ke platform Blynk Cloud via jaringan Wi-Fi.
4. Data tersebut langsung ditampilkan pada aplikasi Blynk di smartphone pengguna atau tenaga medis sebagai informasi pemantauan real-time.

3.2. Pengujian Sensor Efek Hall (30 Kali Pengukuran)

Sebanyak 4–5 responden dilibatkan dalam simulasi penggunaan inhaler. Masing-masing responden melakukan aktuasi sesuai jumlah yang ditentukan, dan hasil deteksi dicatat. Pengamatan menunjukkan bahwa variasi gaya tekan dan posisi tangan tidak secara signifikan memengaruhi kemampuan sensor dalam mendeteksi. Selisih kecil hanya terjadi pada individu yang menekan dengan tekanan sangat ringan, namun sistem tetap merekam mayoritas aktivitas inhalasi secara akurat.

3.3. Pengujian Pencatatan Waktu dan Konsistensi

Selain jumlah aktuasi, waktu penggunaan dicatat secara manual sebagai pembanding terhadap urutan deteksi sensor. Hasil menunjukkan bahwa sistem mampu merepresentasikan urutan penggunaan secara konsisten berdasarkan waktu kejadian. Hal ini penting untuk mendukung integrasi data ke platform pemantauan seperti Blynk pada tahap pengembangan berikutnya.

3.4. Evaluasi Kinerja Sistem Secara Umum

Secara keseluruhan, pengujian awal menunjukkan bahwa smart inhaler mampu mendeteksi penggunaan inhaler secara fungsional melalui sensor efek Hall. Kinerja alat dinilai stabil ketika diuji pada beberapa individu dengan variasi kebiasaan penggunaan. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa sistem siap diarahkan menuju tahap integrasi dengan platform IoT, pengujian lanjutan, dan pengembangan pemberitahuan otomatis bagi pengguna.

4. Kesimpulan

Pengujian awal terhadap prototipe smart inhaler berbasis ESP32 dan sensor efek Hall menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi aktuasi inhaler secara akurat melalui pengamatan langsung terhadap 4–5 responden. Sensor bekerja secara konsisten dalam merekam setiap tekanan inhaler dan menunjukkan kesesuaian dengan hasil pengamatan manual. Variasi cara penggunaan oleh responden tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap akurasi deteksi. Selain itu, pencatatan urutan penggunaan berjalan sesuai waktu kejadian sehingga mendukung penerapan pemantauan real-time. Berdasarkan hasil ini, prototipe dinilai layak untuk dikembangkan lebih lanjut menuju integrasi dengan platform IoT dan penerapan sistem pengingat terapi.

Referensi

[1] World Health Organization, " Chronic obstructive pulmonary disease (COPD)," WHO, 2023. [Online]. Available: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/chronic-obstructive-pulmonary-disease-(copd). [Accessed 14 April 2025].

[2] Kemenkes, "Ayo Sehat Kemenkes," Kementrian Kesehatan, 9 Agustus 2018. [Online]. Available: https://ayosehat.kemkes.go.id/pedoman-umum-pengelolaan-posyandu. [Accessed 3 6 2025].

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

[3] R.D. Restrepo, M. T. Alvarez, L. D. Wittnebel, H. Sorenso, R. Wettstein,et al. , "Medication adherence in chronic obstructive pulmonary disease patients," *International Journal of COPD,* vol. 3, no. 3, pp. 371-384, 2008.

[4] C. Yin, Y. Luo, K. Shen, G. Mao, dan F. Tang, "Investigating influencing factors of medication adherence to inhalers in COPD patients: A study based on the Anderson model," vol. 1, 2024.

[5] A. Nayan, A. Dey, K. A. Haque, dan M. G. Kibria, "IoT Based Smart Inhaler for Context-Aware Service Provisioning," in *in Proc. 2nd International Conference on Advanced Information and Communication Technology (ICAICT)*, Dhaka, Bangladesh, 2020.

[6] A. H. Y. Chan et al., "Digital Inhalers for Asthma or Chronic Obstructive Pulmonary Disease," *Drugs & Therapy Perspectives,* vol. 37, no. -, p. 223–229, 2021.

[7] G. Greene, R. W. Costello, "Personalizing medicine - could the smart inhaler," *Expert Opinion On Drug Delivery,* vol. 16, no. 7, pp. 675-677, 2019.

[8] S. J. van de Hei, J. A. M. Rikkers-Mutsaerts, R. M. van den Wijngaart, et al., "Effectiveness, usability and acceptability of a smart inhaler programme in patients with asthma: protocol of the multicentre, pragmatic, open-label, cluster randomised controlled ACCEPTANCE trial," *BMJ Open Respiratory Research,* vol. 9, no. 1, 2022.

[9] Espressif Systems, ESP32 Technical Reference Manual, Espressif, 2022.

[10] M. Egerer, A. Ristolainen, L. Piho, L. Vihman, dan M. Kruusmaa, "Hall Effect Sensor-Based Low-Cost Flow Monitoring Device: Design and Validation," *IEEE SENSORS JOURNAL,* 2024.

[11] Blynk Inc., "Introduction to Blynk," Blynk Inc., 2023. [Online]. Available: https://docs.blynk.io/en. [Accessed 14 April 2025].

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

ID: 18

Sistem Seleksi Pemain Futsal Terbaik Menggunakan Metode *Simple Additive Weighting* (Studi Kasus: Klub Futsal Sridewa)

The Best Futsal Player Selection System at Sridewa Futsal Club Using the Web-Based Simple Additive Weighting Method

Dicky Wahyu Pradana[1], Winny Purbaratri [2]*, Muhammad Rizky Azwan[3]
[1,2,3]Perbanas Institute
Jl. Perbanas, Karet Kuningan, Setiabudi, Jakarta Selatan, Indonesia
1914000057@perbanas.id[1], winny.purbaratri@perbanas.id[2*], muhammad.rizky26@perbanas.id[3]
*

Abstrak - *Sistem pendukung keputusan (SPK) adalah sistem yang dirancang untuk membantu pengambilan keputusan melalui analisis pemilihan pemain futsal terbaik. Proses pemilihan pemain futsal menggunakan metode Simple Additive Weighting (SAW), dengan kriteria meliputi keterampilan, passing, stamina, shooting, dan defense. Dalam proses ini, faktor penilaian dan alternatif dibandingkan satu sama lain, menghasilkan skor yang menghasilkan pemain berkualitas berdasarkan hasil penilaian. Hal ini diharapkan dapat memberikan transparansi bagi pemain dan pelatih. Perubahan nilai bobot berguna untuk memfasilitasi pengambilan keputusan terkait permasalahan penelitian pemilihan pemain futsal, yang pada akhirnya menghasilkan pemilihan pemain terbaik.*

Kata Kunci : *Sistem Pendukung Keputusan, Pemilihan Umum, Pemain Futsal, Simple Additive Weighting.*

Abstract- *A decision support system is a system designed to assist in decision-making through analysis of the selection of the best futsal players. The futsal player selection process uses the Simple Additive Weighting (SAW) method, where criteria include skill, passing, stamina, shooting, and defense. In this process, assessment factors and alternatives are compared to each other, resulting in a score that produces quality players based on the assessment results. This is expected to provide transparency for players and coaches. Changing the weighting values is useful for facilitating decision-making related to the research problem of futsal player selection, ultimately resulting in the selection of the best players.*

Keywords : *Decision Support System, Election, Futsal Player, Simple Additive Weigthing (SAW).*

1. Pendahuluan

Futsal adalah olahraga yang mirip dengan sepak bola, tetapi dengan jumlah pemain yang lebih sedikit, yaitu lima orang. Awalnya dipopulerkan di Amerika Latin pada tahun 1930-an, kini telah menyebar ke seluruh dunia. Indonesia menempati peringkat ke-39 di dunia dan termasuk dalam tujuh besar di Asia. Futsal telah menjadi olahraga favorit di Indonesia di kalangan anak muda. Pertumbuhan futsal telah menyebabkan terbentuknya banyak klub futsal di setiap daerah, termasuk Depok. Setiap klub melakukan seleksi pemain internal untuk membangun tim yang kuat dan tangguh.

Salah satu klub futsal di Depok adalah Sridewa Futsal Club. Proses pengambilan keputusan pelatih sangat penting untuk membangun tim yang unggul. Saat ini, metode seleksi pemain konvensional masih digunakan, yang dapat menyebabkan kurangnya transparansi dalam proses seleksi. Oleh karena itu, diperlukan sistem pendukung keputusan berbasis web untuk mencapai hasil yang transparan dalam proses seleksi pemain futsal [1].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membantu tim futsal mendapatkan hasil yang transparan dan memberikan rekomendasi kepada tim futsal untuk mendapatkan hasil pemain terbaik di Sridewa Futsal Club.

2. Metode Penelitian

2.1. Metode Pengumpulan Data

Metode yang digunakan peneliti dalam melakukan analisis data terdiri dari beberapa tahap, yaitu:[2]

A. Studi Lapangan: (a) Observasi, yaitu kegiatan pengamatan untuk mengidentifikasi permasalahan dan melakukan survei untuk pengembangan sistem yang diusulkan. (b) Wawancara, yaitu kegiatan yang dilakukan untuk menentukan kebutuhan sistem yang akan dikembangkan dengan menggunakan informasi yang diperoleh dari pelatih. Kegiatan ini berupa sesi tanya jawab antara penulis dan pelatih yang berpengalaman.
B. Studi Pustaka: Tahap ini dilakukan untuk memperoleh data tertulis, baik teoritis maupun empiris, yang berkaitan dengan topik penelitian. Selain itu, peneliti melakukan studi pustaka berdasarkan pengumpulan bahan-bahan yang berkaitan dengan judul proposal penelitian melalui pembacaan buku dan situs internet, penelitian terkait penerapan sistem pendukung keputusan pemilihan pemain futsal terbaik.

2.2. Metode Analisis

Metode pengembangan sistem yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Simple Additive Weighting (SAW), yaitu penjumlahan bobot dari peringkat kinerja setiap alternatif untuk semua atribut. Metode ini memerlukan proses normalisasi matriks keputusan menjadi skala yang dapat dibandingkan dengan peringkat alternatif yang ada [3]. Berikut tabel kriteria yang digunakan dalam penelitian ini: [4]

Tabel 1. Tabel Kriteria

Code	Criteria Name
C1	Skill
C2	Passing
C3	Stamina
C4	Shooting
C5	Defense

Berikut ini adalah gambar tahapan penelitiannya:



Gambar 1. Gambar Tahapan Penelitian

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini menggunakan metode SAW (Simple Additive Weighting) yang membutuhkan data kriteria dan data alternatif. Kriteria yang digunakan adalah skill, passing, stamina, shooting, dan defense [5]. Penelitian ini menggunakan 8 alternatif untuk dijadikan subjek, menurut penulis 8 alternatif merupakan jumlah yang cukup untuk memaksimalkan keakuratan metode SAW (Simple Additive Weighting) pada penelitian ini. Alternatif tersebut antara lain: (1) A1: Wira, (2) A2: Fauzan, (3) A3: Adli, (4) A4: Irfan, (5) A5: Zaki, (6) A6: Amar, (7) A7: Anas, (8) A8: Gumi. Berikut tabel penentuan Bobot Kriteria:

Tabel 2. Kriteria Berat

Information	Skill	Passing	Stamina	Shooting	Defense
Very Good	90	90	90	90	90
Good	80	80	80	80	80
Enough	70	70	70	70	70
Bad	60	60	60	60	60

Tahapan Penelitian:

a. Tentukan bobot preferensi atau tingkat kepentingan (W) untuk setiap kriteria.
Berikut ini adalah tabel bobot preferensi untuk setiap kriteria:

Tabel 3. Bobot Preferensi

Skill	25
Passing	35
Stamina	25
Defense	10
Shooting	5

b. Buatlah tabel penilaian kecocokan untuk setiap kriteria
Tabel berikut menunjukkan hasil penelitian mengenai alternatif-alternatif tersebut:

Tabel 4. Tabel Hasil Penelitian Alternatif

Nama Pemain	Skill	Passing	Stamina	Defense	Shooting
Wira	70	70	70	60	90
Fauzan	90	80	70	70	80
Adli	80	80	70	80	80
Irfan	90	80	80	80	80
Zaki	70	80	80	60	70
Amar	80	80	60	80	90
Anas	80	90	80	80	90
Gumi	70	80	80	60	70

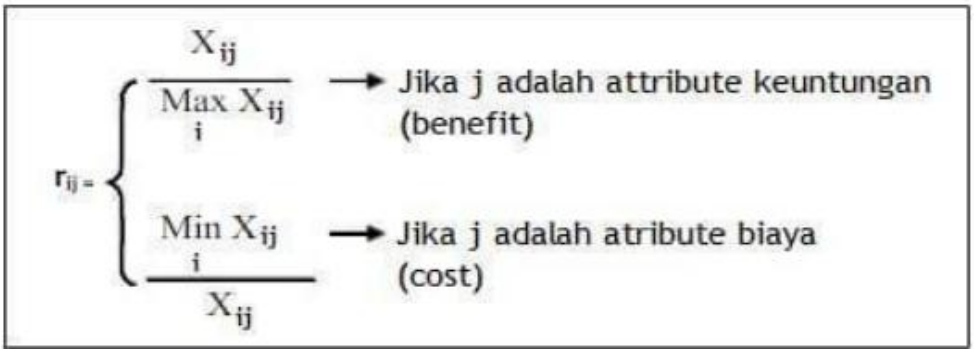
c. Buatlah matriks keputusan yang dibentuk dari tabel peringkat kesesuaian untuk setiap alternatif terhadap kriteria tersebut.
Berikut ini adalah gambar matriks Keputusan

$$X = \begin{pmatrix} 70 & 70 & 70 & 60 & 90 \\ 90 & 80 & 70 & 70 & 80 \\ 80 & 80 & 70 & 80 & 80 \\ 90 & 80 & 80 & 80 & 80 \\ 70 & 80 & 80 & 60 & 70 \\ 80 & 80 & 60 & 80 & 90 \\ 80 & 90 & 80 & 80 & 90 \\ 70 & 80 & 80 & 60 & 70 \end{pmatrix}$$

Gambar 2. Gambar Matriks Keputusan

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

d. Berikut ini adalah gambar matriks keputusand. Normalisasikan matriks keputusan dengan menghitung nilai peringkat kinerja yang dinormalisasi.
Berikut ini adalah diagram nilai peringkat kinerja yang dinormalisasi:



Gambar 3. Gambar Nilai Peringkat Kinerja yang Dinormalkan

e. Hasil penilaian kinerja yang dinormalisasi membentuk matriks yang dinormalisasi.
Berikut ini adalah gambar matriks yang dinormalisasi:

$$R = \begin{pmatrix} 0{,}777777778 & 0{,}777777778 & 0{,}875 & 0{,}75 & 1 \\ 1 & 0{,}888888889 & 0{,}875 & 0{,}875 & 0{,}888888889 \\ 0{,}888888889 & 0{,}888888889 & 0{,}875 & 1 & 0{,}888888889 \\ 1 & 0{,}888888889 & 1 & 1 & 0{,}888888889 \\ 0{,}777777778 & 0{,}888888889 & 1 & 0{,}75 & 0{,}777777778 \end{pmatrix}$$

Gambar 4. Gambar Matriks yang Dinormalisasi

f. Tentukan nilai preferensi untuk setiap alternatif dengan menambahkan hasil perkalian matriks normalisasi dan nilai bobot preferensi.
Berikut ini adalah nilai preferensi untuk setiap alternatif:

$$V_i = \sum_j^n = 1^{w_j r_{ij}}$$

A1: (25* 0,777777778) + (35*0,777777778)+ (25*0,875)+ (10*0,75)+) (5*1) =81,0416667

A2: (25*1)+(35* 0,888888889) + (25*0,875)+ (10*0,875)+ (5*0,888888889) =91,1805556

A3= (25*0,888888889) + (35*0,888888889) + (25*0,875) + (10*1)+ (5*0,888888889) =89,6527778

A4=(25*1) +(35* 0,888888889) + (25*1) +10*1+(5*0,888888889) = 95,5555556

A5=(25*0,777777778) +(35*0,888888889) + (25*1)+(10*0,75) +(5*0,777777778) = 86,9444445

A6=(25*0,888888889) +(35*0,888888889) +(25*0,75)+(10*1) +(5*1) = 87,0833333

A7=(25*0,888888889) +(35*1) +(25*1)+(10*1) +(5*1) =97,2222222

A8=(25*0,777777778) + (35*0,888888889) +(25*1) +(10*0,75) +(5*0,777777778) = 86,9444445

Gambar 5. Nilai Preferensi Gambar untuk Setiap Alternatif

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Hasil studi ini digunakan untuk memilih pemain terbaik. Kriteria yang digunakan sesuai dengan kebutuhan tim. Kriteria ini mencakup lima kriteria: keterampilan, passing, stamina, tembakan, pertahanan, dan delapan alternative [6].

Tabel berikut menyajikan hasil penelitian:

Tabel 5. Tabel Hasil Penelitian

No.	Nama Kandidat	Hasil Kandidat
1.	Wira	81.041666666666
2.	Fauzan	91.1805555555554
3.	Adli	89.6527777777774
4.	Irfan	95.5555555555554
5.	Zaki	86.9444444444439
6.	Amar	87.083333333333
7.	Anas	97.222222222222
8.	Gumi	86.944444444439

Sistem pendukung keputusan untuk pemilihan pemain futsal dikembangkan dengan menggabungkan metode Simple Additive Weighting (SAW). Tujuan utamanya adalah untuk mendapatkan Analisis Kebutuhan Pendukung Keputusan. Model sistem dapat dibuat dengan memilih pemain terbaik. Keputusan dirancang sesuai kebutuhan, memungkinkan pengembang sistem untuk mengembangkan dan menentukan sifat material yang diinginkan berdasarkan pengembangan sistem yang diharapkan [7].

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari Sistem Pendukung Keputusan menggunakan metode pembobotan aditif sederhana untuk pemilihan pemain futsal di Sridewa Futsal Club, dapat disimpulkan bahwa peneliti berhasil mengembangkan aplikasi berbasis web yang mampu menghasilkan rekomendasi pemain sesuai dengan kriteria yang telah ditentukan [8]. Penggunaan metode pembobotan aditif sederhana terbukti efektif dalam memberikan solusi, alternatif, dan rekomendasi untuk pemilihan pemain futsal [9]. Lebih lanjut, berdasarkan implementasi aplikasi berbasis web, beberapa saran dapat dibuat untuk pengembangan di masa mendatang. Sistem dapat ditingkatkan dengan menambahkan fitur yang memungkinkan akses bagi pengguna selain administrator. Selain itu, peningkatan di masa mendatang dapat mencakup fitur khusus yang dirancang untuk penjaga gawang dan implementasi sistem untuk berbagai tim futsal di luar Sridewa Futsal Club [10] [11].

Referensi

[1] Chrest Brilian Piuw ", Sistem Pendukung Keputusan Seleksi Kelayakan Atlet Bulutangkis Tingkat Nasional dengan Metode Simple Additive Weighting (SAW)", Universitas Mercu Buana , Yogyakarta, 2020

[2] Riya Darniyati ", Sistem Pendukung Keputusan Seleksi Pemain Pada Cabang Olahraga Futsal dengan Metode Profile Matching", Universitas Muhammadiyah , Magelang, 2018

[3] Henri Setiawan", Sistem Pendukung Keputusan Seleksi Pemain Mengguna Metode Profile MatchingPada Bahar Futsal", Universitas Indraprasta PGRI, Jakarta, 2022

[4] Indah Fitri Astuti ", Sistem Pendukung Keputusan Penempatan Posisi Pemain Sepak Bola DenganPenerapan Metode Simple Additive Weighting ", Universitas Mulawarman, Samarinda, 2018

[5] Moh. Sholikhudin ", Sistem Pendukung Keputusan Untuk Penetuan Posisi Ideal Pemain Futsal Menggunakan Metode Saw Berbasis Web Di Ekstrakulikuler SMK Ar-Rahmah",

Universitas NusantaraPGRI, Kediri, 2017

[6] Erma Kurniasari Nurhasanah", Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Mahasiswa Berprestasi DenganMetode Simple Additive Weighting", Sekolah Tinggi Teknologi Muhammadiyah, Cileungsi, 2020

[7] NofiHadean", Sistem Penunjang Keputusan Pelanggan Untuk Pembelian Sepatu Pada Toko SportstationMenggunakan metode SAW (simple additive weighting)", STMIK Nusa Mandiri, Jakarta, 2017

[8] Muhammad Lintang Cahyo buono ", Implementasi Sistem Pendukung Keputusan Menggunakan MetodeAnalytic Hierarchy Process Untuk Seleksi Pemain Futsal", Universitas Musamus, Merauke, 2019

[9] Setiadi,A.,Yunita,Y.,&Ningsih,A.R.(2018).Penerapan metode simple additive weighting(SAW) untukpemilihan siswa terbaik. Jurnal Sisfokom(SistemInformasidanKomputer),7(2),104-109.

[10] Priatna,W.,Nugroho,A.,&Nurjeli,N.(2019).SistemPendukungKeputusan Untuk Penentuan Dosen FavoritMenggunakan Simple Additive Weighting(SAW). Jurasik (Jurnal Riset Sistem Informasi dan Teknik Informatika), 4(1),181 190.

[11] Putri, T. N., Rifnaldi, & Surmayanti. (2019). Penggunaan Bahasa Pemrograman PHP Dan MySQLSebagai Penunjang Sistem Informasi Persediaan Dan Penjualan Secara Online. Jurnal Pendidikan Teknologi Informasi, Vol. 6 Issue 2, Hal 64-73 ISSN: 2355-9977 | E-ISSN : 2685-39144

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

ID: 19

Perancangan Sistem AutoPark dengan Integrasi Fitur Keamanan Kebakaran dan Gempa

AutoPark System Design with Integrated Fire and Earthquake Safety Features

Fawwaz Farizil Haq[1], M. Ghibran Al-Ghifari[2] , Novrindah Alvi Hasanah[3*], Muhammad Hakim Abdillah[4], Dwi Andina Putri[5], Natasya Safira Rahmadianti[6], Rahmat Enomoto[7]
[1,2,3] Teknik Elektro, UIN Maulana Malik Ibrahim Malang
[4,5,6,7] Teknik Informatika, UIN Maulana Malik Ibrahim Malang
fawwazfarizil@gmail.com[1], mghibranalghifari359@gmail.com[2], novrindah@uin-malang.ac.id[3*], abdillahadi456@gmail.com[4], dwiandina08@gmail.com[5], natasyafir15@gmail.com[6], rahmatenomoto687@gmail.com[7]

Abstrak – *Keterbatasan lahan parkir di kawasan perkotaan yang padat aktivitas menjadi tantangan utama dalam pengelolaan ruang publik. Salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah penggunaan teknologi yang memungkinkan sistem parkir beroperasi secara otomatis, efisien, dan saling terhubung. Selain aspek efisiensi, keselamatan juga menjadi faktor penting yang harus diperhatikan, terutama pada area parkir di gedung bertingkat dan ruang bawah tanah yang memiliki risiko tinggi terhadap kebakaran dan gempa bumi. Risiko tersebut dapat menimbulkan kerusakan struktural dan membahayakan pengguna jika tidak diantisipasi dengan baik. Oleh karena itu, perlu dibangun sistem Autopark yang tidak hanya berfungsi mengatur proses parkir secara otomatis, tetapi juga dilengkapi dengan mekanisme deteksi dini terhadap potensi bencana. Sistem ini memanfaatkan berbagai sensor, antara lain servo SG90, sensor getar SW-420, sensor gas MQ-6, sensor api KY-026, sensor IR Proximity, sensor ultrasonik HC-SR04, serta Arduino Mega 2560 sebagai pusat kendali mikrokontroler. Berdasarkan hasil pengujian, sistem mampu bekerja secara efektif dan efisien dalam meningkatkan keamanan serta pengelolaan area parkir. Selain itu, sistem juga terbukti dapat mendeteksi potensi bahaya kebakaran dan getaran gempa secara cepat dan akurat, sehingga mampu memberikan peringatan dini kepada pengguna.*

Kata Kunci*: autopark, keamanan, deteksi kebakaran, deteksi gempa*

Abstract – *The limited availability of parking spaces in densely populated urban areas poses a major challenge in managing public spaces. One potential solution is the use of technology, which enables parking systems to operate automatically, efficiently, and in an interconnected manner. In addition to efficiency, safety is also a crucial factor to consider, especially in multi-story and underground parking areas that are highly susceptible to fire and earthquakes. These risks can cause structural damage and endanger users if not properly anticipated. To address these challenges, an AutoPark system was developed—not only to automate the parking process but also to include an early detection mechanism for potential hazards. This system integrates several sensors, including the Servo SG90, SW-420 vibration sensor, MQ-6 gas sensor, KY-026 flame sensor, IR proximity sensor, HC-SR04 ultrasonic sensor, and the Arduino Mega 2560 as the main microcontroller unit. Based on the test results, the system operates effectively and efficiently in enhancing both safety and parking management. Moreover, it has proven capable of detecting potential fire and earthquake hazards quickly and accurately, thereby providing early warnings to users.*

Keywords*: autopark, safety, fire detection, earthquake detection*

1. Pendahuluan

Kemajuan teknologi otomasi telah berkembang pesat serta memberikan dampak signifikan dalam berbagai aspek kehidupan manusia, termasuk pada bidang transportasi dan manajemen parkir. Keterbatasan lahan parkir yang semakin sempit menjadi tantangan utama di kawasan perkotaan yang padat aktivitas. Permasalahan tersebut dapat diatasi melalui penerapan teknologi berbasis IoT [1], yang memungkinkan sistem parkir beroperasi secara otomatis, efisien, dan terintegrasi, sehingga mampu meningkatkan kenyamanan dan efektivitas.

Meskipun sistem *autopark* modern telah mampu meningkatkan efisiensi dan kenyamanan pengguna, sebagian besar sistem yang ada masih berfokus pada aspek otomatisasi pergerakan kendaraan tanpa mempertimbangkan faktor keselamatan [2] yang memadai terhadap kondisi darurat seperti kebakaran dan gempa bumi. Aspek keselamatan merupakan faktor utama yang harus diperhatikan, terutama pada area parkir di gedung bertingkat atau ruang bawah tanah yang banyak terdapat di kawasan perkotaan saat ini. Area tersebut memiliki risiko tinggi terhadap kebakaran dan gempa bumi yang dapat menyebabkan kerusakan struktural. Oleh karena itu, diperlukan sistem parkir otomatis yang tidak hanya efisien, tetapi juga dilengkapi dengan mekanisme keamanan terhadap potensi bencana.

Kejadian kebakaran di area parkir umumnya disebabkan oleh faktor kelalaian manusia, seperti penggunaan perangkat listrik yang tidak sesuai standar, hingga kebocoan bahan bakar [3][4]. Di sisi lain, frekuensi gempa bumi yang tinggi di Indonesia juga menjadi ancaman serius yang berpotensi merusak struktur bangunan parkir dan membahayakan keselamatan pengguna. Sebagai negara yang berada di jalur cincin api pasifik, Indonesia menjadi negara dengan risiko gempa bumi cukup tinggi.

Integrasi sensor api dan sensor getaran diharapkan dapat memebrikan kemampuan deteksi dini adanya bencana yang mungkin terjadi pada area parkir. Hal tersebut diharapkan dapat meminimalisir jatuhnya korban saat sensor memberikan peringatan bencana. Sehingga, selain efisiensi aspek otomatisasi pergerakan, area parkir juga akan didukung aspek keselamatan dan mitigasi risiko di lingkungan parkir modern.

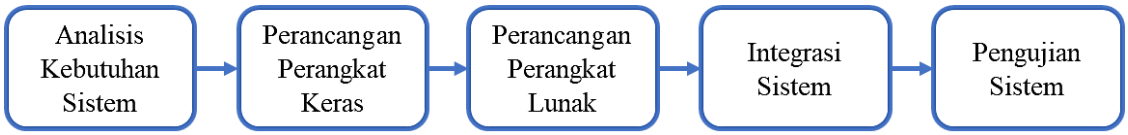
Perkembangan teknologi di bidang otomasi, sensor, dan sistem tertanam telah mendorong terciptanya sistem parkir cerdas yang berperan penting dalam mendukung terwujudnya *smart city* [5][6]. Inovasi ini menjadi salah satu elemen kunci dalam upaya berbagai negara untuk membangun kota yang efisien, aman, dan berkelanjutan melalui penerapan teknologi modern [7]. Mikrokontroler modern seperti Arduino, ESP32, dan Raspberry Pi mampu mengintegrasikan berbagai jenis sensor dengan tingkat akurasi yang tinggi. Kemampuan ini memungkinkan penerapan sistem kendali yang lebih efisien dan responsif terhadap kondisi lingkungan. Sejumlah penelitian juga menunjukkan bahwa penggunaan mikrokontroler modern tidak hanya meningkatkan efisiensi kerja, tetapi juga tetap menjaga aspek keselamatan dan keandalan sistem secara optimal. Penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa kombinasi antara mikrokontroler, sensor, dan teknologi IoT yang tekah berkembang menjadikan sistem parkir cerdas dapat melakukan deteksi, analisis, dan respon terhadap kondisi lingkungan secara mandiri. Misalnya, penelitian [8] yang menggunakan arduino sebagai mikrokontroler yang diintegrasikan dengan beberapa sensor untuk mendesain parkir otomatis menggunakan sensor PIR dan sensor servo motor. Penelitian selanjutnya [9] menunjukkan bahwa sensor ultrasonik dapat diaplikasikan pada sistem parkir cerdas dengan mendeteksi zona hijau untuk mengetahui apakah mobil siap mundur atau tidak. Sedangkan, pada area kampus, sebuah penelitian [10] menunjukkan bahwa sistem parkir otomatis sukses dikembangkan berdasarkan permasalahan parkir pada area kampus dengan menerapkan berbagai teknologi seperti *Internet of Things, Machine Learning*, dan aplikasi seluler. Kemudian penelitian lain [11] menunjukkan bahwa integrasi sensor PIR dan getar juga dapat dimanfaatkan untuk mencegah pencurian mobil.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Berdasarkan beberapa permasalahan yang telah disebutkan, serta penelitian terdahulu maka penelitian ini berfokus pada rancang bangun sistem *autopark* berbasis sensor api dan gempa yang mampu meningkatkan aspek keselamatan [12] pada area parkir modern. Sistem ini dirancang agar tidak hanya berfungsi untuk membantu proses parkir kendaraan secara otomatis, tetapi juga mampu melakukan deteksi dini terhadap potensi bahaya, seperti munculnya api atau getaran akibat aktivitas seismik. Dengan demikian, sistem dapat memberikan peringatan atau respon cepat secara *real-time* [13] untuk meminimalkan risiko kerusakan dan bahaya bagi pengguna maupun kendaraan.

2. Metode Penelitian

Penelitian menggunakan pendekatan *experimental and engineering design*. Metode ini dipilih untuk merancang serta mengimplementasikan sistem *autopark* yang menggabungkan penerapan sensor api dan gempa. Diagram alur penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

2.1. Analisis Kebutuhan Sistem

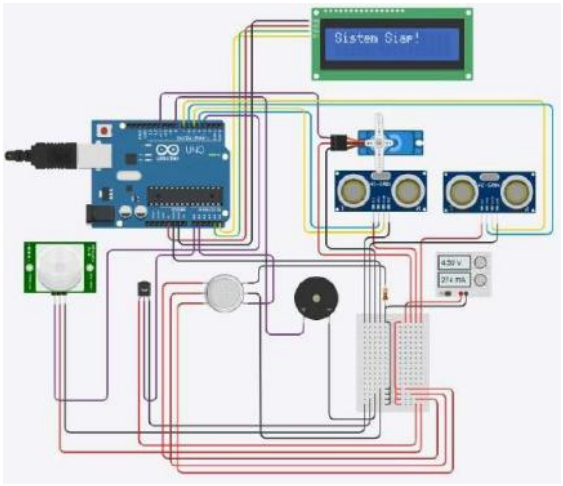
Penelitian diawali dengan analisis kebutuhan sistem. Pada tahap ini, dilakukan identifikasi beberapa komponen yang nantinya akan digunakan untuk membuat *prototype autopark*. Mikorkontroler yang digunakan adalah Arduino Mega 2560. Mikrokontroler ini berfungsi untuk mengendalikan semua komponen dengan memproses sinyal dari berbagai sensor, mengatur logika sistem, dan mengontrol seluruh perangkat. Kemudian, sistem ini juga membutuhkan beberapa sensor. Sensor pertama yang digunakan adalah Servo SG90 yang digunakan untuk menggerakkan palang pintu secara otomatis. Servo SG90 bekerja untuk mendeteksi jika ada kendaraan mendekat, dan akan membuat palang akan menutup kembali jika kendaraan lewat. Sensor kedua adalah sensor SW-420. Sensor ini digunakan untuk mendeteksi getaran akibat guncangan seperti gempa bumi. Jika getaran muncul maka sensor akan mengirim sinyal ke Arduino. Sensor ketiga yaitu sensor MQ26 yang berguna untuk mendeteksi berbagai jenis gas seperti metana (CH4), asap, karbon monoksida (CO), alkohol, dan propan. Sensor keempat yaitu sensor api KY-026. Sensor ini berfungsi sebagai lapisan tambahan dalam mendeteksi kebakaran di area parkir. Ketika api atau suhu tinggi terdeteksi, maka sistem akan memberikan peringatan visual dan suara. Sensor kelima yaitu sensor IR proximity yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan kendaraan di dekat palang pintu. Jika kendaraan berada dalam jarak tertentu dari pintu, sensor akan memicu servo untuk membuka palang pintu. Sensor keenam yaitu sensor HC-SR04 atau sensor ultrasonic. Sensor ini digunakan untuk mengukur jarak kendaraan dengan palang pintu. Sensor ini memastikan bahwa kendaraan benar-benar dekat dengan pintu sebelum memicu servo untuk membuka palang. Fungsinya melengkapi sensor IR Proximity untuk akurasi deteksi kendaraan. Sebagai pelengkap, sistem *autopark* juga menggunakan *buzzer* yang digunakan untuk memberikan peringatan suara kepada pengguna ketika terdeteksi kebakaran, gempa bumi maupun keduanya. Komponen pelengkap lainnya yaitu LCD I2C 12x6, kabel jumper serta *breadboard*.

2.2. Perancangan Perangkat Keras

Tahap selanjutnya yaitu perancangan perangkat keras. Pada tahap ini seluruh komponen dihubungkan berdasarkan desain skematik yang telah disusun sebelumnya menggunakan perangkat lunak simulasi yaitu *tinkercad* circuit. Proses ini bertujuan untuk memastikan bahwa

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

rancangan sistem berjalan sesuai dengan fungsi dan kebutuhan yang telah ditetapkan pada tahap analisis. Perancangan sistem ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Desain sistem

2.3. Perancangan Perangkat Lunak

Selanjutnya yaitu memasuki tahap perancangan perangkat lunak. Perancangan perangkat lunak dilakukan menggunakan bahasa pemrograman C/C++ melalui Arduino IDE. Prangkat lunak ini berfungsi untuk mengatur logika kerja sistem, meliputi pengendalian motor, pemrosesan data dari sensor, serta pengaktifan alarm dan indikator ketika terdeteksi potensi bahaya.

Software dirancang untuk membaca data dari sensor secara kontinu dalam *loop* utama dengan *delay* 500 milidetik untuk menghindari pembacaan berulang yang tidak perlu. Logika kontrol palang pintu diprogram untuk membuka secara perlahan dengan *increment* 2 derajat setiap 20 milidetik untuk mencapai 90 derajat, kemudian menutup dengan cara yang sama. Sistem manajemen kuota parkir dibatasi maksimal 3 kendaraan dengan *counter* yang *increment* saat kendaraan masuk dan *decrement* saat keluar. Prioritas peringatan bahaya diprogram dengan urutan deteksi api memiliki prioritas tertinggi, diikuti deteksi gas, dan deteksi gempa, dimana saat bahaya terdeteksi, sistem akan mengaktifkan *buzzer* dengan frekuensi berbeda untuk setiap jenis bahaya dan menampilkan pesan peringatan di LCD.

2.4. Integrasi Sistem

Tahap berikutnya adalah integrasi sistem antara perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) untuk membentuk sistem *autopark* yang berfungsi secara menyeluruh. Proses integrasi ini bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh komponen fisik yang telah dirancang sebelumnya dapat beroperasi sehinga dapat dikembangkan pada tahap pemrograman. Pada tahap ini, mikrokontroler bertindak sebagai pusat kendali yang mengatur komunikasi data dari berbagai sensor, seperti sensor ultrasonik untuk deteksi jarak, sensor api untuk mendeteksi kebakaran, serta sensor getaran untuk mendeteksi aktivitas seismik atau gempa.

2.5. Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan secara bertahap meliputi pengujian individual setiap sensor untuk memastikan pembacaan nilai yang akurat, pengujian integrasi sistem untuk memastikan komunikasi antar komponen berjalan dengan baik, pengujian fungsional untuk memverifikasi sistem dapat membuka dan menutup palang pintu secara otomatis saat kendaraan terdeteksi,

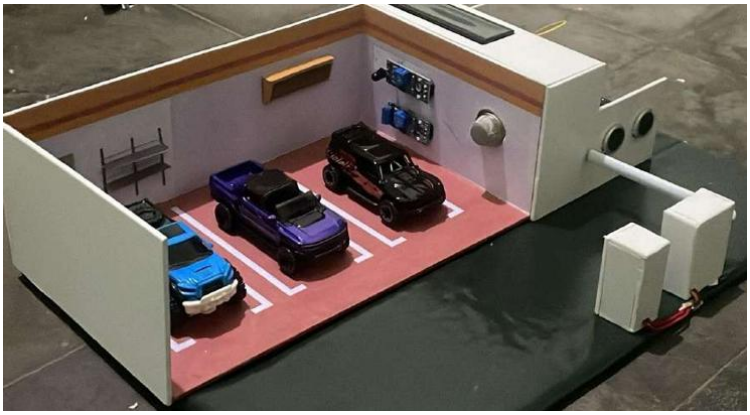
ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

pengujian deteksi bahaya untuk memastikan sistem dapat mendeteksi api, gas, dan getaran dengan memberikan peringatan yang sesuai, dan pengujian manajemen kuota untuk memverifikasi sistem dapat menghitung jumlah kendaraan dengan akurat dan menolak akses saat kuota penuh. Setiap pengujian didokumentasikan dengan mencatat respon sistem terhadap berbagai kondisi input untuk evaluasi kinerja sistem.

Melalui tahapan ini, diperoleh pemahaman menyeluruh mengenai kemampuan sistem *autopark* dalam beradaptasi terhadap kondisi lingkungan dan situasi darurat. Tahap integrasi dan pengujian ini menjadi langkah krusial dalam memastikan bahwa sistem yang dikembangkan tidak hanya berfungsi sesuai rancangan, tetapi juga andal, efisien, dan aman untuk diterapkan di lingkungan nyata seperti area parkir publik atau fasilitas perkantoran yang berisiko terhadap bencana.

3. Hasil dan Pembahasan

Rangkaian sistem autopark dibangun menggunakan Arduino Mega 2560 sebagai pusat kontrol dengan koneksi pin sebagai berikut: sensor ultrasonik HC-SR04 terhubung pada pin trigger 4 dan echo 5 untuk deteksi kendaraan masuk, pin trigger 6 dan echo 7 untuk deteksi kendaraan keluar, sensor IR Proximity terhubung pada pin digital 10, sensor MQ6 terhubung pada pin analog A1, sensor KY-026 terhubung pada pin analog A0, sensor SW-420 terhubung pada pin digital 3, servo motor terhubung pada pin PWM 11, *buzzer* terhubung pada pin digital 7-8, dan LCD I2C terhubung melalui komunikasi I2C pada pin SDA dan SCL dengan alamat 0x27. Semua komponen mendapat suplai daya 5V dari Arduino dengan *ground* yang terhubung bersama. *Prototype autopark* berbasis sensor api dan sensor gempa yang berhasil dibuat dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. *Prototype autopark* berbasis sensor api dan sensor gempa

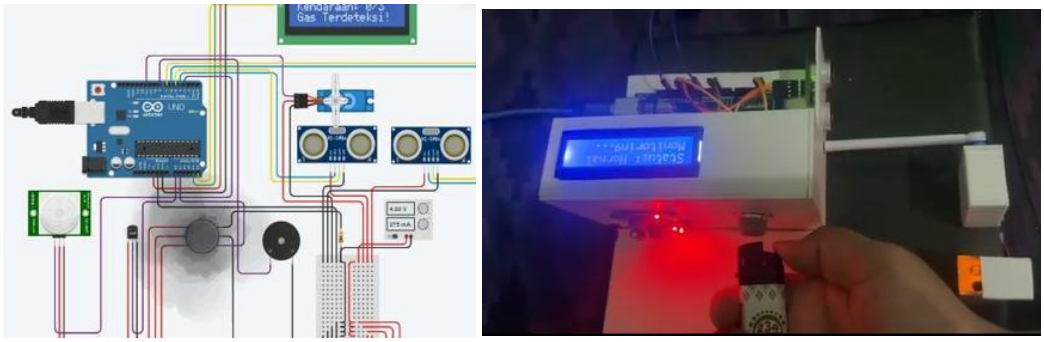
Ketika sistem dijalankan, sensor ultrasonik akan mendeteksi objek (mobil) yang mendekat. Ketika objek terdeteksi pada jarak tertentu, motor servo bergerak sebesar 90° sebagai simulasi pintu parkir terbuka. Setelah beberapa detik, servo kembali ke posisi semula menandakan pintu tertutup. Pada saat yang sama, LCD menampilkan status pintu (terbuka atau tertutup) serta informasi jumlah slot parkir yang tersedia, sehingga pengguna dapat mengetahui kondisi parkir secara *real-time* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 4. Simulasi sistem saat awal dijalankan

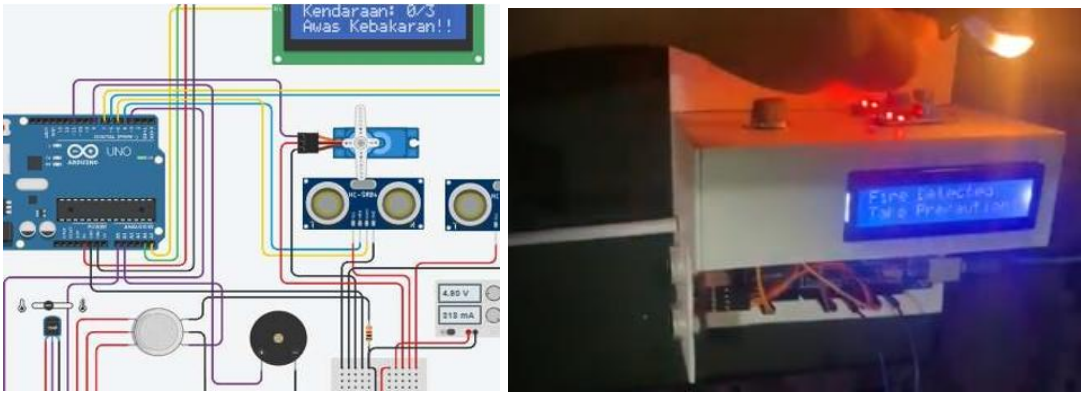
Selanjutnya, sensor gas mendeteksi keberadaan asap atau gas berbahaya di sekitar area parkir, sistem secara otomatis mengaktifkan *buzzer* sebagai peringatan dini. Bersamaan dengan itu, LCD menampilkan notifikasi "Gas Terdeteksi" untuk memberikan informasi visual kepada pengguna mengenai potensi bahaya yang terdeteksi oleh sistem, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



(a) (b)

Gambar 5. Simulasi sistem mendeteksi gas (a) pada *tinkercad* (b) pada *prototype*

Pada saat sensor api mendeteksi adanya sumber api, sistem secara otomatis mengaktifkan *buzzer* sebagai alarm peringatan. Secara bersamaan, LCD menampilkan notifikasi "Awas Kebakaran" pada *tinkercad* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6(a) sebagai tanda bahaya untuk meningkatkan kewaspadaan pengguna. Sedangkan notifikasi "F*ire Detected! Take Precaution!*" untuk memberikan peringatan visual di *prototype* agar para pengguna segera melakukan tindakan pencegahan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6(b).

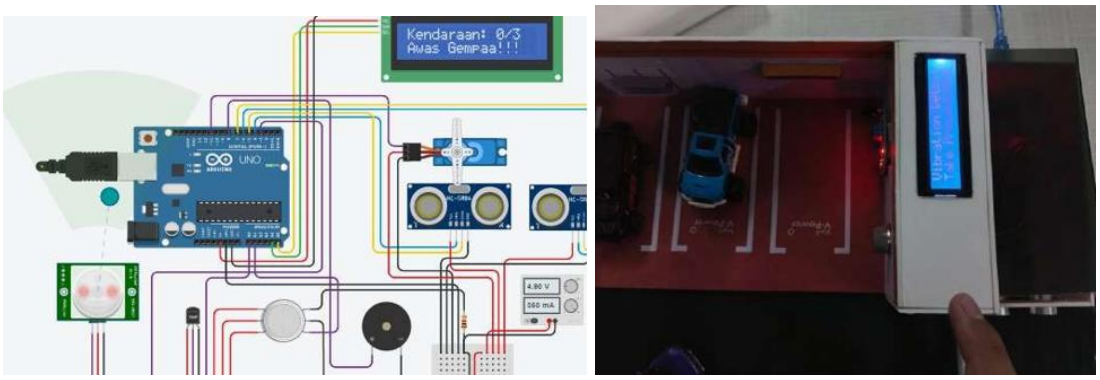


(a) (b)

Gambar 6. Simulasi sistem mendeteksi api (a) pada *tinkercad* (b) pada *prototype*

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Kemudian, ketika sensor gempa mendeteksi adanya getaran, sistem akan secara otomatis mengaktifkan *buzzer* sebagai peringatan bahaya. Pada saat yang sama, LCD menampilkan notifikasi "Awas Gempa !!!" pada *tinkercad* untuk memberikan peringatan visual kepada pengguna terhadap potensi gempa yang terdeteksi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7(a). Sedangkan, notifikasi "*Vibration Detected! Take Precaution!*" sebagai tanda bahaya agar pengguna dapat segera meningkatkan kewaspadaan terhadap potensi getaran atau gempa ditampilkan pada *prototype* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7(b).

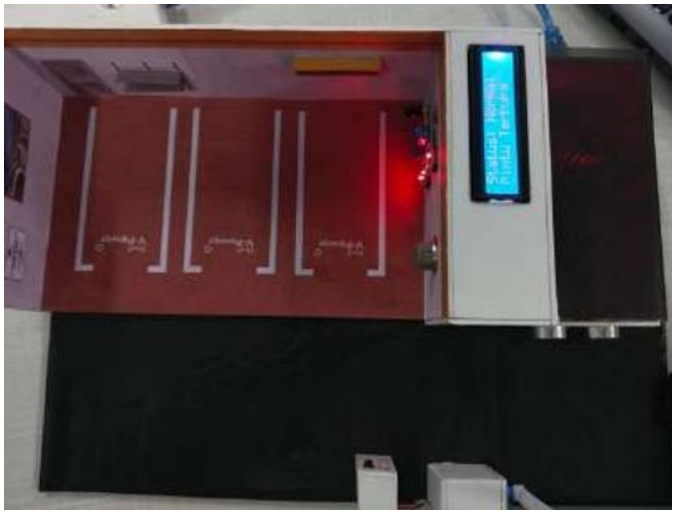


(a) (b)

Gambar 7. Simulasi sistem mendeteksi getaran (a) pada *tinkercad* (b) pada *prototype*

Apabila sensor ultrasonik mendeteksi adanya objek atau kendaraan yang mendekat, sistem akan menggerakkan pintu otomatis untuk terbuka, dan LCD menampilkan notifikasi "Pintu Terbuka". Setelah beberapa saat, pintu akan menutup kembali dan LCD menampilkan pesan "Pintu Tertutup". Selain itu, sistem juga memperbarui status jumlah kendaraan pada area parkir, misalnya menampilkan "1/3", yang menunjukkan bahwa satu dari tiga slot parkir telah terisi.

Kendaraan akan keluar, sensor inframerah (IR) mendeteksi keberadaan objek di area keluar. Saat sensor IR aktif, pintu otomatis terbuka dan LCD menampilkan notifikasi "Pintu Terbuka". Setelah kendaraan keluar dan sensor tidak lagi mendeteksi objek, pintu menutup kembali disertai tampilan notifikasi "Pintu Tertutup" pada LCD. Sistem kemudian memperbarui status jumlah kendaraan menjadi 0/3, yang menandakan seluruh slot parkir dalam kondisi kosong. Hal tersebut ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Kondisi parkir kosong

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

4. Kesimpulan dan Saran

Hasil penelitian dan implementasi sistem autopark berbasis sensor api dan gempa menunjukkan bahwa sistem ini bekerja secara efektif dan efisien dalam meningkatkan keamanan serta pengelolaan area parkir. Sistem mampu mendeteksi potensi bahaya kebakaran dan getaran gempa menggunakan sensor MQ-6, KY-026, dan SW-420, yang terintegrasi dengan *buzzer* dan LCD untuk memberikan peringatan cepat dan akurat. Proses otomatisasi akses kendaraan berhasil diterapkan melalui sensor IR Proximity dan HC-SR04, yang mengendalikan servo motor untuk membuka dan menutup palang pintu secara otomatis dengan gerakan halus dan aman. Selain itu, LCD I2C menampilkan informasi *real-time* mengenai status pintu, deteksi bahaya, dan jumlah kendaraan, sehingga pengguna dapat memantau kondisi sistem dengan mudah.

Sistem *autopark* ini tidak hanya berfungsi sebagai pengatur akses kendaraan, tetapi juga sebagai sistem pengaman cerdas yang mampu memberikan peringatan dini terhadap potensi kebakaran dan gempa. Untuk pengembangan lebih lanjut, sistem dapat ditingkatkan melalui integrasi aplikasi mobile, penambahan sensor deteksi CO_2, serta penerapan kontrol jarak jauh untuk palang pintu. Optimalisasi desain perangkat keras dengan PCB custom, tata kabel yang rapi, dan material yang lebih kuat juga disarankan untuk meningkatkan keandalan dan ketahanan sistem. Dengan pengembangan tersebut, *autopark* berpotensi menjadi solusi manajemen parkir yang aman, efisien, dan adaptif untuk berbagai lingkungan parkir publik maupun privat.

Referensi

[1] S. Singh, N. Kaur, and Kavita, "Automated parking system using IoT," in *International Conference on Green Energy, Computing and Intelligent Technology (GEn-CITy 2023)*, 2023, pp. 457–461. doi: 10.1049/icp.2023.1819.

[2] J. S. Olmos Medina, J. G. Maradey Lázaro, A. Rassõlkin, and H. González Acuña, *An Overview of Autonomous Parking Systems: Strategies, Challenges, and Future Directions*, vol. 25, no. 14. 2025. doi: 10.3390/s25144328.

[3] M. Arefin *et al.*, "An IoT-Based Integrated Solution for Fire Detection Alarm System and Water Supply Management," in *2023 International Conference on Information and Communication Technology for Sustainable Development (ICICT4SD)*, 2023, pp. 357–361. doi: 10.1109/ICICT4SD59951.2023.10303496.

[4] A. Sharma, A. Nayyar, K. J. Singh, D. S. Kapoor, K. Thakur, and S. Mahajan, "An IoT-based forest fire detection system: design and testing," *Multimed. Tools Appl.*, vol. 83, no. 13, pp. 38685–38710, 2024, doi: 10.1007/s11042-023-17027-9.

[5] W. A. Jabbar, L. Y. Tiew, and N. Y. Ali Shah, "Internet of things enabled parking management system using long range wide area network for smart city," *Internet Things Cyber-Physical Syst.*, vol. 4, pp. 82–98, 2024, doi: https://doi.org/10.1016/j.iotcps.2023.09.001.

[6] A. Aditya, S. Anwarul, R. Tanwar, and S. K. V. Koneru, "An IoT assisted Intelligent Parking System (IPS) for Smart Cities," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 218, pp. 1045–1054, 2023, doi: https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.01.084.

[7] F. Zeng, C. Pang, and H. Tang, "Sensors on Internet of Things Systems for the Sustainable Development of Smart Cities: A Systematic Literature Review," *Sensors*, vol. 24, no. 7, 2024.

[8] B. P. Ardian, M. Daffa, D. Pratama, B. P. Baharuddin, and I. Ady, "Perancangan Desain Sistem Parkir Otomatis Menggunakan Sensor Pir Dan Servo Motor Berbasis Arduino," *Semin. Nas. Corisindo*, no. September 2025, pp. 700–707, 2025.

[9] T. Sreesailam, N. R. Rao, R. B. Singh, A. Nawani, and J. Dhillon, "Automatic Parallel Parking Car BT - Recent Developments in Control, Automation and Power Engineering," in *Springer*, H. P. Singh, I. B. Aris, and A. S. Siddiqui, Eds., Singapore: Springer Nature Singapore, 2025, pp. 1–9.

[10] Y. Bandung, M. F. N. Aldiansyah, M. R. D. Putra, and M. I. I. Syiraaj, "Design and Implementation

of IoT-Based Smart Parking System in Campus Area," in *2023 10th International Conference on ICT for Smart Society (ICISS)*, 2023, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICISS59129.2023.10292040.

[11] I. Joi, R. Susanti, and F. F. Islami, "Prototype Alat Pengaman Mobil Berbasis Internet of Things (IoT)," *Pros. SISFOTEK*, pp. 277–282, 2021, [Online]. Available: http://seminar.iaii.or.id/index.php/SISFOTEK/article/view/299%0Ahttp://seminar.iaii.or.id/index.php/SISFOTEK/article/download/299/266

[12] A. Rahman *et al.*, "SDN–IoT empowered intelligent framework for industry 4.0 applications during COVID-19 pandemic," *Cluster Comput.*, vol. 25, no. 4, pp. 2351–2368, 2022, doi: 10.1007/s10586-021-03367-4.

[13] Y. C. See and E. X. Ho, "IoT-Based Fire Safety System Using MQTT Communication Protocol," *Int. J. Integr. Eng.*, vol. 12, no. 6, pp. 207–215, 2020, doi: 10.30880/ijie.2020.12.06.024.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

ID: 20

Sistem Monitoring Temperatur Dan Heat Index Ruangan Dengan Peringatan Visual Dan Suara

Room Temperature and Heat Index Monitoring System With Visual and Audio Warnings Based on Arduino

Syayid Makdum Ibrahimq[1], M. Sahda Rafiqul A'la[2], Alycia Wilmaghfiroh Sa'dyah[3], Hasna Nadiyah Fitri[4], M. Hisyam Al Firdaus[5], Miladina Rizka Aziza [6,] Maulina Safitri [7*].
Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Jl. Gajayana No. 50, Malang, Jawa Timur 65144, Indonesia
syayidmakdum.i@gmail.com[1], msahdarafiqul@gmail.com[2], alyciawilma@gmail.com[3], nadiyahhasna291104@gmail.com[4], alfirdaus248@gmail.com[5], miladinarizka@uin-malang.ac.id[6], maulinasafitri@uin-malang.ac.id[7*]

Abstrak - *Temperatur dan kelembapan udara merupakan faktor utama yang memengaruhi kenyamanan dan kesehatan di lingkungan dalam ruangan. Kombinasi antara suhu tinggi dan kelembapan dapat menghasilkan indeks panas (heat index) yang berpotensi membahayakan kesehatan manusia, terutama pada ruangan dengan sirkulasi udara terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring temperatur dan heat index ruangan secara real-time dengan peringatan visual dan suara berbasis mikrokontroler Arduino UNO. Sensor DHT22 digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan, sedangkan sensor ultrasonik HC-SR04 berfungsi mendeteksi keberadaan pengguna. Hasil pembacaan sensor ditampilkan melalui LCD dengan dua mode tampilan, yaitu Temperature Mode dan Heat Index Mode, yang dapat diubah menggunakan push button. LED dan buzzer digunakan sebagai indikator peringatan saat suhu atau indeks panas melebihi ambang batas aman. Berdasarkan hasil pengujian, sistem mampu menampilkan data dengan akurasi yang baik dan memberikan peringatan secara cepat terhadap kondisi berisiko. Sistem ini dinilai efektif dalam membantu pemantauan kondisi lingkungan ruangan dan memiliki potensi pengembangan lebih lanjut dengan menambahkan fitur konektivitas Internet of Things (IoT) untuk pemantauan jarak jauh.*

Kata kunci : *monitoring temperatur, heat index, Arduino UNO, sensor DHT22, sistem peringatan*

Abstract - *Air temperature and humidity are key factors affecting comfort and health in indoor environments. The combination of high temperature and humidity can produce a heat index that may endanger human health, particularly in enclosed spaces with limited air circulation. This study aims to design and implement a real-time room temperature and heat index monitoring system equipped with visual and audio warning features based on the Arduino UNO microcontroller. The DHT22 sensor is used to measure temperature and humidity, while the HC-SR04 ultrasonic sensor detects user presence. Sensor readings are displayed on an LCD screen through two modes, Temperature Mode and Heat Index Mode, which can be switched using a push button. LED and buzzer components serve as warning indicators when temperature or heat index values exceed safe thresholds. The experimental results show that the system provides accurate measurements and responsive alerts under various environmental conditions. This monitoring system is considered effective for maintaining safe indoor environments and has potential for further development through the integration of Internet of Things (IoT) connectivity for remote monitoring and data analysis.*

Keyword : *temperature monitoring, heat index, Arduino UNO, DHT22 sensor, warning system*

1. Pendahuluan

Temperatur dan kelembapan udara merupakan dua faktor lingkungan yang sangat memengaruhi kenyamanan serta kesehatan manusia, terutama di ruang tertutup seperti kantor, laboratorium, maupun ruang server. Kombinasi suhu tinggi dan kelembapan yang berlebihan dapat menimbulkan *heat index* yang berpotensi membahayakan tubuh karena menghambat proses penguapan keringat. Kondisi tersebut tidak hanya berdampak pada kesehatan, seperti kelelahan dan dehidrasi, tetapi juga dapat memengaruhi kinerja perangkat elektronik dan efisiensi energi ruangan. Oleh karena itu, pemantauan kondisi lingkungan dalam ruangan menjadi penting untuk menjaga kenyamanan dan keselamatan pengguna [1], [2], [3].

Selama ini, pemantauan suhu dan kelembapan umumnya dilakukan secara manual menggunakan termometer atau alat ukur sederhana. Cara tersebut memiliki keterbatasan karena membutuhkan perhatian terus-menerus dan tidak mampu memberikan peringatan dini saat terjadi perubahan kondisi lingkungan secara mendadak. Perkembangan teknologi mikrokontroler memberikan solusi terhadap permasalahan tersebut melalui sistem pemantauan otomatis yang mampu membaca, menganalisis, dan menampilkan data lingkungan secara *real-time* [4], [5]. Dengan dukungan sensor digital dan algoritma perhitungan *heat index*, sistem semacam ini dapat memberikan peringatan visual maupun suara apabila kondisi ruangan berada di luar batas aman.

Penelitian ini mengusulkan perancangan dan implementasi sistem monitoring temperatur dan *heat index* berbasis mikrokontroler Arduino UNO yang dilengkapi dengan peringatan visual menggunakan LED dan peringatan suara melalui buzzer. Sistem memanfaatkan sensor DHT22 untuk membaca suhu dan kelembapan udara, serta sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mendeteksi keberadaan pengguna sehingga tampilan LCD hanya aktif ketika terdapat aktivitas di depan perangkat. Selain itu, *push button* digunakan untuk mengubah mode tampilan antara *Temperature Mode* dan *Heat Index Mode*. Integrasi beberapa sensor ini bertujuan untuk menciptakan sistem yang efisien, hemat energi, dan mudah digunakan [6].

Tujuan utama penelitian ini adalah merancang sistem pemantauan kondisi ruangan yang mampu bekerja secara otomatis, memberikan informasi suhu dan kelembapan secara akurat, serta memberikan peringatan ketika kondisi lingkungan melebihi ambang batas aman. Penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan lebih lanjut, seperti integrasi dengan teknologi Internet of Things (IoT) untuk pemantauan jarak jauh melalui jaringan internet [7], [8]. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi sensor DHT22 dan HC-SR04 yang tidak hanya berfungsi untuk pemantauan lingkungan, tetapi juga untuk mengoptimalkan konsumsi daya dengan mengaktifkan tampilan LCD hanya ketika pengguna terdeteksi. Pendekatan ini menjadikan sistem lebih efisien dan adaptif terhadap interaksi pengguna, sehingga dapat diaplikasikan di berbagai lingkungan, baik rumah tangga, perkantoran, maupun industri kecil [9].

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan utama, mulai dari perancangan sistem, pemilihan komponen, perakitan rangkaian, hingga pengujian fungsi keseluruhan. Pendekatan yang digunakan adalah metode eksperimental dengan tujuan menguji kinerja sistem monitoring temperatur dan *heat index* berbasis Arduino UNO yang dilengkapi peringatan visual dan suara.

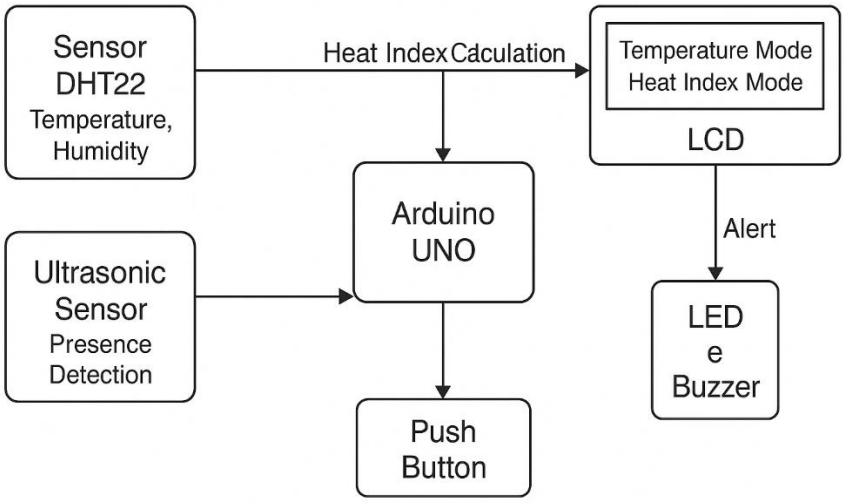
Tahapan penelitian dimulai dari studi literatur yang dilakukan untuk memahami karakteristik sensor DHT22, sensor ultrasonik HC-SR04, serta konsep *heat index* yang digunakan dalam sistem. Data dari studi literatur menjadi dasar dalam menentukan parameter batas suhu dan kelembapan, serta dalam merancang logika sistem yang diimplementasikan melalui pemrograman mikrokontroler Arduino [4], [7].

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

2.1. Desain Sistem

Sistem monitoring ini terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu mikrokontroler Arduino UNO sebagai pusat kendali, sensor DHT22 sebagai pendeteksi suhu dan kelembapan, sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mendeteksi keberadaan pengguna, LCD 16x2 sebagai penampil data, LED sebagai indikator visual, dan buzzer sebagai indikator suara. Semua komponen dihubungkan melalui rangkaian pada *breadboard* dengan sumber daya 5V dari Arduino.

Arduino UNO menerima data digital dari sensor DHT22 yang kemudian digunakan untuk menghitung *heat index* dengan rumus dari *National Weather Service* (NWS) [10], [11]. Sensor HC-SR04 bekerja berdasarkan pantulan gelombang ultrasonik untuk mendeteksi objek di depan sistem, dan hasilnya digunakan untuk mengaktifkan tampilan LCD hanya saat pengguna terdeteksi. Dengan demikian, sistem dapat menghemat daya dan tetap efisien dalam penggunaan komponen.



Gambar 15 Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem ditunjukkan pada *Gambar 1* yang menggambarkan hubungan antar komponen mulai dari input sensor hingga output indikator.

Alur kerja sistem dijelaskan sebagai berikut:

a. Sensor DHT22 membaca suhu (°C) dan kelembapan relatif (%).
b. Arduino memproses data tersebut untuk menghitung *heat index* berdasarkan rumus empiris.
c. Sensor ultrasonik mendeteksi keberadaan pengguna dan mengaktifkan LCD.
d. LCD menampilkan data dalam dua mode: *Temperature Mode* dan *Heat Index Mode*.
e. Jika nilai suhu atau *heat index* melebihi batas aman, sistem mengaktifkan LED dan buzzer sebagai peringatan.
f. *Push button* digunakan untuk berpindah mode tampilan.

2.2. Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Perangkat keras sistem dirancang menggunakan simulasi pada platform Tinkercad sebelum implementasi fisik dilakukan. Mikrokontroler Arduino UNO bertugas mengatur aliran data dari seluruh sensor dan mengendalikan output berdasarkan kondisi yang terdeteksi.

- **Sensor DHT22** digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan dengan akurasi tinggi (±0.5°C untuk suhu dan ±2–5% untuk kelembapan). Data digital dari sensor dikirim ke pin data Arduino.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

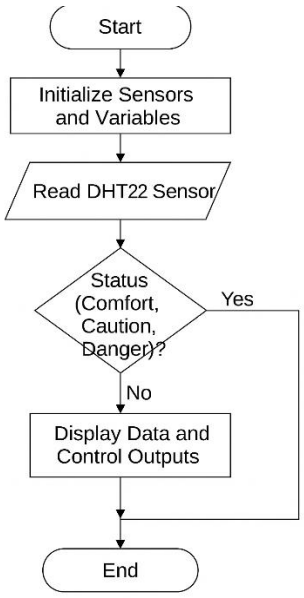
- **Sensor Ultrasonik HC-SR04** berfungsi mendeteksi keberadaan pengguna melalui pantulan gelombang suara berfrekuensi tinggi, dengan jangkauan 2 cm–4 m.
- **LCD 16x2 I2C** menampilkan hasil pengukuran suhu, kelembapan, dan nilai *heat index*.
- **LED dan Buzzer** memberikan peringatan visual dan suara ketika nilai suhu atau *heat index* berada di atas ambang batas.
- **Push Button** digunakan untuk mengubah mode tampilan antara *Temperature Mode* dan *Heat Index Mode*.

Sistem ini dirancang untuk bekerja pada tegangan 5V DC dengan konsumsi daya yang rendah. Rangkaian disusun secara modular agar mudah diperbaiki dan dikembangkan.

2.3. Perancangan Perangkat Lunak (*Software*)

Pemrograman sistem dilakukan menggunakan Arduino IDE dengan bahasa C++. Logika utama dalam program ini terdiri dari tiga bagian:

a. **Inisialisasi sensor dan variabel**, meliputi konfigurasi pin input/output, pustaka sensor DHT, dan komunikasi I2C dengan LCD.
b. **Pembacaan dan pemrosesan data sensor**, yaitu membaca nilai suhu dan kelembapan, menghitung *heat index*, serta menentukan status lingkungan berdasarkan ambang batas (*comfort*, *caution*, *danger*).
c. **Kendali output**, yaitu menampilkan data pada LCD dan mengatur LED serta buzzer sesuai kondisi lingkungan.
d.



Gambar 16 Diagram Alir *(flowchart)*

Algoritma utama sistem digambarkan pada *Gambar 2* dalam bentuk diagram alir (*flowchart*). Proses dimulai dari pembacaan sensor DHT22, dilanjutkan dengan perhitungan *heat index*, dan sistem memutuskan apakah akan menyalakan peringatan visual maupun suara.

2.4. Pengujian Sistem

Tahap pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa semua komponen bekerja sesuai fungsi yang diharapkan. Pengujian dilakukan dengan mengukur:

a. Akurasi pembacaan sensor DHT22 dibandingkan dengan termometer digital standar;

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

b. Respon sensor ultrasonik terhadap jarak deteksi objek;
c. Kecepatan respon peringatan LED dan buzzer;
d. Kinerja sistem saat perpindahan mode tampilan.

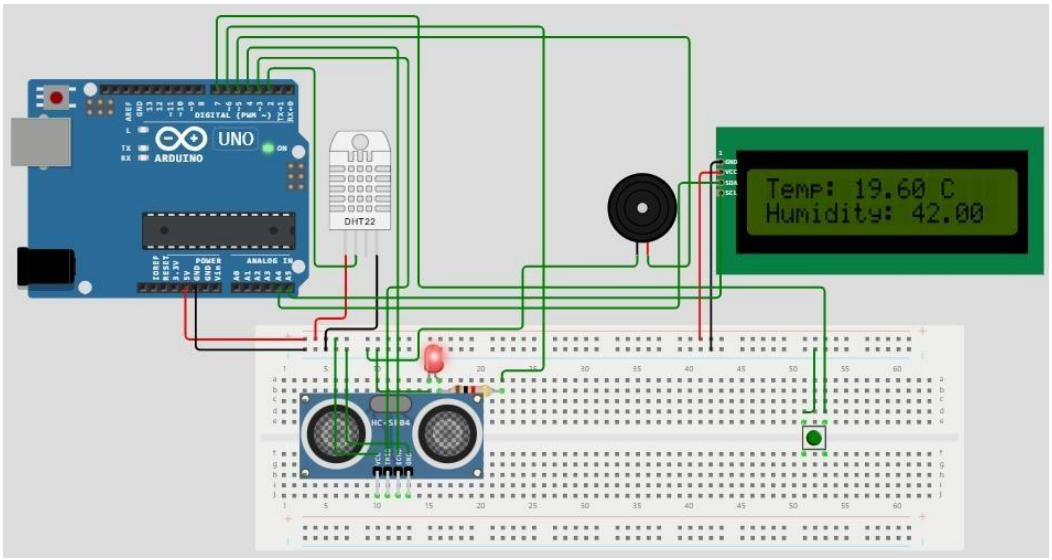
Data hasil pengujian dianalisis untuk menilai akurasi, efisiensi daya, dan keandalan sistem dalam berbagai kondisi lingkungan.

3. Hasil dan Pembahasan

Bab ini menjelaskan hasil perancangan dan implementasi sistem monitoring temperatur serta *heat index* berbasis mikrokontroler Arduino UNO. Pembahasan meliputi tahapan pembuatan rangkaian, pengujian perangkat keras dan perangkat lunak, serta analisis hasil pengukuran dan kinerja sistem secara keseluruhan.

3.1. Hasil Perancangan Sistem

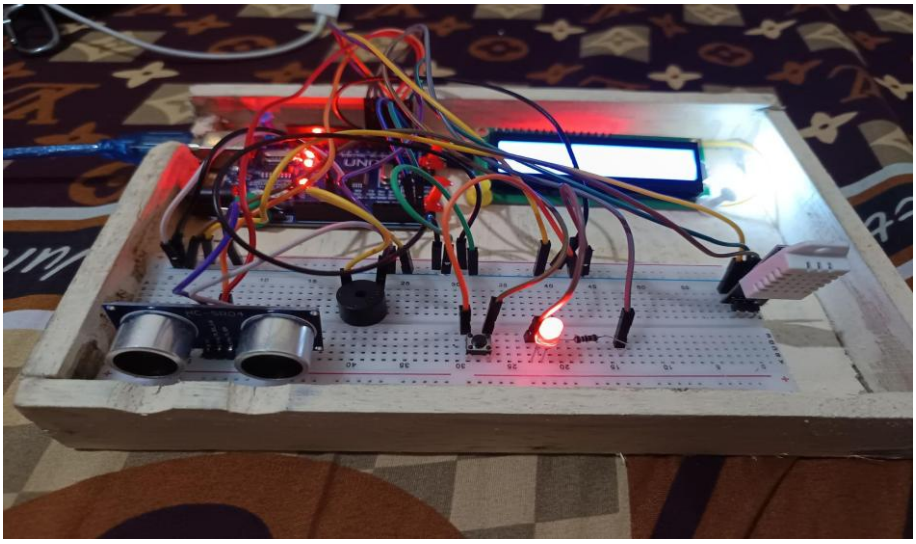
Perancangan sistem monitoring temperatur dan *heat index* dilakukan menggunakan perangkat lunak **Wokwi** untuk simulasi rangkaian elektronik sebelum implementasi fisik dilakukan. Simulasi ini digunakan untuk memverifikasi koneksi antar komponen, logika sistem, serta fungsionalitas sensor. Hasil rancangan ditunjukkan pada *Gambar 3*, yang memperlihatkan hubungan antara mikrokontroler Arduino UNO, sensor DHT22, sensor ultrasonik HC-SR04, LCD 16x2, LED, buzzer, dan *push button*.



Gambar 3 Rangkaian Menggunakan Wokwi

Setelah simulasi selesai, seluruh komponen dirangkai pada papan *breadboard* untuk pengujian nyata. *Gambar 4* menunjukkan tampilan alat setelah dirangkai secara fisik, di mana semua komponen terhubung sesuai dengan hasil simulasi. Mikrokontroler Arduino UNO berfungsi sebagai pusat kendali yang mengatur aliran data antara sensor dan perangkat keluaran.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 17 Rangkaian Alat Monitoring Temperatur Dan Heat Index Ruangan

Sistem ini bekerja dengan membaca suhu dan kelembapan dari sensor DHT22, lalu menghitung nilai *heat index* menggunakan rumus empiris yang direkomendasikan oleh National Weather Service (NWS). Nilai hasil pengukuran ditampilkan secara real-time pada LCD 16x2.

3.2. Tampilan dan Pengujian Sistem

Tampilan LCD memiliki dua mode utama, yaitu Mode Temperature dan Mode Heat Index. Mode dapat diubah menggunakan *push button* yang telah diprogram untuk mengatur tampilan data. *Gambar 5* menunjukkan tampilan LCD pada *Temperature Mode*, di mana nilai suhu (°C) dan kelembapan (%) ditampilkan secara real-time.



Gambar 18 LCD Display Mode Temperature

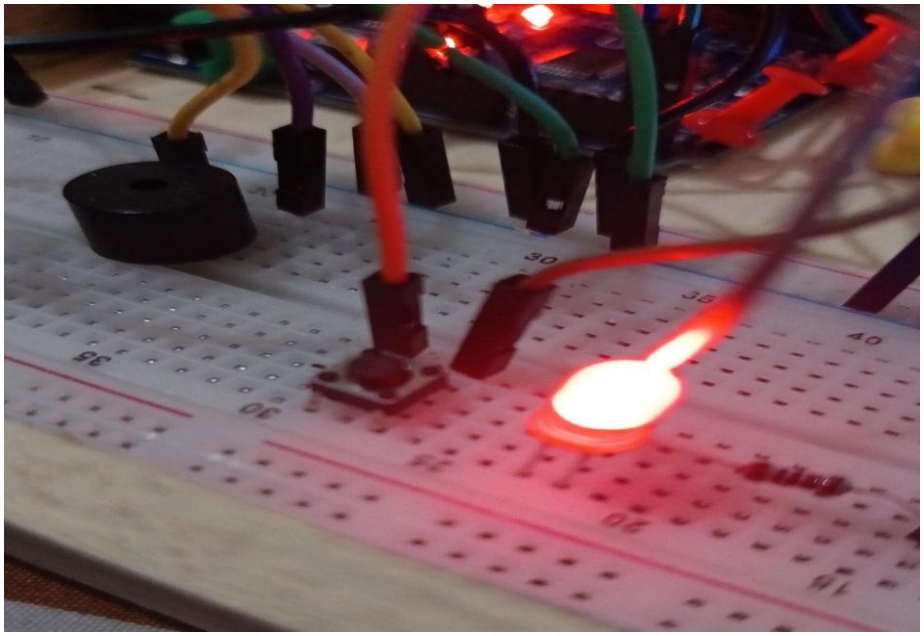
Sementara itu, *Gambar 6* menunjukkan tampilan LCD pada *Heat Index Mode*, di mana nilai suhu dan kelembapan digunakan untuk menghitung serta menampilkan *heat index* ruangan. Nilai ini menggambarkan tingkat kenyamanan termal pada lingkungan dalam ruangan.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 19 LCD Display Mode Heat Index

Ketika nilai suhu dan kelembapan melebihi ambang batas aman (sekitar 32°C), sistem secara otomatis mengaktifkan LED dan buzzer sebagai peringatan bahaya. Kondisi ini dapat dilihat pada *Gambar 5*, di mana LED menyala merah dan buzzer berbunyi sebagai tanda peringatan.



Gambar 20 Aktivasi LED dan Buzzer Ketika Heat Index Melebihi Ambang Batas Aman

3.3. Hasil Pengujian Sensor

Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor DHT22 terhadap alat ukur standar berupa termometer digital. Data hasil pengukuran ditampilkan pada *Tabel 1*.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Tabel 1. Perbandingan hasil pembacaan sensor DHT22 dengan termometer digital

Pengujian ke-	Suhu Termometer (°C)	Suhu DHT22 (°C)	Selisih (°C)	Kelembapan (%)	Status
1	26.5	26.7	0.2	58	Aman
2	29.0	29.1	0.1	64	Aman
3	31.0	31.3	0.3	70	Waspada
4	33.5	33.7	0.2	75	Bahaya
5	34.0	34.4	0.4	78	Bahaya

Dari hasil pengujian diperoleh rata-rata selisih pembacaan suhu sebesar ±0.25°C, yang menunjukkan bahwa sensor DHT22 memiliki tingkat akurasi yang cukup baik. Persentase kesalahan pembacaan kelembapan juga rendah, yakni di bawah 3%, sehingga sensor ini layak digunakan untuk aplikasi monitoring lingkungan dalam ruangan.

3.4. Analisis dan Pembahasan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menampilkan data suhu dan kelembapan secara akurat serta memberikan respon cepat ketika terjadi peningkatan *heat index* melebihi ambang batas aman. Penggunaan sensor ultrasonik HC-SR04 sebagai detektor keberadaan pengguna terbukti efektif dalam menghemat daya, karena LCD hanya aktif saat objek terdeteksi di depan alat.

Respon sistem terhadap kondisi peringatan tercatat cepat, dengan waktu aktivasi LED dan buzzer kurang dari satu detik setelah nilai *heat index* melebihi batas aman. Hal ini menunjukkan bahwa algoritma kendali berbasis Arduino UNO bekerja dengan stabil dan efisien.

Dari sisi efisiensi energi, penggunaan sensor jarak untuk mengendalikan tampilan LCD merupakan pendekatan baru yang belum banyak digunakan pada sistem sejenis. Sebagian besar penelitian sebelumnya berfokus pada pengukuran suhu dan kelembapan tanpa mempertimbangkan konsumsi daya atau interaksi pengguna. Dengan pendekatan ini, sistem tidak hanya berfungsi sebagai pemantau lingkungan, tetapi juga memiliki aspek efisiensi yang lebih baik.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dirancang telah memenuhi tujuan, yaitu memberikan pemantauan suhu dan kelembapan ruangan secara real-time, menampilkan peringatan visual dan suara saat kondisi berbahaya, serta memiliki efisiensi daya yang optimal. Sistem ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan modul komunikasi nirkabel seperti ESP8266 agar mendukung pemantauan berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk penggunaan jarak jauh.

4. Kesimpulan

Penelitian ini telah berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring temperatur dan *heat index* ruangan berbasis mikrokontroler Arduino UNO yang dilengkapi dengan peringatan visual dan suara. Sistem ini mampu membaca suhu dan kelembapan udara secara real-time menggunakan sensor DHT22 serta menghitung nilai *heat index* berdasarkan rumus empiris dari *National Weather* Service (NWS). Hasil perhitungan kemudian ditampilkan pada LCD 16x2 dalam dua mode tampilan, yaitu *Temperature Mode* dan *Heat Index Mode*, yang dapat diubah menggunakan *push button*.

Berdasarkan hasil pengujian, sistem mampu bekerja dengan baik dan menunjukkan tingkat akurasi tinggi dengan rata-rata selisih pengukuran suhu sebesar ±0,25°C dibandingkan dengan termometer digital standar. Selain itu, respon LED dan buzzer terhadap kondisi bahaya juga cepat,

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

dengan waktu aktivasi kurang dari satu detik setelah nilai *heat index* melewati ambang batas aman. Hal ini menunjukkan bahwa sistem memiliki kemampuan deteksi dan peringatan yang andal untuk membantu pengguna mengenali kondisi lingkungan yang berpotensi membahayakan kesehatan.

Kelebihan utama dari sistem ini terletak pada penerapan sensor ultrasonik HC-SR04 sebagai pendeteksi keberadaan pengguna untuk menghemat daya dengan cara mengaktifkan LCD hanya ketika terdapat objek di depan alat. Pendekatan ini menjadikan sistem lebih efisien dan adaptif terhadap kondisi penggunaan di lingkungan nyata. Secara keseluruhan, sistem monitoring ini dinilai efektif, stabil, dan mudah dioperasikan untuk kebutuhan pemantauan kondisi ruangan.

Sebagai tindak lanjut, sistem ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan modul komunikasi nirkabel seperti ESP8266 atau GSM agar mendukung pemantauan jarak jauh berbasis *Internet of Things* (IoT). Selain itu, integrasi dengan basis data atau aplikasi seluler juga dapat dilakukan untuk merekam data historis serta menampilkan tren perubahan temperatur dan kelembapan secara lebih komprehensif.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Progam Studi Teknik Elektro Institut Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang atas dukungan fasilitas laboratorium dan bimbingan akademik selama proses penelitian ini berlangsung. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada rekan-rekan mahasiswa serta dosen pembimbing yang telah memberikan masukan dan arahan dalam penyusunan sistem monitoring ini. Selain itu, apresiasi diberikan kepada pihak-pihak yang membantu dalam tahap perancangan dan pengujian alat sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

Referensi

[1] G. M. Masters, Introduction to Environmental Engineering and Science, 3rd edv, New Jersey: Prentice Hall, 2013.

[2] F. D. Silalahi and J. Dian, "Implementasi Internet of Things (IoT) dalam monitoring suhu dan kelembaban ruang produksi obat non steril menggunakan Arduino berbasis web," *JUPITER: Jurnal Penelitian Ilmu dan Teknologi Komputer,* vol. 13, no. 2, p. 62–68, 2021.

[3] M. R. Siregar, A. Bintoro and R. Putri, "Sistem monitoring suhu dan kelembaban pada penyimpanan gabah untuk menjaga kualitas beras berbasis Internet of Things (IoT)," *Jurnal Energi Elektrik,* vol. 10, no. 1, pp. 14-17, 2021.

[4] M. H. Hasan and M. A. Rahman, "Design of IoT-Based Real-Time Temperature and Humidity Monitoring System," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications,* vol. 12, no. 3, p. 145–151, 2021.

[5] M. Srivastava and R. Kumar, "Smart environmental monitoring based on IoT: Architecture, issues, and challenges,," in *Advances in Computational Intelligence and Communication Technology: Proceedings of CICT 2019*, Singapore: Springer, pp. 349–358, 2020.

[6] T. I. Nasution and S. H. Sinaga, "Design of monitoring system temperature and humidity using DHT22 sensor and NRF24L01 based on Arduino," *Journal of Physics: Conference Series,* Vols. 2421,, no. 1, p. 012018, 2023.

[7] P. R. S., Software Engineering: A Practitioner's Approach, 8th ed, New York: McGraw-Hill, 2019.

[8] J. J., B. Jo, J. Kim, S. Kim and W. Han, "Development of an IoT-based indoor air quality monitoring platform," *Journal of Sensors,* vol. 2020, p. 8749764, 2020.

[9] T. L. Narayana, C. Venkatesh, A. Kiran, A. Kumar, S. B. Khan, A. Almusharraf and M. T. Quasim, "Advances in real-time smart monitoring of environmental parameters using IoT and sensors," *Heliyon,* vol. 10, no. 7, 2024.

[10] W. Paengkaew, A. Limsakul, R. Junggoth and S. Pitaksanurat, "Empirically derived equation from simple heat index for calculating wet bulb globe temperature: A case study of Thailand," *Applied Environmental Research,* vol. 42, no. 3, p. 25–39, 2020.

[11] D. Sarathkumar, R. A. Raj, M. Ganeshraj, P. Kangiyaraj, K. Kathir and P. Kavin, "IoT-based password secured residential distribution transformer for technical safety," in *1st Int. Conf. Sustainable Technology for Power and Energy Systems (STPES)*, pp. 1–6, IEEE, 2022.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

ID: 21

Sistem Computer Assisted Test (CAT) untuk Mengelola Ujian Berbasis Website Pada SMPN 5 Tulang Bawang Barat

Web-Based Computer Assisted Test (CAT) System for Managing Examinitions at SMPN 5 Tulang Bawang Barat

Wayan Gita Widiyana[1*], Arief Kurniawan[2], Damayanti[3], Dyah Ayu Megawaty[4]
[1,2,3,4]Universitas Teknokrat Indonesia
Jl. Z.A Pagar Alam No 9-11 Labuhan Ratu Bandar Lampung
wayan_gita_widiyana@teknokrat.ac.id[1*], arief_kurniawan@teknokrat.ac.id[2],
daamayanti@teknokrat.ac.id[3], dyahayumegawaty@teknokrat.ac.id[4]

Abstraks- *SMPN 5 Tulang Bawang Barat menghadapi tantangan dalam pengelolaan ujian karena pengelaan ujian sekolah dilakukan secara manual. Pelaksananaan ujian masih menggunakan soal secara tertulis menggunakan media kertas yang mengakibatkan keterbatasan dalam efisiensi, akurasi, dan fleksibilitas proses ujian. Untuk mengatasi kendala ini, diperlukan sebuah Sistem Computer Assisted Test (CAT) berbasis website yang terintegrasi dan dapat mengelola data ujian, peserta, nilai, dan jadwal secara otomatis. Sistem ini dirancang untuk mengurangi ketergantungan pada kertas, meminimalkan kesalahan koreksi manual, serta mempercepat proses evaluasi hasil ujian, sehingga mendukung peningkatan kualitas evaluasi pendidikan. Sistem ini dibangun dengan metode Extreme Programming (XP) dan pendekatan Object-Oriented Programming (OOP), menggunakan pemodelan use case dan activity diagram untuk menggambarkan alur sistem. Teknologi yang digunakan meliputi PHP, HTML, JavaScript, Jquery, dan MySQL dengan framework codelgniter, memungkinkan sistem diakses secara fleksibel oleh admin, guru, dan siswa. Pengujian sistem dilakukan sesuai dengan standar ISO 25010 melalui survei terhadap 8 responden yang terdiri dari admin, guru, dan siswa SMPN 5 Tulang Bawang Barat yang terlibat dalam pelaksanaan ujian. Hasil pengujian menunjukkan sistem memperoleh skor 97,5% yang menunjukkan tingkat keberhasilan sangat baik dan sistem layak untuk dimplementasi di SMPN 5 Tulang Bawang Barat.*

Kata kunci*: Computer Assisted Test (CAT), Extreme Programming, ISO 25010, Ujian, Website*

Abstract *- SMPN 5 Tulang Bawang Barat faces challenges in managing exams because school exam management is done manually. The implementation of exams still uses written questions on paper, resulting in limitations in efficiency, accuracy, and flexibility of the exam process. To overcome these obstacles, a web-based Computer Assisted Test (CAT) system is needed that can integrate and manage exam data, participants, scores, and schedules automatically. This system is designed to reduce dependence on paper, minimize manual correction errors, and speed up the evaluation process of exam results, thereby supporting the improvement of educational evaluation quality. The system is built using the Extreme Programming (XP) method and Object-Oriented Programming (OOP) approach, utilizing use case and activity diagrams to illustrate the system flow. The technology used includes PHP, HTML, JavaScript, jQuery, and MySQL with the CodeIgniter framework, enabling the system to be accessed flexibly by admins, teachers, and students. System testing was conducted in accordance with ISO 25010 standards through surveys of 8 respondents consisting of admins, teachers, and students of SMPN 5 Tulang Bawang Barat who participated in the examination process. The test results show that the system achieved a score of 97.5%, indicating a very good success rate and that the system is feasible for implementation at SMPN 5 Tulang Bawang Barat.*

Keywords*: Sistem Computer Assisted Test (CAT), Extreme Programming, ISO 25010. Exam, Website*

1. Pendahuluan

Teknologi dapat diartikan sebagai suatu keahlian atau hal yang berkaitan dengan pengetahuan. Teknologi mencakup perkembangan perangkat keras maupun perangkat lunak yang berlandaskan ilmu pengetahuan dan berkembang seiring dengan kemajuan zaman dan kebutuhan pengguna [1] Sejalan dengan itu, perkembangan teknologi saat ini terus mengalami kemajuan yang pesat pada berbagai bidang kehidupan. Salah satu dampak dari perkembangan teknologi adalah penggunaan komputer sebagai alat bantu untuk meningkatkan akurasi, efisiensi, interaktivitas antarmuka, serta mempercepat mekanisme umpan balik dalam pelaksanaan ujian di dunia Pendidikan [2]. Penerapan komputer dalam sistem ujian tidak hanya mempermudah proses pelaksanaan, tetapi juga memperkuat fungsi ujian sebagai sarana evaluasi pembelajaran. Ujian merupakan cara untuk menilai proses belajar, yang bertujuan mengukur tingkat pencapaian tujuan pengajaran siswa. Melalui ujian, guru dan peserta didik dapat mengetahui sejauh mana kemampuan dan pemahaman mereka terhadap suatu bidang studi. Selain itu, ujian juga berfungsi sebagai media untuk menilai kemampuan, kepribadian, dan intelegensi siswa, sehingga hasilnya dapat dijadikan dasar dalam pengambilan berbagai keputusan [3]. Dalam perkembangannya, sistem ujian mulai beralih dari metode konvensional berbasis kertas menuju bentuk digital menggunakan komputer, yang dikenal sebagai *Computer Assisted Test* (CAT) [4]. Metode *Computer Assisted Test* (CAT) hadir sebagai inovasi dalam pelaksanaan ujian, memanfaatkan teknologi komputer untuk memberikan kecepatan dan efisiensi dalam evaluasi. *Computer Assisted Test* (CAT) memberikan kemampuan untuk menilai pengetahuan dan keterampilan peserta tes secara instan, meningkatkan fleksibelitas lokasi ujian, dan memanfaatkan *Passing Grade* untuk menentukan keberhasilan [5]. Ujian dengan lembar jawaban memiliki beberapa kelemahan, terutama dalam hal efisiensi waktu penilaian. Dengan lebih dari 30 siswa dalam satu kelas, guru membutuhkan waktu lama untuk menilai ujian. Seringkali, penilaian hanya berupa pemeriksaan jawaban dan pemberian nilai, tanpa evaluasi mendalam, sehingga guru tidak mengetahui materi yang belum dikuasai siswa. Selain itu, ujian tertulis berbasis lembar jawaban rentan terhadap masalah penyimpanan manual, seperti kerusakan, kehilangan, dan potensi kecurangan. Oleh karena itu, Sistem Ujian Computer Assisted Test (CAT) dikembangkan untuk memfasilitasi pelaksanaan ujian berbasis komputer, berfungsi sebagai alat evaluasi yang efektif dalam mengukur pencapaian belajar siswa, serta mendukung peningkatan kualitas Pendidikan [6].

SMPN 5 Tulang Bawang Barat merupakan salah satu sekolah yang berdada di wilayah Lampung. Pelaksanaan ujian saat ini masih menghadapi beberapa tantangan diantaranya proses ujian dan evaluasi masih dilakukan secara manual, sehingga megakibatkan proses yang berjalan kurang efisiensi dalam penggunaan waktu dan sumber daya. Proses penilaian yang dilakukan secara manual memerlukan banyak kertas dan tenaga pengoreksi, yang sering kali menyebabkan keterlambatan dan potensi kesalahan dalam penilaian. Selain itu, metode ujian konvensional juga terbatas dalam hal fleksibilitas bagi peserta ujian. Ujian harus dilaksanakan di lokasi fisik tertentu dan pada waktu yang telah ditentukan yang dapat menjadi kendala bagi siswa dengan kebutuhan khusus atau situasi yang tidak memungkinkan. Masalah lain yang dihadapi adalah terkait dengan keamanan dan integritas ujian. Sistem manual rentan terhadap kebocoran soal, manipulasi jawaban, dan kecurangan lainnya, yang dapat merusak kepercayaan terhadap hasil ujian. Untuk mengatasi masalah-masalah tersebut maka maka dikembangkan sistem *Computer Assisted Test* (CAT). Ujian menggunakan CAT dapat dilakukan secara lebih efisien dan fleksibel, dengan mengurangi ketergantungan pada kertas dan tenaga pengoreksi. Selain itu, sistem akan meningkatkan keamanan dan integritas ujian, serta memberikan evaluasi yang lebih akurat dan cepat terhadap kemampuan siswa, sehingga kualitas pendidikan di SMPN 5 Tulang Bawang Barat dapat terus ditingkatkan.

Untuk mendukung solusi dalam pengembangan sistem ini, peneliti akan merujuk pada dua studi literatur sebelumnya yang memiliki masalah serupa dengan SMPN 5 Tulang Bawang Barat, yang pertama literasi dari [7] yang berjudul, “Peran Computer Assited Test dalam Implementasi

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Penilaian di SD Negeri 005 Palaran". Pada literasi ini mengangkat sebuah permasalahan yaitu kesulitan guru dalam penilaian di satuan pendidikan Sekolah Dasar, dimana masih kurang efisiennya sistem ujian dengan metode konvensional dimana harus memperbanyak atau menggandakan soal untuk ujian tersebut, kurangnya transparansi nilai secara langsung oleh orang tua. Untuk mengatasi masalah pada literasi ini dibangun sebuah sistem Computer Assited Test (CAT) yang bisa membantu dalam proses penilaian dalam satuan pendidikannya dengan salah satunya bisa melakukan analisis jawaban dan soal sehingga guru secara otomatis mengetahui tingkat yang menjawab benar dan menjawab salah. Penilitian ini bertujuan untuk membangun Sistem *Computer Assisted Test* (CAT) di SMPN 5 Tulang Bawang Barat yang dapat membantu dalam pengelolaan ujian, mulai dari pencatatan hasil ujian, manajemen soal, hingga pembuatan laporan, sehingga meningkatkan efisiensi waktu dan kualitas evaluasi Pendidikan.

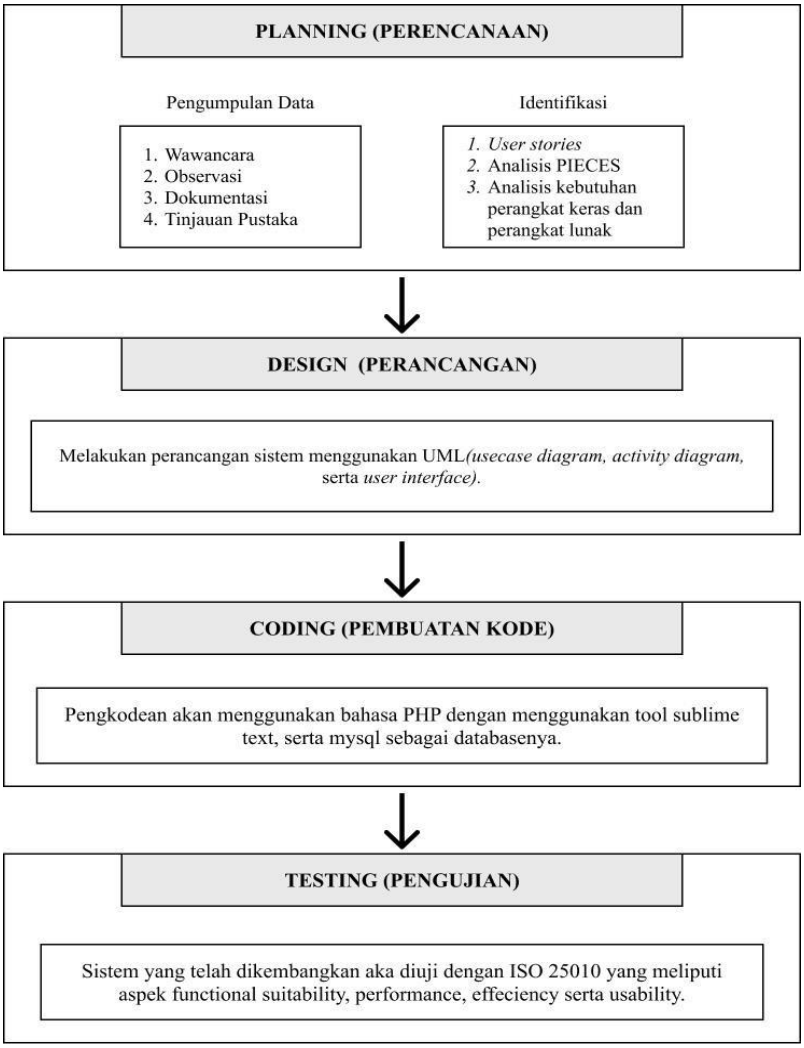
2. Metode Penelitian

2.1. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang dipakai untuk penelitian ini menggunakan metode *extreme programing* (XP). Metode ini terdiri dari empat tahapan utama yaitu:

a. Perencanaan (*Planning*).
   Pada tahap ini, dilakukan penetapan fitur, batasan, dan tujuan dari sistem melalui diskusi dengan calon pengguna. Tujuannya adalah untuk mendapatkan pemahaman yang jelas tentang apa yang dibutuhkan oleh sistem.
b. Desain Sistem (*Design*).
   Selanjutnya tahap desain, arsitektur sistem dibentuk berdasarkan kebutuhan yang telah diidentifikasi sebelumnya. selain itu, dilakukan identifikasi dan pemodelan terhadap komponen-komponen dasar dari perangkat lunak serta hubungan antar komponen tersebut.
c. Pengenbangan (*Coding*)
   Tahapan pengembangan mencakup realisasi desain perangkat lunak ke dalam bentuk kode program. Setiap bagian dari program akan dikembangkan sesuai dengan spesifikasi yang telah dirancang.
d. Pengujian (*Testing*)
   Terakhir tahap pengujian, semua unit program yang telah dikembangkan akan diintegrasikan menjadi satu kesatuan sistem dan diuji secara menyeluruh untuk memastikan bahwa sistem sudah sesuai dengan kebutuhan. Untuk dapat melihat lebih jelas tahapan penelitian terdapat pada gambar di bawah ini.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 1. Tahapan Penelitian

2.2. Metode Pengumpulan Data

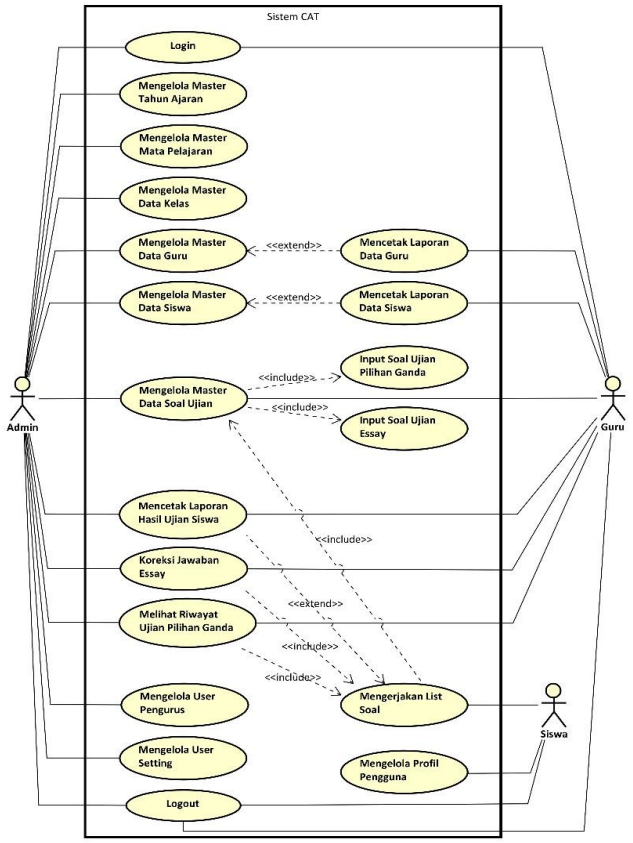
Metode pengumpulan data dalam penelitian ini mencakup observasi, wawancara, studi literatur, dan dokumentasi. Observasi dilakukan di SMPN 5 Tulang Bawang Barat untuk memperoleh gambaran nyata terkait proses ujian yang masih berjalan secara manual. Wawancara dilakukan dengan guru dan staf administrasi guna mengidentifikasi kendala dalam pelaksanaan ujian. Studi literatur digunakan untuk memperkuat landasan teoritis, sedangkan dokumentasi mengumpulkan data dari arsip dan dokumen pendukung.

2.3. Perancangan

2.3.1. Use Case

Use case diagram adalah model dalam *Unified Modelling Language* (UML) yang menggambarkan interaksi antara pengguna dan sistem yang dikembangkan. *Use case diagram* dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

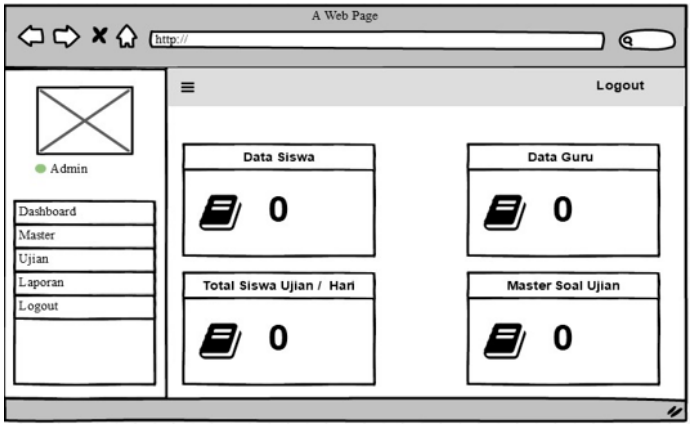
ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar. 4 Rancangan *Activity Diagram* Admin

2.4. Perancangan Halaman Sistem

Rancangan halaman utama sistem CAT berbasis web berfungsi sebagai pusat navigasi bagi pengguna yang telah berhasil *login*. Halaman ini akan menampilkan antarmuka yang sederhana dan intuitif dengan navigasi yang jelas. Untuk peserta ujian, halaman utama akan menampilkan informasi terkait ujian yang akan datang, waktu pelaksanaan, serta tombol untuk memulai ujian. Di sisi lain, untuk admin dan guru, halaman utama menyediakan akses cepat ke fitur-fitur pengelolaan seperti daftar peserta, jadwal ujian, dan laporan hasil ujian. Desain responsif dan konsistensi warna juga diperhatikan untuk memastikan kenyamanan pengguna dalam mengakses informasi di berbagai perangkat.



Gambar. 5 Rancangan Halaman Utama

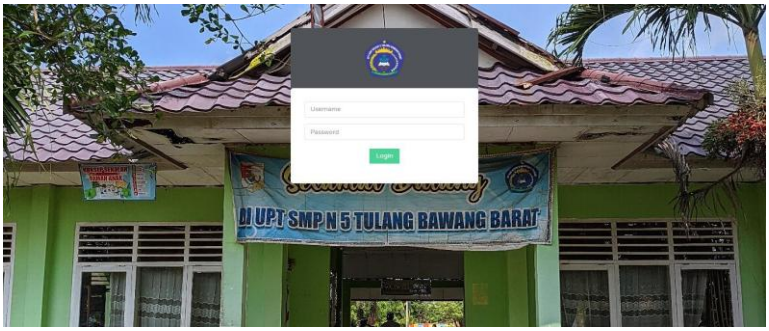
ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Selain rancangan halaman utama yang ditampilkan, sistem juga memiliki sejumlah rancangan halaman lain yang saling terhubung untuk mendukung pengelolaan ujian, sebagai berikut: 1) Halaman Login**,** berfungsi sebagai akses awal bagi pengguna sesuai peran masing-masing; 2) Halaman Data User**;** 3) Data Guru**;** 4) Mata Pelajaran**;** 5) Tahun Ajaran**;** 6) Data Siswa**;** 7) Data Kelas, digunakan untuk mengelola informasi dasar yang dibutuhkan dalam pelaksanaan ujian; 8) Halaman Data Ujian**;** dan 9) Data Soal Ujian**,** yang berperan dalam pengaturan jadwal serta pengelolaan butir soal yang akan diujikan. Setelah ujian selesai, hasilnya dapat dipantau melalui ; 10) Halaman Laporan Ujian Siswa; 11) Halaman Daftar Ujian menampilkan daftar ujian yang dapat diikuti oleh siswa. Seluruh rancangan halaman tersebut dirancang secara konsisten dan mudah dipahami guna mendukung efektivitas sistem secara keseluruhan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Implementasi

Implementasi melibatkan langkah di mana para pengembang sistem mengubah *pseudocode* menjadi kode yang dapat dieksekusi. Dalam konteks studi ini, penulis menggunakan bahasa pemrograman seperti PHP dan *JavaScript*, serta *framework* seperti *CodeIgniter* dan *Bootstrap* versi 5. Hasil dari sistem informasi ujian online yang telah dibuat dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar. 6 Tampilan Halaman Login

3.2. Pengujian

Pengujian sistem menggunakan ISO 25010 dengan lima variabel yaitu Functional Suitability, Performanace Efficiency, Usablity, Portability, Reability, Security. Masing-masing hasil pengujian dari variable tersebut dapat dilhat pada Tebel 1.

Tabel. 1 Pengujian *ISO 25010*

Aspek	Skor Aktual	Skor Ideal	%Skor Aktual	Kreteria
Functional Suitability	898	920	97,61%	Sangat Baik
Performanace Efficiency	426	440	96,82%	Sangat Baik
Usablity	775	800	96,88%	Sangat Baik
Portability	354	360	98,33%	Sangat Baik
Reability	509	520	97,88%	Sangat Baik
Security	585	600	97,5%	Sangat Baik
Total	3547	3640	97,5%	Sangat Baik

Berdasarkan pengujian *ISO* 25010 dengan 8 responden dan total skor 97,5%, maka sistem CAT yang dikembangkan sangat baik dan sangat layak diterapkan untuk mengelola ujian berbasis *website* pada SMPN 5 Tulang Bawang Barat.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

4. Kesimpulan

Pengembangan Sistem *Computer Assisted Test* berbasis website di SMPN Tulang Bawang Barat telah tercapai dengan baik. Sistem yang dikembangkan mampu mengatasi permasalahan utama dalam pelaksanaan ujian manual, seperti keterlambatan pengolahan nilai, penggunaan kertas yang berlebihan, serta potensi kesalahan dalam proses koreksi. Melalui sistem ini seluruh proses ujian mulai dari pengelolaan data peserta, mata pelajaran, jadwal, hingga penilaian dapat dilakukan secara otomatis dan terintregrasi dalam suatu basis data yang efisien.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Teknokrat Indonesia yang telah memberikan kontribusi pendanaan pada penelitian ini. Terima kasih kepada SMPN 5 Tulang Bawang Barat yang berkontribusi pada penyediaan tempat penelitian dan data yang di perlukan.

Referensi

[1] A. Taufik, S. Kom, M. Bernadus Gunawan Sudarsono, and M. Kom, *Taufik, A., Sudarsono, G., Sudaryana, I. K., & Muryono, T. T. (2022). Pengantar teknologi informasi. Yayasan Drestanta Pelita Indonesia, 1-113.*

[2] M. R. Maulani and S. Supriady, "Implementasi Item Response Theory Model Three-Parameter Logistics Pada Aplikasi Computerized Adaptive Test," *J. Ilm. Media Sisfo*, vol. 16, no. 1, p. 1, 2022, doi: 10.33998/mediasisfo.2022.16.1.1117.

[3] Nadia, V. Z. Kamila, Islamiyah, R. Wardhana, and H. J. Setyadi, "Penerapan Computerized Adaptive Test (CAT) Pada Ujian Semester Menggunakan Algoritma Teori Respon Butir Model 2 Pl Berbasis Web (Studi Kasus : Kelas Xi Sman 1 Muara Jawa Kota Samarinda)," *Adopsi Teknol. dan Sist. Inf.*, vol. 1, no. 1, pp. 36–51, 2022, doi: 10.30872/atasi.v1i1.43.

[4] S. Sanatang and M. F. B, "Sistem Tes Interaktif Berbasis Computerized Adaptive Testing (CAT)," *J. Mediat.*, vol. 4, no. 1, pp. 30–34, 2021, doi: 10.59562/mediatik.v4i1.3862.

[5] A. Rahmadhi Anugrah, Hannie, and Siska, "Perancangan Sistem Computer Assisted Test (CAT) Berbasis Website Untuk Ujian Sekolah (Studi Kasus: SDN Pengasinan IV)," *Joutica*, vol. 9, no. 1, pp. 44–54, 2024, doi: 10.30736/informatika.v9i1.1175.

[6] D. Widyaningrum, "Perancangan User Experience Aplikasi Website Computer Assisted Test (CAT) Menggunakan Five Planes Framework," *J-Intech*, vol. 11, no. 1, pp. 177–187, 2023, doi: 10.32664/j-intech.v11i1.888.

[7] K. B. Utomo, A. Azizah, and M. A. Pangestu, "Peran Computer Assited Test dalam Implementasi Penilaian di SD Negeri 005 Palaran," *J. Ilmu Siber dan Teknol. Digit.*, vol. 1, no. 1, pp. 29–39, 2022, doi: 10.35912/jisted.v1i1.1529.

ID: 22

Menuju Condition Based Maintenance yang Cerdas: Systematic Review atas Integrasi IoT dan Mesin Learning pada Alat Berat

Toward Intelligent Condition-Based Maintenance: A Systematic Review on IoT and Machine Learning Integration in Heavy Equipment

Aditya Kurniawan[1*], Kholilatul Wardani[2], Eki Ahmad Zaki Hamidi[3]
[1]Akademi Teknik Alat Berat Indonesia
Jl. Laksda Adi Sucipto No.336 A, Kota Malang, Indonesia
[2]Politeknik Kota Malang
Jl. Raya Tlogowaru No.3, Tlogowaru, Kota Malang, Indonesia
[3]UIN Sunan Gunung Djati Bandung
Jalan A.H. Nasution No. 105, Kota Bandung, Indonesia
aditya@akabi.ac.id[1*], wardani@poltekom.ac.id[2], ekiahmadzaki@uinsgd.ac.id[3]

Abstrak *- Condition-Based Maintenance (CBM) telah merevolusi manajemen aset dengan memungkinkan pengambilan keputusan berbasis data secara real-time, khususnya di sektor alat berat. Integrasi teknologi Internet of Things (IoT) dan algoritma Machine Learning (ML) membuka peluang baru untuk diagnosis prediktif, deteksi anomali, dan optimasi pemeliharaan pada unit alat berat. Artikel ini menyajikan Systematic Literature Review (SLR) menggunakan* metode *PRISMA-based 4-step selection mengenai bagaimana IoT dan ML diintegrasikan secara arsitektural dan fungsional dalam sistem CBM untuk alat berat, dengan mengidentifikasi tren utama, tantangan, dan kesenjangan penelitian. Sebanyak 130 sumber ilmiah yang diterbitkan antara tahun 2015–2025 dianalisis secara sistematis, menyoroti kemajuan dalam penerapan sensor, pemrosesan data real-time, pemodelan prediktif, dan strategi pemeliharaan terdesentralisasi. Tantangan utama yang ditemukan mencakup 1) kualitas data, 2) keterbatasan skalabilitas, 3) adaptabilitas model, serta 4) keamanan siber. Arah penelitian di masa depan diusulkan dengan menekankan pentingnya preprocessing, edge computing, skema pembelajaran ML secara online, pendekatan model hibrid untuk ML, dan infrastruktur IoT yang aman. Studi ini bertujuan untuk memberikan pandangan bagi peneliti dan praktisi dalam memahami pengembangan ekosistem CBM yang tangguh, terukur, dan cerdas khususnya untuk aplikasi industri berat.*

Kata kunci*: Condition-Based Maintenance, Internet of Things, Machine Learning, Alat Berat, Pemeliharaan Prediktif, Pemeliharaan Cerdas.*

Abstract *- Condition-Based Maintenance (CBM) has revolutionized asset management by enabling real-time, data-driven decision-making, particularly in the heavy equipment sector. The integration of Internet of Things (IoT) technologies and Machine Learning (ML) algorithms offers new possibilities for predictive diagnostics, anomaly detection, and maintenance optimization. This paper conducts a Systematic Literature Review (SLR) to examine how IoT and ML technologies are architecturally and functionally integrated within CBM systems for heavy machinery, identifying key trends, challenges, and research gaps. A total of 23 scholarly sources published between 2015 and 2025 were systematically analyzed, highlighting advances in sensor deployment, real-time data processing, predictive modeling, and decentralized maintenance strategies. Major challenges identified include data quality issues, scalability limitations, model adaptability, and cybersecurity concerns. Future research directions are proposed, emphasizing robust preprocessing pipelines, edge computing, online learning, hybrid modeling approaches, and secure IoT infrastructures.*

Keywords*: Condition-Based Maintenance, IoT, Machine Learning, Heavy Equipment, Predictive Maintenance, Smart Maintenance.*

1. Pendahuluan

Dalam beberapa tahun terakhir, Condition-Based Maintenance (CBM) telah muncul sebagai paradigma penting dalam manajemen aset industri, khususnya pada sektor-sektor yang sangat bergantung pada unit mesin bernilai tinggi seperti pertambangan, konstruksi, dan logistik [1], [2]. Berbeda dengan pemeliharaan preventif berbasis waktu (time based maintenance), CBM memungkinkan sistem melakukan pengambilan keputusan secara real-time dan berbasis data dengan menilai kondisi aktual komponen unit alat berat. Pendekatan semacam ini memberikan akurasi yang lebih baik dalam hal penggunaan sumber daya maintenance unit alat berat.

Kemajuan teknologi Internet of Things (IoT) telah merevolusi cara data operasional (misal unit alat berat) diperoleh [3]. Berbagai jenis sensor, termasuk sensor getaran, sensor suhu, sensor tekanan, dan dan sensor beban (load) kini telah terintegrasi secara baik ke dalam alat berat untuk memungkinkan pemantauan kondisi kesehatan engine secara berkelanjutan [4]. Jaringan sensor tersebut menghasilkan volume data yang besar dan bersifat heterogen (big data), yang pada dasarnya terlalu kompleks untuk dianalisis menggunakan metode tradisional.

Pada titik inilah Machine Learning (ML) memainkan peran krusial. Algoritma ML mampu mengekstraksi informasi yang kompleks tersebut agar dapat ditindaklanjuti, mengidentifikasi pola tersembunyi dalam sebuah data, mendeteksi anomali, serta memprediksi degradasi komponen dengan tingkat ketepatan yang semakin tinggi. Kombinasi antara IoT dan ML membentuk infrastruktur pemeliharaan cerdas yang mampu melakukan diagnosis prediktif serta memberikan rekomendasi tindakan preskriptif yang disesuaikan dengan konteks operasional setiap mesin. Misalnya prediksi pergantian komponen propeller shaft pada waktu tertentu sebelum terjadi kerusakan dan memberikan presripsi waktu pergantian yang spesifik pada sebuah unit alat berat tertentu tergantung dengan kondisi unit tersebut [3].

Dalam konteks alat berat, penerapan CBM memiliki nilai yang sangat signifikan mengingat tingginya biaya downtime, sulitnya pelaksanaan inspeksi manual, serta risiko operasional yang besar. Mesin seperti wheel loader, excavator, dan dump truck bekerja dalam kondisi ekstrem di lapangan. Kondisi ini mencakup paparan debu, getaran berlebih, dan panas yang menimbulkan tantangan besar terhadap keandalan sensor IoT maupun ketahanan algoritma ML [4].

Untuk memahami lanskap penelitian terkini, artikel ini melakukan Systematic Literature Review (SLR) mengenai integrasi antara IoT dan ML dalam implementasi CBM pada alat berat. Secara khusus, tinjauan ini bertujuan untuk 1) Mengidentifikasi teknologi dan pendekatan algoritmik utama yang digunakan dalam penelitian terbaru. 2) Menganalisis bagaimana IoT dan ML diintegrasikan secara arsitektural dan fungsional dalam sistem CBM. 3) Mengulas berbagai tantangan yang dilaporkan dalam penerapan praktis, termasuk masalah kualitas data, keterbatasan waktu nyata (real-time constraints), dan tingkat keterjelasan model (explainability). 4) Mengusulkan kesenjangan penelitian (research gaps) serta arah pengembangan yang dapat mendorong kemajuan di bidang ini.

Dengan mensintesis 130 sumber ilmiah yang diterbitkan antara tahun 2015 hingga 2025 (10 tahun terakhir), penelitian ini menyajikan gambaran terstruktur mengenai metode, implementasi, dan tren terkini dalam pemeliharaan cerdas (smart maintenance). Pada akhirnya, kajian ini diharapkan dapat menjadi informasi bagi para peneliti, praktisi, dan perancang sistem dalam membangun ekosistem CBM yang andal, skalabel, dan cerdas untuk aplikasi industri alat berat pada masa mendatang.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode Systematic Literature Review (SLR) dengan metode *PRISMA-based 4-step selection* (evidence-based research) di bidang teknik dan ilmu komputer. Metode ini diharapkan akan memberikan proses yang transparan, akurat, dan komprehensif dalam

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

mengidentifikasi, mengevaluasi, serta mensintesis literatur yang relevan terkait integrasi Internet of Things (IoT) dan Machine Learning (ML) dalam sistem Condition-Based Maintenance (CBM) untuk alat berat.

A. Pertanyaan Penelitian (Research Questions)

Untuk memandu proses tinjauan literatur, dirumuskan beberapa pertanyaan penelitian (Research Questions – RQs) sebagai berikut: RQ1: Teknologi IoT dan ML apa saja yang digunakan dalam sistem CBM? RQ2: Bagaimana teknologi tersebut diintegrasikan dalam konteks pemeliharaan alat berat? RQ3: Tantangan dan keterbatasan apa yang telah dilaporkan dalam implementasi sistem CBM berbasis IoT dan ML? RQ4: Isu penelitian terbuka dan arah pengembangan apa yang masih potensial untuk diteliti lebih lanjut?

B. Strategi Pencarian (Search Strategy)

Proses pencarian literatur dilakukan secara terstruktur pada berbagai basis data ilmiah terkemuka, antara lain IEEE Xplore, ScienceDirect, SpringerLink, Scopus, serta repositori ilmiah lainnya. String pencarian yang digunakan adalah sebagai berikut: ("Condition-Based Maintenance" OR "CBM") AND ("IoT" OR "Internet of Things") AND ("Machine Learning") AND ("Heavy Equipment" OR "Heavy Machinery")

Dengan string tersebut maka didapatkan 2 kelompok pasangan keyword sebagai berikut : kelompok keyword Condition-Based Maintenance yaitu : 1) Condition-Based Maintenance + IoT + Machine Learning + Heavy Equipment, 2) Condition-Based Maintenance + Internet of Things + Machine Learning + Heavy Equipment, 3) Condition-Based Maintenance + IoT + Machine Learning + Heavy Machinery, 4) Condition-Based Maintenance + Internet of Things + Machine Learning + Heavy Machinery dan kelompok keyword CBM yaitu : 1) CBM + IoT + Machine Learning + Heavy Equipment, 2) CBM + Internet of Things + Machine Learning + Heavy Equipment, 3) CBM + IoT + Machine Learning + Heavy Machinery, 4) CBM + Internet of Things + Machine Learning + Heavy Machinery

Batasan pencarian yang diterapkan meliputi: 1) Sumber ilmiah seperti artikel jurnal, prosiding konferensi, dan laporan teknis. 2) Publikasi berbahasa Inggris, dan 3) Diterbitkan dalam rentang waktu 2015 hingga 2025.

C. Kriteria Inklusi dan Eksklusi (Inclusion and Exclusion Criteria)

Kriteria Inklusi adalah sebagai berikut : 1) Artikel yang berfokus pada penerapan atau integrasi IoT dan ML dalam konteks CBM. 2) Studi yang melibatkan alat berat atau mesin industri dalam kondisi lapangan maupun simulasi. 3) Publikasi yang menyajikan kontribusi empiris, baik berupa eksperimen, simulasi, maupun penerapan nyata.

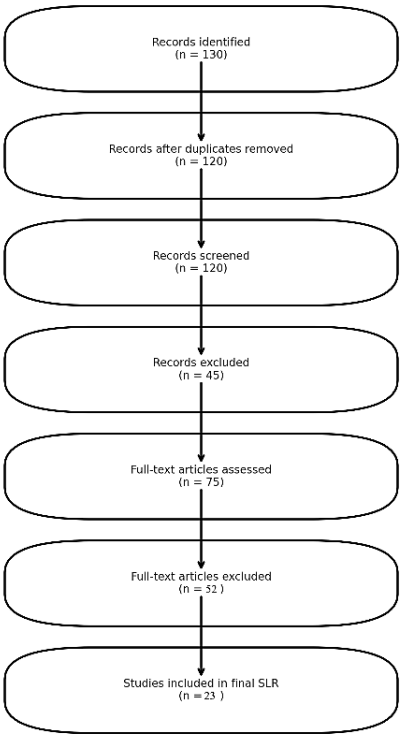
Kriteria Eksklusi adalah sebagai berikut : 1) Kajian literatur yang tidak menyajikan kontribusi teknis baru. 2) Artikel konseptual atau opini yang tidak memiliki validasi empiris. 3) Studi yang hanya menggunakan IoT atau hanya ML tanpa integrasi keduanya.

D. Proses Seleksi (Selection Process)

Pencarian awal dari berbagai basis data menghasilkan sekitar 130 artikel dari berbagai sumber. Setelah proses penghapusan duplikasi dan penyaringan berdasarkan judul serta abstrak untuk menilai relevansi, diperoleh 75 artikel yang dianggap memenuhi kriteria awal. Selanjutnya, dilakukan telaah penuh (full-text review) berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan, tersaring 23 sumber ilmiah yang digunakan dalam sintesis akhir penelitian ini.

Proses seleksi studi meliputi empat tahap utama berdasarkan *PRISMA-based 4-step selection*, yaitu 1) identifikasi, 2) penyaringan (screening), 3) penilaian kelayakan (eligibility assessment), dan 4) inklusi akhir (final inclusion), sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1 (diagram alur PRISMA).

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 1. Diagram alur *PRISMA-based 4-step selection*

Pada tahap penyaringan awal berdasarkan judul dan abstrak, sebanyak 45 artikel dikeluarkan karena tidak relevan dengan integrasi IoT dan ML dalam CBM. Selanjutnya, dari 75 artikel yang ditelaah secara penuh, 52 artikel dieliminasi berdasarkan evaluasi mendalam terhadap kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditentukan.

Rincian alasan penghapusan artikel pada tahap full-text review disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Rincian exclude artikel pada tahap full text review

Alasan Exclusion	Jumlah Artikel Excluded	Deskripsi
Literatur tidak menunjukan kontribusi baru pada ilmu	18	Artikel hanya menyimpulkan beberapa teknik tanpa mengintroduksi teknik baru
Konseptual namun kurang bukti penerapan nyata pada alat berat	14	Hanya menyajikan model teoritis tanpa ada bukti implementasi pada unit alat berat
Hanya membahas salah satu (IoT atau ML) saja tanpa integrasi	20	Hanya pendekatan pada IoT atau ML saja tanpa integrasi lebih lanjut pada unit alat berat

3. Hasil dan Pembahasan Telaah Artikel

Hasil dari proses tinjauan sistematis ini memberikan gambaran menyeluruh mengenai perkembangan penerapan Condition-Based Maintenance (CBM) pada peralatan berat, khususnya

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

melalui integrasi Internet of Things (IoT) dan Machine Learning (ML). Dari total 23 artikel terpilih yang memenuhi kriteria PRISMA-based selection, diperoleh temuan-temuan penting terkait tren teknologi, pendekatan metodologis, serta tantangan praktis dalam implementasi sistem pemeliharaan berbasis kondisi.

Analisis literatur menunjukkan bahwa penerapan CBM pada alat berat tidak hanya berfokus pada pemantauan kondisi komponen mekanis, tetapi juga pada integrasi arsitektur sensor cerdas dan model pembelajaran adaptif untuk mendukung pemeliharaan prediktif (predictive maintenance). Penelitian-penelitian terpilih kemudian diklasifikasikan ke dalam empat area utama, yaitu: 1) CBM dalam konteks peralatan berat, yang membahas prinsip dasar dan aplikasi praktis pada mesin seperti wheel loader, excavator, dan dump truck; 2) Teknologi IoT untuk CBM, yang berfokus pada pemanfaatan sensor dan jaringan komunikasi untuk akuisisi data secara real-time; 3) Pendekatan Machine Learning, yang mengulas metode analitik dan algoritma cerdas untuk deteksi anomali serta prediksi degradasi komponen; dan 4) Integrasi IoT dan ML terhadap CBM, yang menyoroti sinergi antara kedua teknologi dalam mewujudkan sistem pemeliharaan cerdas yang adaptif dan efisien.

Selain empat area utama tersebut, hasil kajian juga mengidentifikasi beberapa kesenjangan penelitian (research gaps) yang masih perlu ditangani, mencakup aspek kualitas data sensor, skalabilitas sistem, adaptabilitas model, eksplorasi model hibrid, validasi dan benchmarking, serta keamanan data dan privasi dalam ekosistem industri berbasis IoT.

3.1. Penerapan CBM pada Alat Berat

Peralatan berat seperti wheel loader, excavator, bulldozer, dan dump truck memiliki peran yang sangat penting dalam industri berdampak tinggi seperti pertambangan, konstruksi, kehutanan, dan pertanian [1], [5]. Mesin-mesin tersebut beroperasi dengan siklus beban yang intensif dan dalam lingkungan kerja yang keras, sehingga komponen-komponennya mengalami degradasi lebih cepat serta memiliki risiko kegagalan tak terduga yang lebih tinggi [6], [7].

Teknik pemantauan kondisi tradisional, seperti analisis getaran (vibration analysis) dan termografi (thermography), telah lama menjadi fondasi dalam praktik pemeliharaan alat berat karena mampu memberikan indikator awal terhadap potensi kerusakan mekanis [8]. Meskipun metode tersebut terbukti efektif, penerapan sistem pemantauan berkelanjutan berbasis Internet of Things (IoT) kini semakin berkembang untuk meningkatkan ketepatan diagnosis dan memperluas kemampuan deteksi dini terhadap gangguan operasional.

Dalam konteks ini, Condition-Based Maintenance (CBM) berfokus pada penilaian kondisi aktual komponen-komponen kritis secara real-time, seperti aktuator hidrolik, sistem transmisi daya (powertrain), sistem mesin, dan mekanisme pengereman [9]. Parameter-parameter penting seperti viskositas oli, tekanan silinder, tanda getaran, dan suhu mesin dipantau melalui sensor yang tertanam secara langsung pada unit peralatan [10], [11]. Tujuan utama dari pendekatan ini adalah melakukan pergeseran paradigma dari pemeliharaan rutin berbasis waktu menuju intervensi pemeliharaan adaptif yang didasarkan pada kondisi aktual komponen.

Dibandingkan dengan aset industri yang bersifat stasioner, alat berat menghadirkan tantangan tersendiri, antara lain tingkat mobilitas dan variasi medan operasi, keterbatasan konektivitas jaringan di lokasi terpencil, serta siklus operasi yang beragam — seluruhnya berkontribusi pada kompleksitas pemodelan dan deteksi anomali [5], [12]. Meskipun demikian, penerapan CBM pada peralatan berat menjanjikan peningkatan waktu operasi (uptime), pemanfaatan aset yang lebih optimal, serta peningkatan keselamatan kerja, terutama pada lingkungan dengan risiko tinggi di mana inspeksi manual sulit dilakukan [6].

Berbagai studi telah meneliti integrasi teknologi IoT dan Machine Learning (ML) untuk mengatasi tantangan-tantangan tersebut. Penelitian oleh Wardani dan Kurniawan [1] menelaah

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

peran kecerdasan buatan (artificial intelligence) dalam meningkatkan efektivitas pemeliharaan prediktif pada operasi alat berat. De La Fuente et al. [5] menunjukkan penerapan model ML dalam strategi pemeliharaan peralatan pertambangan bergerak, dengan hasil peningkatan signifikan terhadap akurasi prediksi kerusakan. Kerangka kerja pemantauan waktu nyata (real-time monitoring frameworks) yang dikembangkan oleh Nguyen dan Park [7] memungkinkan deteksi dini kesalahan melalui integrasi sensor tingkat lanjut.

Dalam konteks peralatan konstruksi, Zhou dan Zhang [6] menampilkan bagaimana kerangka kerja pemeliharaan prediktif cerdas dapat secara signifikan mengurangi gangguan operasional. Selain itu, Rahman dan Islam [9] menerapkan analitik data besar (big data analytics) untuk meningkatkan pemantauan kondisi pada mesin pertambangan berskala besar, sekaligus menunjukkan kemampuan skalabilitas sistem CBM dalam menangani data sensor yang beragam.

Secara keseluruhan, hasil-hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa penerapan sinergi antara IoT dan ML dalam sistem CBM untuk alat berat tidak hanya mampu mengurangi waktu henti yang tidak terencana (unplanned downtime), tetapi juga mengoptimalkan alokasi sumber daya. Hal ini pada akhirnya menghasilkan operasi yang lebih aman, efisien, dan hemat biaya [10], [11].

3.2. Teknologi IoT untuk CBM

Integrasi teknologi Internet of Things (IoT) ke dalam kerangka kerja Condition-Based Maintenance (CBM) telah secara signifikan mengubah paradigma pemeliharaan tradisional. Penerapan jaringan sensor yang beragam pada mesin memungkinkan pemantauan parameter kritis secara real-time, seperti getaran, suhu, tekanan, dan viskositas fluida [6], [7]. Sistem yang didukung IoT memfasilitasi akuisisi data secara berkelanjutan dari berbagai komponen operasional, sehingga memungkinkan pelaksanaan diagnosis prediktif serta deteksi anomali tanpa memerlukan inspeksi manual secara berkala [10], [11]. Transformasi ini mendukung pergeseran dari jadwal pemeliharaan berbasis waktu yang kaku menuju intervensi adaptif yang dipandu oleh kondisi aktual, yang pada akhirnya meminimalkan waktu henti (downtime) dan meningkatkan keandalan aset [12].

Sejumlah penelitian menyoroti peran penting IoT dalam pengembangan sistem CBM. Zhou dan Zhang [6] mengusulkan sebuah kerangka kerja pemeliharaan prediktif cerdas yang memanfaatkan teknik multi-sensor fusion untuk mengoptimalkan deteksi kesalahan pada peralatan konstruksi. Nguyen dan Park [7] mengembangkan platform pemantauan waktu nyata yang dapat dikonfigurasi ulang untuk peralatan berat dengan memanfaatkan perangkat IoT guna memastikan deteksi dini anomali dalam kondisi operasi yang dinamis. Sementara itu, Martins dan Costa [10] menunjukkan bahwa integrasi kerangka kerja IoT ke dalam protokol pemeliharaan mesin konstruksi secara signifikan mampu menurunkan tingkat kegagalan mesin yang tidak terduga serta mengurangi biaya layanan.

Inovasi terkini juga berfokus pada upaya mengatasi keterbatasan komunikasi dan komputasi yang melekat pada sistem IoT. Song et al. [12] mengeksplorasi strategi edge intelligence, yaitu pendekatan yang memproses data sensor lebih dekat dengan sumbernya untuk mengurangi latensi dan meningkatkan kemampuan pengambilan keputusan secara waktu nyata. Pendekatan ini sangat penting terutama pada lingkungan terpencil atau ekstrem di mana alat berat beroperasi. Selain itu, Becker et al. [13] mengusulkan model federated autoencoder yang disesuaikan untuk sistem Industrial IoT (IIoT), yang memungkinkan deteksi anomali secara desentralisasi tanpa mengorbankan privasi data suatu aspek penting dalam ekosistem industri kolaboratif.

Selain metrik kesehatan mesin tradisional, pendekatan terbaru juga menggabungkan analitik data tingkat lanjut dan platform berbasis cloud untuk mengorkestrasi pemeliharaan prediktif. Elvis dan Habeeb [14] dalam studi empirisnya mengintegrasikan teknik IoT dan Machine Learning (ML) untuk membangun model pemeliharaan prediktif yang berskala dan adaptif, yang

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

dapat diterapkan pada berbagai armada alat berat. Secara paralel, Horrell dan Reynolds [11] menekankan sinergi antara big data dan IoT dalam mentransformasi strategi pemeliharaan di berbagai industri berat.

Secara keseluruhan, perkembangan-perkembangan tersebut menunjukkan bahwa teknologi IoT tidak hanya berperan sebagai tulang punggung bagi penerapan CBM secara real-time, tetapi juga membuka peluang baru untuk membangun ekosistem pemeliharaan yang tangguh, cerdas, dan dapat diskalakan [14], [6], [7], [10], [12], [13], [11], [15].

3.3. Pendekatan Machine Learning

Integrasi teknik Machine Learning (ML) ke dalam sistem Condition-Based Maintenance (CBM) telah secara signifikan meningkatkan kemampuan untuk memprediksi dan memitigasi kegagalan peralatan. Algoritma ML mampu mengungkap pola tersembunyi dalam data sensor, memodelkan perilaku sistem yang kompleks, serta memproyeksikan tingkat degradasi komponen, sehingga kegiatan pemeliharaan dapat dijadwalkan secara tepat sebelum kegagalan terjadi [14], [5], [16]. Strategi pemeliharaan prediktif yang memanfaatkan ML telah banyak diakui karena kemampuannya dalam memprediksi potensi kerusakan berdasarkan aliran data historis maupun real-time [17]. Selain itu, teknik supervised learning khususnya menunjukkan performa yang kuat dalam prediksi kesehatan peralatan di berbagai bidang industri. Pendekatan pemantauan berbasis ambang batas (threshold-based monitoring) secara bertahap digantikan oleh analitik prediktif berbasis data yang menawarkan akurasi lebih tinggi serta kemampuan pembelajaran adaptif [4], [18].

Beragam teknik ML telah diterapkan untuk meningkatkan efektivitas sistem CBM. De La Fuente et al. [5] menerapkan algoritma supervised learning seperti decision tree dan support vector machine (SVM) guna memperbaiki strategi pemeliharaan prediktif pada peralatan pertambangan bergerak. Hossain dan Ahmed [16] melakukan studi komparatif terhadap berbagai classifier ML untuk mendeteksi kerusakan dan memperkirakan tingkat keparahannya, dan menemukan bahwa model ansambel (ensemble models) sering kali menunjukkan kinerja lebih baik dibandingkan model tunggal, terutama pada lingkungan operasional yang kompleks. Sementara itu, Kolokas et al. [4] mengusulkan kerangka kerja ML yang sangat efektif untuk estimasi kondisi aset industri, dengan memanfaatkan teknik feature engineering dan optimasi model guna memaksimalkan akurasi prediksi.

Model klasifikasi canggih yang dirancang khusus untuk alat berat juga telah dikembangkan. Al Bardan [3] memperkenalkan model ML hibrida yang menggabungkan metode statistik dengan neural network untuk mengklasifikasikan kegagalan peralatan dengan ketahanan yang lebih baik terhadap variasi profil operasi. Di sisi lain, De la Fuente et al. [19] meneliti penerapan arsitektur TinyML, yang memungkinkan deteksi anomali ringan (lightweight) dan waktu nyata langsung pada perangkat tertanam (embedded devices)—sebuah inovasi penting untuk lingkungan dengan keterbatasan sumber daya komputasi.

Integrasi antara IoT dan ML semakin memperkuat kerangka kerja CBM dengan memungkinkan aliran data sensor yang berkelanjutan untuk digunakan dalam sistem pembelajaran daring (online learning systems) [14], [10], [15]. Sinergi ini mendukung pembaruan model adaptif secara berkelanjutan, sehingga sistem dapat menyesuaikan diri terhadap pola degradasi yang berubah dalam kondisi operasi nyata. Martins dan Costa [10] menunjukkan bahwa penggabungan infrastruktur IoT dengan model ML dapat secara signifikan mengurangi waktu henti tak terencana (unscheduled downtime) pada armada peralatan konstruksi.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Secara keseluruhan, pendekatan berbasis ML menyediakan kecerdasan komputasional (computational intelligence) yang dibutuhkan untuk mentransformasi CBM dari sistem pemantauan statis menjadi sistem pemeliharaan dinamis dan prediktif. Transformasi ini tidak hanya meningkatkan keandalan operasional dan efisiensi biaya, tetapi juga memperkuat keselamatan kerja di berbagai sektor industri berat [5], [3], [16], [19].

3.4. Integrasi IoT dan Machine Learning Terhadap CBM

Konvergensi teknologi Internet of Things (IoT) dan Machine Learning (ML) telah secara fundamental meningkatkan kemampuan sistem Condition-Based Maintenance (CBM). IoT memungkinkan akuisisi data secara real-time melalui jaringan sensor terdistribusi, sementara algoritma ML menyediakan kapasitas analitik untuk menafsirkan pola operasional yang kompleks serta memprediksi kegagalan peralatan dengan tingkat presisi yang tinggi [14], [10], [21]. Integrasi keduanya memfasilitasi pergeseran paradigma dari pemeliharaan reaktif menuju pemeliharaan prediktif, yang memungkinkan manajer aset mengambil keputusan berbasis data sesuai dengan kondisi kesehatan aktual peralatan [6].

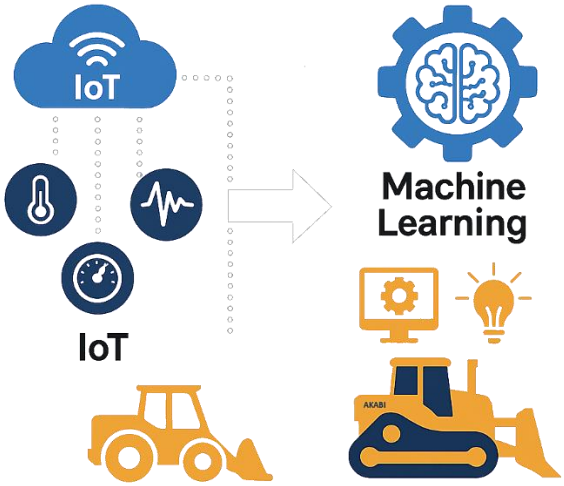
Berbagai penelitian telah berhasil menunjukkan potensi sinergis antara IoT dan ML dalam penerapan CBM. Elvis dan Habeeb [14] mengusulkan sebuah model pemeliharaan prediktif yang memanfaatkan sensor IoT untuk memantau kondisi mesin secara berkelanjutan dan menggunakan algoritma ML untuk memprediksi degradasi komponen. Pendekatan mereka menekankan aspek skalabilitas dan penerapan di dunia nyata, sehingga dapat menjadi model acuan bagi implementasi industri. Demikian pula, Zhou dan Zhang [6] mengembangkan sistem pemeliharaan prediktif cerdas untuk peralatan konstruksi, yang menunjukkan bahwa penggabungan data multi-sensor melalui model ML secara signifikan meningkatkan kemampuan deteksi kesalahan serta menurunkan biaya pemeliharaan.

Martins dan Costa [10] mengeksplorasi arsitektur pemeliharaan prediktif berbasis IoT yang dirancang khusus untuk peralatan konstruksi, dengan mengintegrasikan aliran data sensor ke dalam classifier ML guna meningkatkan kemampuan deteksi dini anomali. Temuan mereka menegaskan pentingnya sinkronisasi antara pemilihan sensor, pra-pemrosesan data, dan penyetelan model untuk memaksimalkan kinerja prediktif. Selain itu, Temer dan Pehl [15] menganalisis evolusi kerangka kerja pemantauan cerdas, dan menunjukkan bahwa sinergi IoT–ML tidak hanya mengoptimalkan waktu operasi peralatan (equipment uptime), tetapi juga memungkinkan penerapan strategi pemeliharaan adaptif dalam lingkungan industri yang dinamis dan kompleks.

Dengan demikian, integrasi IoT dan ML dalam sistem CBM merepresentasikan pergeseran paradigma menuju ekosistem pemeliharaan cerdas (intelligent maintenance ecosystems). Sinergi ini memberdayakan organisasi untuk melaksanakan intervensi proaktif, meminimalkan gangguan operasional, memperpanjang siklus hidup aset, serta meningkatkan keselamatan kerja [14], [6], [10], [15]. Seiring dengan meningkatnya kompleksitas sistem industri modern, integrasi yang mulus antara IoT dan ML menjadi elemen krusial dalam menjaga keandalan serta daya saing pada sektor-sektor industri dengan tingkat dampak tinggi.

Integrasi konseptual antara IoT dan ML untuk CBM pada peralatan berat digambarkan secara ilustratif pada Gambar 2.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 2. Integrasi konseptual antara IoT dan ML untuk CBM

3.5. Kesenjangan Penelitian dan Arah Penelitian Masa Depan

Meskipun integrasi Internet of Things (IoT) dan Machine Learning (ML) telah meningkatkan kemampuan pemeliharaan prediktif secara signifikan, metode analisis keandalan tradisional dan diagnosis kesalahan (fault diagnosis) tetap memiliki peran penting untuk memastikan keterjelasan model (model interpretability) serta kepercayaan operasional (operational trust) [20]. Namun demikian, aspek-aspek tersebut masih relatif kurang dieksplorasi dalam kerangka kerja Condition-Based Maintenance (CBM) modern.

Terlepas dari berbagai kemajuan yang telah dicapai dalam integrasi IoT dan ML untuk CBM pada peralatan berat, masih terdapat sejumlah kesenjangan penelitian (research gaps) yang krusial dan perlu diatasi agar potensi penuh dari sistem pemeliharaan cerdas dapat terwujud. Masalah tersebut meliputi

1. Tantangan Kualitas dan Heterogenitas Data.

Kerangka kerja CBM saat ini sangat bergantung pada kualitas data sensor. Namun, peralatan berat di dunia nyata beroperasi dalam kondisi yang sangat bervariasi, menghasilkan data yang sering kali berisik (noisy), tidak lengkap (incomplete), dan heterogen. Sebagian besar penelitian terdahulu [14], [6], [10], [15] mengasumsikan bahwa data masukan selalu bersih dan konsisten, padahal hal tersebut jarang mencerminkan realitas operasional di lapangan. Penelitian di masa mendatang perlu mengembangkan alur pra-pemrosesan data yang tangguh (robust data preprocessing pipelines), teknik penyaringan anomali (anomaly filtering), serta strategi adaptasi domain (domain adaptation) untuk meningkatkan keandalan model di berbagai lingkungan operasional.

2. Keterbatasan Skalabilitas dan Pemrosesan Waktu Nyata

Meskipun sejumlah arsitektur IoT-ML telah diusulkan [6], [7], [12], sebagian besar masih berfokus pada implementasi berskala kecil. Penerapan CBM secara luas pada armada peralatan berat menghadapi tantangan besar terkait latensi komunikasi, konsumsi bandwidth, dan kemampuan inferensi waktu nyata.

Integrasi paradigma komputasi tepi (edge computing), seperti penerapan model TinyML [19] dan kerangka kerja edge-intelligence [12], menjadi sangat penting untuk memungkinkan pemrosesan terdesentralisasi berlatensi rendah yang dapat dilakukan langsung pada unit mesin atau di dekatnya.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

3. Generalisasi dan Adaptabilitas Model

Model Machine Learning dalam sistem CBM yang ada umumnya dilatih menggunakan dataset statis [5], [16]. Namun, profil operasional peralatan berat berubah seiring waktu, menyebabkan pergeseran data (data drift) dan penurunan performa model.

Oleh karena itu, arsitektur CBM masa depan perlu mengintegrasikan kemampuan pembelajaran daring (online learning), pembaruan model secara inkremental (incremental model updates), serta pendekatan transfer learning agar model mampu beradaptasi terhadap pola operasional baru tanpa memerlukan pelatihan ulang yang ekstensif.

4. Keterbatasan Eksplorasi Pendekatan Model Hibrida

Masih terdapat kesenjangan signifikan dalam pemanfaatan model hibrida, yaitu model yang menggabungkan simulasi berbasis fisika (physics-based simulations) dengan model pembelajaran berbasis data (data-driven ML models) [14], [3], [10].

Dengan mengintegrasikan pengetahuan domain, seperti kinematika sistem hidrolik atau termodinamika pendinginan mesin, ke dalam model pembelajaran, CBM dapat mencapai tingkat interpretabilitas, keandalan, dan penjelasan kesalahan (fault explainability) yang lebih tinggi — aspek penting untuk penerapan di lingkungan industri.

5. Kekurangan Validasi dan Benchmarking

Banyak kerangka kerja CBM berbasis IoT-ML yang belum memiliki standar benchmarking lintas skenario operasional [14], [10], [11].

Penelitian ke depan perlu mengembangkan dataset publik bersama (shared public datasets) untuk pemeliharaan alat berat, menetapkan protokol evaluasi yang konsisten, serta mengadopsi teknik Explainable Artificial Intelligence (XAI) guna memvalidasi keputusan model, terutama dalam konteks yang berkaitan dengan keselamatan operasional.

6. Isu Keamanan Siber dan Privasi Data

Dengan meningkatnya konektivitas sistem CBM berbasis IoT, keamanan data dan privasi informasi menjadi perhatian utama. Hanya sedikit penelitian yang secara memadai membahas kerentanan potensial dalam jaringan sensor dan alur inferensi ML [13], [15].

Riset mendatang perlu diarahkan pada pengembangan protokol transmisi data yang aman, mekanisme verifikasi integritas berbasis blockchain, serta arsitektur federated learning untuk menjamin ketahanan (resilience) dan keandalan (trustworthiness) sistem CBM di masa depan.

3.6. Pembahasan Research Questions

RQ1: Teknologi IoT dan ML apa saja yang digunakan dalam sistem CBM?
Tinjauan ini menemukan bahwa berbagai teknologi Internet of Things (IoT) telah banyak digunakan dalam sistem Condition-Based Maintenance (CBM), di antaranya sensor getaran (vibration sensors), pemantau suhu (temperature monitors), transduser tekanan (pressure transducers), dan penganalisis kualitas oli (oil quality analyzers) [6], [7], [10].
Dari sisi Machine Learning (ML), sejumlah teknik seperti supervised classifiers (misalnya decision tree dan support vector machine), ensemble models, serta pendekatan deep learning telah diterapkan secara luas untuk mendukung diagnosis prediktif (predictive diagnostics) [5], [16], [19].

RQ2: Bagaimana teknologi-teknologi tersebut diintegrasikan dalam konteks pemeliharaan alat berat?
Integrasi IoT dan ML dilakukan melalui pemanfaatan jaringan sensor untuk mengumpulkan data operasional secara berkelanjutan dari berbagai komponen alat berat. Data tersebut kemudian diproses melalui tahap pra-pemrosesan (preprocessing) sebelum dimasukkan ke dalam model ML

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

yang berfungsi untuk deteksi anomali, klasifikasi kerusakan, dan prediksi umur pakai tersisa (Remaining Useful Life/RUL).
Kerangka integrasi yang digunakan bervariasi, mulai dari arsitektur terpusat berbasis cloud (cloud-based) hingga solusi desentralisasi berbasis edge intelligence [14], [6], [12].

RQ3: Apa saja tantangan dan keterbatasan yang dilaporkan dalam implementasi sistem CBM berbasis IoT dan ML?
Beberapa tantangan utama yang dilaporkan dalam implementasi sistem CBM berbasis IoT-ML mencakup: 1) Menjaga kualitas data dalam lingkungan operasional yang keras dan dinamis, 2) Mengelola latensi komunikasi dan keterbatasan bandwidth di lokasi terpencil, 3) Menyesuaikan model terhadap kondisi operasi yang berubah-ubah, 4) Mengatasi risiko keamanan siber (cybersecurity), serta 4) Kekurangan protokol evaluasi yang terstandar untuk validasi performa sistem [14], [5], [10], [12], [13].

RQ4: Apa saja isu penelitian terbuka dan arah penelitian potensial untuk masa depan?
Penelitian di masa mendatang perlu difokuskan pada pengembangan kerangka kerja CBM yang tangguh dan dapat diskalakan (robust and scalable frameworks) dengan mengintegrasikan: 1) Edge computing untuk pemrosesan data secara lokal dan efisien, 2) Federated learning guna menjaga privasi data antarperangkat, 3) Model hibrida (physics–ML models) yang menggabungkan model fisik dan pembelajaran mesin, 4) Teknik adaptasi daring (online adaptation) untuk memperbarui model secara dinamis, serta 5) Infrastruktur IoT yang aman untuk menjamin keandalan sistem.
Upaya dalam mengatasi berbagai kesenjangan tersebut akan menjadi kunci untuk membangun sistem pemeliharaan otonom yang tangguh, cerdas, dan berkelanjutan pada peralatan berat [22], [23].

4. Kesimpulan

Konvergensi teknologi Internet of Things (IoT) dan Machine Learning (ML) menandai titik penting dalam evolusi Condition-Based Maintenance (CBM) pada peralatan berat. Kajian sistematis ini menyoroti bagaimana fusi antara jaringan sensor real-time dan algoritma cerdas telah mentransformasi praktik pemeliharaan dari pendekatan reaktif menjadi disiplin yang proaktif dan prediktif, yang mampu melindungi keberlangsungan operasi industri dengan tingkat ketepatan yang belum pernah dicapai sebelumnya.

Namun, perjalanan menuju sistem pemeliharaan yang benar-benar cerdas masih jauh dari selesai. Sejumlah tantangan masih perlu diatasi, antara lain peningkatan kemampuan adaptasi model, penjaminan keamanan data dalam ekosistem IoT berskala besar, integrasi pengetahuan fisik yang spesifik terhadap domain industri, serta pengembangan kerangka pemeliharaan yang bersifat skalabel dan mampu belajar secara mandiri (self-learning frameworks). Kesenjangan-kesenjangan ini bukanlah hambatan, melainkan undangan untuk berinovasi lebih lanjut.

Masa depan CBM terletak pada pembangunan ekosistem pemeliharaan otonom dan cerdas, di mana peralatan berat mampu memantau, mendiagnosis, bahkan mengoptimalkan kinerjanya secara mandiri. Pencapaian visi ini membutuhkan kolaborasi lintas disiplin yang kuat antara bidang rekayasa mekanik, ilmu data, keamanan siber, dan desain sistem. Dengan menjembatani kesenjangan penelitian yang ada saat ini, sistem pemeliharaan cerdas di masa depan tidak hanya akan memperpanjang umur aset dan meningkatkan keselamatan operasional, tetapi juga akan menjadi fondasi bagi dunia industri yang lebih cerdas, efisien, dan berkelanjutan.

Arah ke depan sudah jelas: mentransformasikan pemeliharaan menjadi kecerdasan, dan mengubah kecerdasan menjadi dampak yang berkelanjutan.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Referensi

[1] K. Wardani, A. Kurniawan. "Enhancing Heavy Equipment Maintenance with Artificial Intelligence," IEEE, 2023.
[2] P. Kumar, R. Tiwari. "A review: multiplicative faults and model-based condition monitoring strategies for fault diagnosis in rotary machines," Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering (Springer), 2023.
[3] S. Al Bardan. "Advanced Failure Classification Models for Construction Machinery," DiVA Portal, 2025.
[4] A. Kolokas, P. Mallioris, M. Koutsiantzis, C. Bialas. "Effective Machine Learning Solution for State Classification and Productivity Identification," MDPI, 2024.
[5] R. De La Fuente, L. Radrigan, A.S. Morales. "Enhancing Predictive Maintenance in Mining Mobile Machinery through a Hierarchical Inference Network," IEEE Access, 2025.
[6] L. Zhou, H. Zhang. "Smart Predictive Maintenance of Construction Equipment with IoT Sensors and Deep Learning," Automation in Construction, 2022.
[7] T. Nguyen, M. Park. "Real-Time Monitoring System for Heavy Equipment Fault Detection using IoT and Deep Learning," Sensors, 2023.
[8] V. Klathae, P. Ruangchoengchum. "The Predictable Maintenance 4.0 by Applying Digital Technology," Review of Integrative Business and Economics Research, 2019. <4>
[9] M. Rahman, A. Islam. "Big Data Analytics in Condition Monitoring of Heavy Industrial Machinery," Procedia Manufacturing, 2020.
[10] F. Martins, J. Costa. "IoT-Based Predictive Maintenance for Construction Heavy Machinery," Automation in Construction, 2019.
[11] M. Horrell, L. Reynolds. "Data Science in Heavy Industry and the Internet of Things," Harvard Data Science Review, 2020.
[12] C. Song, S. Liu, G. Han, P. Zeng, H. Yu. "Edge-intelligence-based condition monitoring of beam pumping units under heavy noise in Industrial IoT for Industry 4.0," IEEE Internet of Things Journal, 2022.
[13] J. Becker, F. Müller, T. Frank. "Federated autoencoder for IIoT," Journal of Industrial Information Integration, 2022.
[14] G. Elvis, A. Habeeb. "Developing a Predictive Maintenance Model Using IoT and Machine Learning," ResearchGate, 2025.
[15] E. Temer, H.J. Pehl. "Moving Toward Smart Monitoring and Predictive Maintenance of Downhole Tools Using IIoT," OnePetro Conference, 2017.
[16] M. Hossain, S. Ahmed. "A Comparative Study of Machine Learning Techniques for Heavy Equipment Fault Prediction," MDPI Machines, 2023.
[17] E. Regnier, B. Hudgens. "Condition-Based Maintenance Implementation and Potential in USMC Ground Transport," DTIC, 2022.
[18] A. Mohammed, H. Rahman, S. Omar. "ML-based CBM for electrical motors," Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2023.
[19] J. de la Fuente, R. Cañas, H. López. "TinyML for mining maintenance," Proc. IEEE Industrial Electronics Conf., 2024.
[20] P. Odeyar, D.B. Apel, R. Hall, B. Zon, K. Skrzypkowski. "A Review of Reliability and Fault Analysis Methods for Heavy Equipment and Their Components Used in Mining," ResearchGate, 2022.
[21] V. Klathae, P. Ruangchoengchum. "The Predictable Maintenance 4.0 by Applying Digital Technology," Review of Integrative Business and Economics Research, 2019.
[22] S.D. Siregar. "Implementation of Maintenance Strategy and Asset Health Monitoring on Underground GBC Production Loader," ITB Digilib, 2023.
[23] E. Regnier, B. Hudgens. "Condition-Based Maintenance Implementation and Potential in USMC Ground Transport," DTIC, 2022.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

ID: 23

Rancang Bangun Sistem Pemantauan Suhu dan Kelembapan dengan Peringatan Asap Berbasis Arduino Uno

Design and Implementation of an Arduino Uno Based Temperature and Humidity Monitoring System with Smoke Warning Feature

Aes Agnesya Akbar[1], Marelda Mutiara Addin[1], Ardhito Primatama[1], Novrindah Alvi Hasanah[1], Dewi Rahma Amelia Safitri[2], Neylla Cahyaniar Firnamuchid[2], Adib Zaky Maulidy[2], Moch Rafly Ramadhani Al A'raaf[2]

[1]Department of Electrical Engineering Maulana Malik Ibrahim State Islamic University of Malang
Gajayana Street No. 50, +62-341 551-354

[2] Department of Informatics Maulana Malik Ibrahim State Islamic University Of Malang
Gajayana Street No. 50, +62-341-551-354

aesagnesya017@gmail.com[1], mareldarara@gmail.com[1], rahmaamelia563@gmail.com[2]
neyliacf2602@gmail.com[2] adibzaky211@gmail.com[2] raflyalaraaf@gmail.com[2]

Abstrak – *Penelitian ini membahas perancangan sistem pemantauan suhu dan kelembapan berbasis Arduino Uno yang dilengkapi fitur deteksi asap sebagai peringatan dini potensi kebakaran. Sistem menggunakan sensor DHT22 untuk membaca suhu dan kelembapan udara serta sensor MQ-2 untuk mendeteksi asap atau gas mudah terbakar. Data hasil pengukuran ditampilkan secara real-time pada LCD 16×2, dan alarm buzzer aktif ketika kondisi lingkungan tidak normal. Pengujian dilakukan pada tiga kondisi lingkungan, yaitu normal, panas–kering, dan berasap. Hasil menunjukkan bahwa pada kondisi normal suhu rata-rata sebesar 25,1 °C, kelembapan 45,2 % RH, dan nilai ADC MQ-2 sekitar 200. Pada kondisi panas suhu meningkat menjadi 35,3 °C dengan kelembapan 20,4 % RH, sedangkan pada kondisi berasap nilai ADC MQ-2 naik signifikan hingga 700, yang secara otomatis memicu sistem peringatan. Sistem mampu merespons perubahan parameter lingkungan dalam waktu kurang dari 1 detik, sesuai spesifikasi sensor. Sistem ini efektif untuk pemantauan lingkungan skala kecil dan dapat dikembangkan dengan konektivitas IoT untuk pemantauan jarak jauh.*

Kata Kunci*: Arduino Uno, deteksi asap, DHT22, MQ-2, pemantauan suhu*

Abstract – *This study discusses the design of a temperature and humidity monitoring system based on Arduino Uno, equipped with a smoke detection feature as an early warning of potential fires. The system employs a DHT22 sensor to measure air temperature and relative humidity, and an MQ-2 sensor to detect smoke or flammable gases. The measurement data are displayed in real time on an LCD 16×2, while a buzzer alarm is activated when abnormal environmental conditions are detected. The experiment was conducted under three environmental conditions: normal, hot–dry, and smoky. The results show that under normal conditions, the average temperature was 25.1 °C, humidity 45.2 %RH, and the ADC value of the MQ-2 sensor was around 200. Under hot conditions, the temperature increased to 35.3 °C with humidity 20.4 %RH, while in smoky conditions, the ADC MQ-2 value rose significantly to 700, automatically triggering the warning system. The system responds to environmental changes in less than one second, consistent with the sensor specifications. This system is effective for small-scale environmental monitoring and can be further developed with IoT connectivity for remote observation.*

Keywords*: Arduino Uno, DHT22, MQ-2, smoke detection, temperature monitoring*

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi dalam beberapa dekade terakhir telah mendorong meningkatnya kebutuhan terhadap sistem pemantauan lingkungan yang adaptif, efisien, dan mudah diimplementasikan. Pengendalian suhu dan kelembapan merupakan faktor penting dalam menjaga kestabilan kondisi lingkungan, baik pada skala rumah tangga maupun industri. Ketidakseimbangan suhu dan kelembapan dapat menimbulkan berbagai dampak negatif, seperti menurunnya kenyamanan, pertumbuhan jamur, hingga percepatan kerusakan perangkat elektronik. Di sisi lain, keberadaan asap merupakan indikator penting terhadap potensi bahaya kebakaran, sehingga kemampuan sistem untuk mendeteksi asap secara dini menjadi aspek krusial dalam upaya pencegahan bahaya dan pengurangan kerugian material maupun korban jiwa [1], [2].

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem pemantauan suhu dan kelembapan berbasis mikrokontroler Arduino Uno menggunakan sensor DHT22, DHT11, atau SHT31, serta deteksi asap menggunakan sensor MQ-2 atau MQ-135 [3], [4], [5]. Namun, sebagian besar sistem tersebut masih memiliki keterbatasan, yaitu: (1) belum dilengkapi dengan fitur peringatan otomatis ketika kondisi lingkungan mencapai ambang bahaya; (2) belum mengintegrasikan pengukuran suhu, kelembapan, dan asap secara simultan dalam satu platform; dan (3) masih bergantung pada proses pemantauan manual tanpa notifikasi real-time [6].

Penelitian ini menghadirkan kebaruan ilmiah berupa perancangan sistem pemantauan lingkungan berbasis Arduino Uno yang menggabungkan tiga parameter lingkungan — suhu, kelembapan, dan asap — dalam satu perangkat terintegrasi yang mampu memberikan peringatan dini melalui buzzer dan indikator LED RGB. Pendekatan ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang menekankan pentingnya sistem pemantauan adaptif berbasis IoT untuk meningkatkan efisiensi deteksi dan respons lingkungan [7], [8].

2. Metode Penelitian

Metode penelitian ini mengikuti pendekatan eksperimental sebagaimana digunakan pada penelitian sebelumnya mengenai sistem pemantauan berbasis Arduino [4], [6]. Proses pengumpulan data dilakukan secara langsung melalui sensor DHT22 dan MQ-2 yang telah divalidasi dalam penelitian terdahulu karena kestabilannya terhadap variasi suhu dan kelembapan [5]. Desain perangkat keras dan perangkat lunak dirancang untuk meniru model sistem pemantauan terintegrasi sebagaimana diimplementasikan pada penelitian IoT modern [7], namun disesuaikan dengan skala rumah tangga agar lebih efisien dari segi biaya dan konsumsi daya.

Pada tahap perancangan perangkat keras, dilakukan pemilihan dan perakitan komponen utama yang terdiri atas Arduino Uno sebagai pengendali utama, sensor DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembapan udara, sensor MQ-2 untuk mendeteksi asap atau gas mudah terbakar, LCD 16×2 sebagai media tampilan data, serta buzzer dan LED sebagai indikator peringatan dini. Setiap komponen dirangkai berdasarkan diagram blok dan skematik sistem yang telah ditentukan untuk memastikan komunikasi antarkomponen berjalan optimal.

Tahap perancangan perangkat lunak mencakup penulisan kode program menggunakan bahasa C++ pada Arduino IDE. Program dirancang agar sistem mampu membaca data dari kedua sensor, menampilkan hasil pengukuran secara real-time pada LCD, serta mengaktifkan alarm buzzer dan LED apabila suhu, kelembapan, atau nilai ADC MQ-2 melebihi ambang batas yang ditetapkan. optimal.

Selanjutnya, dilakukan tahap pengujian sistem yang mencakup pengukuran suhu, kelembapan, dan deteksi asap pada tiga kondisi lingkungan berbeda, yaitu kondisi normal, panas–kering, dan berasap. Data hasil pengukuran sensor dibandingkan dengan alat ukur referensi untuk menilai tingkat akurasi dan kestabilan pembacaan.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif untuk menganalisis data hasil pengukuran sensor melalui perhitungan rata-rata, selisih pembacaan, dan tingkat kesalahan relatif, serta pendekatan kualitatif untuk mengevaluasi kinerja sistem secara keseluruhan berdasarkan kecepatan respons, ketepatan peringatan, dan kemudahan penggunaan.

Hasil dari seluruh tahapan tersebut digunakan untuk menilai sejauh mana sistem yang dikembangkan mampu memenuhi kebutuhan pemantauan lingkungan dengan karakteristik akurasi tinggi, respons cepat, dan efisiensi energi, sesuai dengan tujuan penelitian.

2.1. Perencanaan Sistem

Sistem pemantauan suhu dan kelembapan ini menggunakan mikrokontroler Arduino Uno sebagai unit kendali utama yang mengatur komunikasi antar komponen. Sensor DHT22 berfungsi untuk membaca nilai suhu dan kelembapan udara, sedangkan sensor MQ-2 digunakan untuk mendeteksi keberadaan asap atau gas mudah terbakar. Data hasil pembacaan sensor diolah oleh Arduino Uno dan ditampilkan secara real-time pada LCD 16×2, sementara buzzer berfungsi sebagai indikator peringatan dini. Sistem dirancang agar dapat memberikan notifikasi otomatis ketika suhu melebihi 30 °C, kelembapan turun di bawah 30 %RH, atau terdeteksi adanya asap di udara.

Tahapan perancangan dan pelaksanaan penelitian ini terdiri atas tiga bagian utama. Tahap pertama adalah perancangan perangkat keras (hardware design) yang mencakup penyusunan rangkaian elektronik dan integrasi seluruh komponen, yaitu sensor DHT22, sensor MQ-2, LCD 16×2, buzzer, dan Arduino Uno. Penyusunan rangkaian dilakukan dengan memperhatikan konfigurasi pin dan kebutuhan daya agar sistem bekerja stabil serta meminimalkan gangguan pada pembacaan sensor.

Tahap kedua adalah perancangan perangkat lunak (software design) yang dilakukan menggunakan Arduino IDE. Program ditulis dalam bahasa C++, yang berfungsi untuk mengatur logika kerja sistem, membaca data sensor secara periodik, menampilkan hasil pengukuran pada LCD, dan mengaktifkan buzzer ketika kondisi lingkungan melebihi ambang batas yang telah ditentukan. Proses pemrograman juga mencakup kalibrasi sensor untuk memastikan keakuratan pembacaan data.

Tahap ketiga adalah pengujian sistem (system testing) yang bertujuan untuk memastikan setiap komponen bekerja sesuai fungsinya dan sistem mampu merespons perubahan kondisi lingkungan secara akurat dan cepat. Pengujian dilakukan pada tiga kondisi lingkungan berbeda, yaitu kondisi normal, panas-kering, dan berasap. Data hasil pengukuran sensor dibandingkan dengan alat ukur referensi untuk menilai tingkat akurasi, stabilitas, dan respons waktu sistem terhadap perubahan suhu, kelembapan, maupun keberadaan asap.

Tahapan-tahapan tersebut dilakukan secara berurutan untuk memperoleh sistem pemantauan lingkungan yang memiliki akurasi tinggi, keandalan baik, dan efisiensi energi, sesuai dengan tujuan penelitian.

2.2. Metode Pengumpulan Data

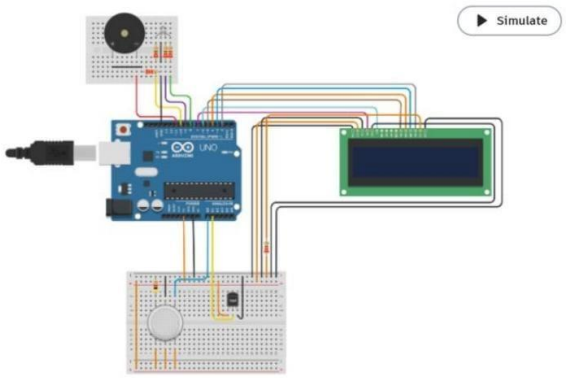
Metode pengumpulan data dalam penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen kuantitatif, yaitu dengan melakukan pengujian langsung terhadap sistem pemantauan suhu, kelembapan, dan asap yang telah dirancang. Data diperoleh dari hasil pembacaan sensor DHT22 dan MQ-2 yang terhubung ke mikrokontroler Arduino Uno. Setiap hasil pembacaan sensor dikirimkan secara real-time ke LCD 16×2 sebagai tampilan utama serta ke serial monitor pada perangkat lunak Arduino IDE sebagai media pencatatan data.

Proses pengambilan data dilakukan dalam beberapa kondisi lingkungan berbeda untuk memperoleh variasi parameter suhu, kelembapan, dan konsentrasi asap. Nilai yang terekam

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

kemudian dianalisis untuk menentukan tingkat akurasi sensor dan konsistensi sistem dalam merespons perubahan kondisi lingkungan. Data numerik hasil pengukuran digunakan untuk menilai performa sistem secara kuantitatif, sedangkan observasi terhadap kecepatan respon dan kestabilan sistem digunakan sebagai data kualitatif pendukung.

2.3. Desain dan Rangkaian Sistem



Gambar 2.1 Rangkaian sistem yang digunakan

Sistem pemantauan dirancang menggunakan Arduino Uno sebagai pusat kendali utama yang mengintegrasikan sensor, aktuator, dan modul tampilan. Komponen utama yang digunakan terdiri dari sensor DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembapan udara, sensor MQ-2 untuk mendeteksi keberadaan asap atau gas mudah terbakar, LCD 16×2 dengan modul I2C untuk menampilkan data secara real-time, buzzer sebagai indikator suara peringatan, serta LED RGB sebagai indikator visual kondisi lingkungan.

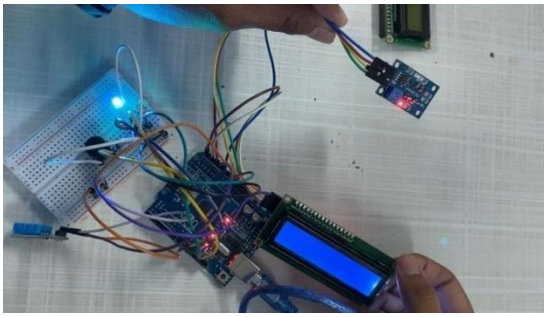
Arduino Uno berfungsi mengolah data dari kedua sensor dan mengatur keluaran ke perangkat indikator. Sensor DHT22 dihubungkan melalui pin digital D2 dengan jalur VCC 5V dan GND, sedangkan sensor MQ-2 dihubungkan ke pin analog A0 untuk membaca sinyal analog yang merepresentasikan konsentrasi gas di udara. Modul LCD I2C terhubung melalui jalur komunikasi SDA (A4) dan SCL (A5) untuk menampilkan nilai suhu, kelembapan, serta status deteksi asap. Buzzer dihubungkan ke pin digital D8 dan berfungsi mengeluarkan bunyi peringatan apabila sistem mendeteksi kondisi abnormal. Sementara itu, LED RGB dihubungkan ke pin digital D9, D10, dan D11 melalui resistor 220 ohm untuk menampilkan indikator warna: hijau (normal), kuning (peringatan), dan merah (bahaya).

Secara keseluruhan, sistem dirancang agar dapat bekerja secara otomatis dalam mendeteksi perubahan suhu, kelembapan, dan keberadaan asap. Kondisi dianggap tidak normal apabila suhu melebihi 30 °C, kelembapan berada di bawah 30 %RH, atau nilai keluaran sensor MQ-2 melebihi ambang batas 500 ADC unit, yang kemudian memicu aktivasi buzzer dan LED peringatan.

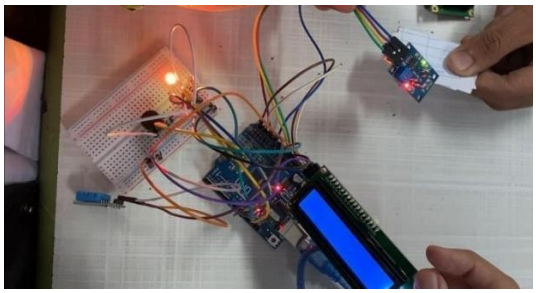
2.4. Implementasi Sistem Rangkaian

Implementasi sistem dilakukan dengan merakit seluruh komponen sesuai dengan desain rangkaian yang telah direncanakan. Proses perakitan dilakukan pada breadboard untuk memudahkan pengujian awal dan memastikan koneksi antar komponen bekerja dengan baik. Setelah rangkaian teruji, kode program diunggah ke mikrokontroler menggunakan Arduino IDE.

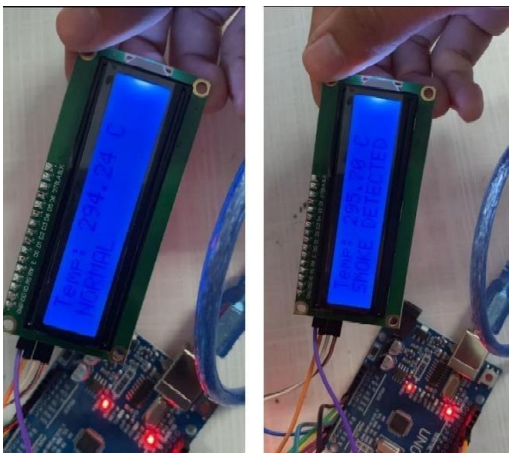
ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 2.2 Rangkaian yang menunjukkan keseluruhan sistem yang dirakit di breadboard.



Gambar 2.3 Rangkaian yang menunjukan koneksi setiap komponennya



Gambar 2.4 Suhu, kelembapan dan asap yang terbaca dan ditampilakan di LCD

Program yang dijalankan mencakup proses pembacaan sensor secara periodik, pengolahan data, dan penampilan hasil pada LCD. Selanjutnya, sistem diuji di tiga kondisi lingkungan berbeda, yaitu normal, panas–kering, dan berasap, untuk memastikan kemampuan sistem dalam merespons perubahan parameter lingkungan secara akurat dan konsisten. Hasil pengujian ini digunakan untuk mengevaluasi keandalan sistem, akurasi sensor, serta efektivitas fungsi peringatan dini yang diaktifkan melalui buzzer dan LED RGB.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

2.5. Algoritma Program
2.6.

```
Algorithm
START

Initialize
    Output
        LED
        Buzzer
        LCD

    Input
        Sensor

START Loop

WHILE system is ON
  temperature ← ReadTemperatureSensor()
  gasLevel ← ReadGasSensor()

  Display temperature and gasLevel on LCD
  Print temperature and gasLevel to Serial Monitor

  IF gasLevel HIGH AND temperature HIGH THEN
     Trigger buzzer (alert)
     Set LED to RED
     Display "FIRE ALERT!" on LCD

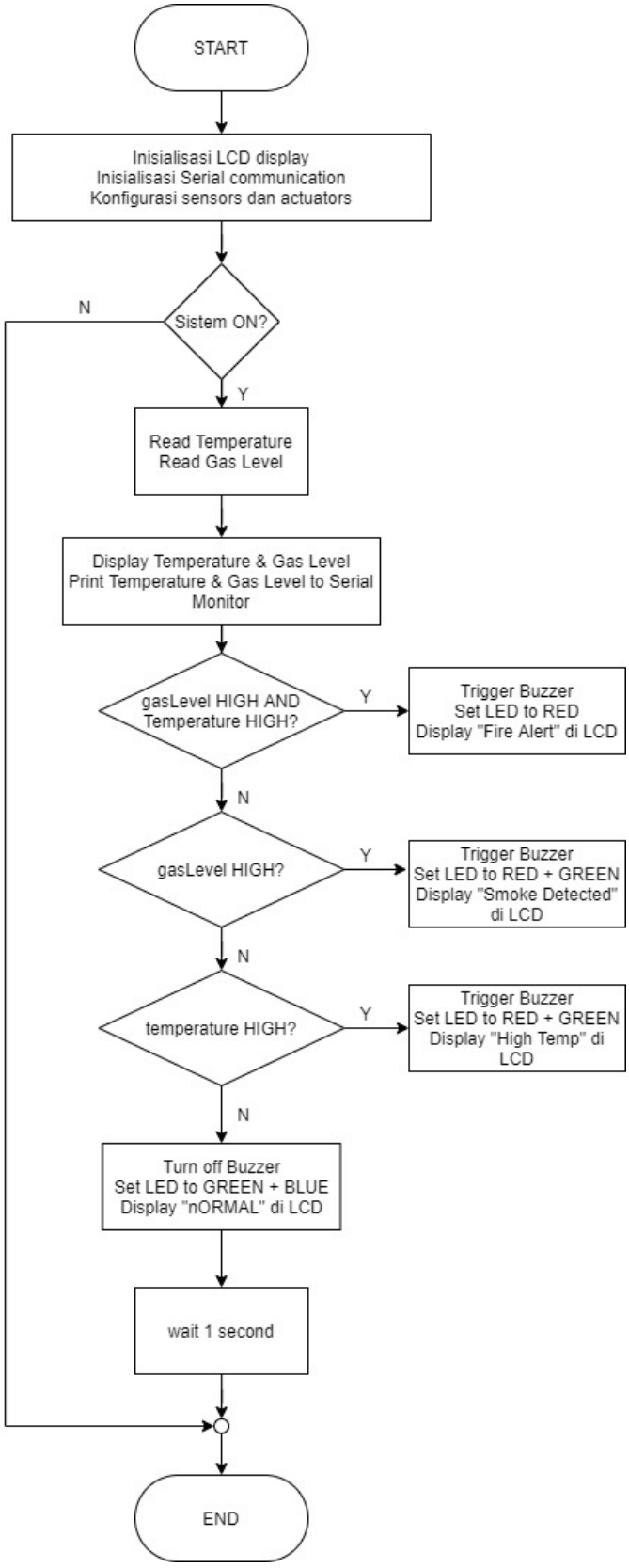
  ELSE IF gasLevel HIGH THEN
     Trigger buzzer
     Set LED to RED + GREEN
     Display "SMOKE DETECTED" on LCD

  ELSE IF temperature HIGH THEN
     Set LED to RED + GREEN
     Display "HIGH TEMP!" on LCD

  ELSE
     Turn off buzzer
     Set LED to GREEN + BLUE
     Display "NORMAL" on LCD
  END IF

  Wait 1 second
END Loop
```

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 2.6 Flowchart Program

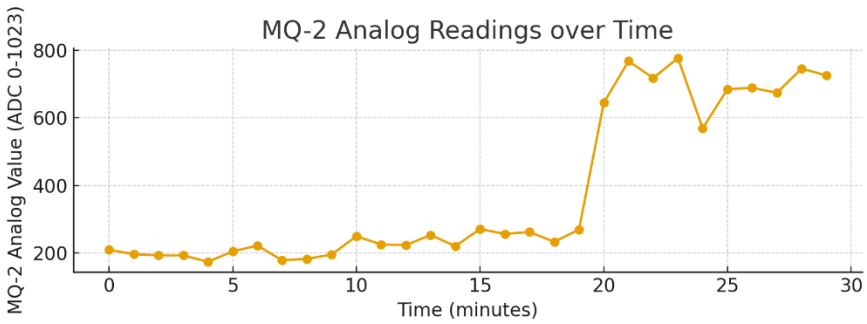
ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian sistem dilakukan untuk menilai kinerja alat pemantau suhu, kelembapan, dan asap berbasis mikrokontroler Arduino Uno. Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa setiap sensor berfungsi dengan baik, sistem mampu memberikan respons cepat terhadap perubahan kondisi lingkungan, serta hasil pembacaan dapat ditampilkan secara real-time pada layar LCD 16×2. Proses pengujian dilakukan pada tiga kondisi lingkungan berbeda, yaitu kondisi normal, kondisi abnormal (panas dan berasap), serta kondisi fluktuatif, guna menilai akurasi, kecepatan respons, dan kestabilan sistem.

Pada kondisi lingkungan normal, sistem menunjukkan performa yang stabil. Nilai suhu rata-rata tercatat sebesar 25,1 °C, kelembapan berada pada kisaran 45,2 %RH, dan sensor MQ-2 tidak mendeteksi keberadaan asap (nilai ADC sekitar 200). Data hasil pembacaan ditampilkan dengan baik pada LCD 16×2, sementara indikator LED RGB memancarkan warna biru yang menandakan kondisi aman. Buzzer tidak aktif karena seluruh parameter masih berada dalam batas normal. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan pembacaan data secara akurat pada kondisi lingkungan standar tanpa menghasilkan kesalahan deteksi atau alarm palsu.

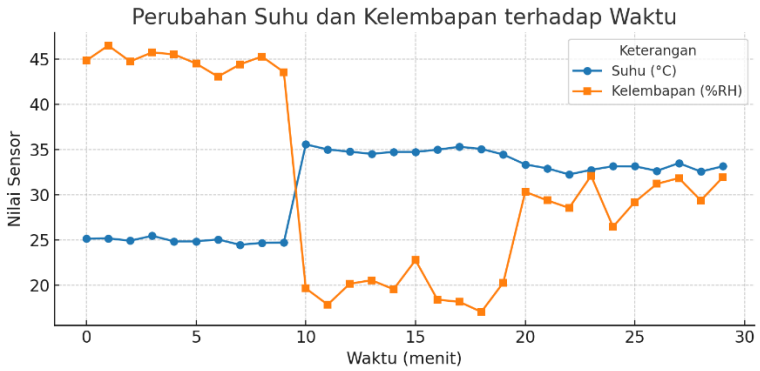
Pengujian pada kondisi abnormal menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan respons cepat terhadap perubahan lingkungan. Ketika suhu meningkat hingga 35,3 °C, kelembapan menurun menjadi 20,4 %RH, dan sensor MQ-2 mendeteksi keberadaan asap dengan nilai ADC mencapai 700, sistem secara otomatis mengaktifkan buzzer dalam waktu kurang dari satu detik sebagai peringatan dini terhadap potensi bahaya. LED RGB berubah menjadi warna kuning yang menandakan kondisi waspada, sedangkan LCD menampilkan nilai suhu, kelembapan, dan status asap secara real-time. Respons cepat tersebut membuktikan bahwa sistem bekerja efektif dalam mendeteksi serta memberikan sinyal peringatan dini terhadap perubahan parameter lingkungan yang signifikan.



Gambar 3.1 Hasil pembacaan sensor kelembapan MQ-2

Pada kondisi fluktuatif, sistem diuji terhadap perubahan suhu dan kelembapan yang terjadi secara dinamis dalam waktu singkat. Hasil menunjukkan bahwa data sensor diperbarui secara kontinu dan ditampilkan tanpa keterlambatan pada LCD. Fluktuasi nilai suhu dan kelembapan dapat terpantau secara real-time dengan tingkat kestabilan sistem yang baik. Hal ini mengindikasikan bahwa algoritma pembacaan sensor dan proses pengolahan data oleh mikrokontroler berjalan secara optimal. Kemampuan sistem untuk menyesuaikan diri terhadap perubahan lingkungan secara cepat menjadi bukti bahwa perangkat ini dapat diandalkan dalam situasi nyata, seperti pemantauan ruangan tertutup atau area berpotensi kebakaran.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 3.2 Hasil pembacaan perubahan suhu dan perubahan kelembapan terhadap waktu

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem pemantauan suhu, kelembapan, dan asap berbasis Arduino Uno memiliki tingkat akurasi yang tinggi serta responsivitas yang cepat terhadap perubahan kondisi lingkungan. Integrasi antara sensor DHT22 dan sensor MQ-2 menghasilkan sistem pemantauan yang efektif dalam mendeteksi parameter lingkungan secara real-time. Penggunaan buzzer sebagai indikator suara dan LED RGB sebagai indikator visual menjadikan sistem ini lebih informatif, mudah dipahami, dan user-friendly. Dari aspek efisiensi, konsumsi daya tergolong rendah karena seluruh komponen beroperasi pada tegangan 5 volt, sedangkan penerapan komunikasi I2C pada modul LCD membantu menyederhanakan konfigurasi rangkaian dan mengurangi jumlah pin yang digunakan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa sistem telah berfungsi sesuai dengan rancangan. Alat mampu memantau suhu, kelembapan, dan keberadaan asap secara real-time, memberikan peringatan dini ketika terjadi kondisi abnormal, serta menampilkan informasi dengan tampilan yang jelas dan mudah dipahami oleh pengguna. Sistem ini terbukti andal untuk diterapkan pada skala rumah tangga, laboratorium, maupun ruang penyimpanan yang memerlukan pengawasan kondisi lingkungan secara berkelanjutan.

Untuk pengembangan selanjutnya, sistem ini memiliki potensi peningkatan melalui penambahan modul Internet of Things (IoT) agar data hasil pemantauan dapat dikirim ke platform daring dan diakses secara jarak jauh. Selain itu, integrasi dengan aplikasi berbasis web atau mobile dapat memungkinkan pengguna menerima notifikasi langsung melalui jaringan internet. Dengan pengembangan tersebut, sistem ini dapat berkembang menjadi solusi pemantauan lingkungan modern yang tidak hanya efisien, tetapi juga adaptif terhadap kebutuhan era digital.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada berbagai pihak yang telah turut andil dalam berlansungnya penelitian ini, baik kepada pihak universitas, dosen pembimbing dan juga teman teman yang turut andil dalam penelitian ini.

Referensi

[1] A. P. Sharma, S. Yadav, and R. Kumar, “Arduino-Based Portable Weather Monitoring Station,” *Electronics*, vol. 14, no. 12, p. 2330, 2023. doi: 10.3390/electronics14122330.

[2] S. J. D. Galceran, M. G. B. Dela Cruz, and P. A. Santos, “Development and Comparison of Arduino-Based MQ-2 and MQ-6 LPG Leak Sensors,” *American Journal of Sensor Technology*, vol. 7, no. 1, pp. 1–9, 2023. doi: 10.12691/ajst-7-1-1.

[3] P. Stančić, A. Stojković, and M. Milić, "Arduino-Based Gas and Smoke Detector Realized Using MQ-2 Sensor," *Proc. ETRAN Conference*, pp. 1–4, 2021.

[4] Y. Bhosale, M. Patil, Y. Thakare, and V. Suryawanshi, "Real-Time Temperature and Humidity Monitoring & Alert System," *International Journal of Novel Research and Development (IJNRD)*, vol. 8, no. 3, pp. 142–146, 2023.

[5] S. M. Santos, R. C. Silva, and L. A. Rodrigues, "Low-Cost Arduino-Based Temperature, Relative Humidity and CO_2 Monitoring System," *Building and Environment*, vol. 228, p. 109947, 2022. doi: 10.1016/j.buildenv.2022.109947.

[6] R. Nurhadi and A. W. Suryanto, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Suhu dan Kelembapan Berbasis Arduino Uno Menggunakan Sensor DHT22," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer (JTEK)*, vol. 10, no. 2, pp. 45–52, 2022.

[7] M. F. Hidayat, S. P. Santoso, and I. Rahman, "Sistem Deteksi Dini Kebakaran Menggunakan Sensor MQ-2 Berbasis Mikrokontroler Arduino," *Jurnal Teknologi Informasi dan Komputer (JTIK)*, vol. 8, no. 1, pp. 13–19, 2023.

[8] A. Setiawan, D. Saputra, and L. Ramadhani, "Implementasi Internet of Things (IoT) pada Sistem Monitoring Suhu dan Kelembapan Ruangan," *Prosiding SENTER UIN Maulana Malik Ibrahim Malang*, pp. 120–126, 2022.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

ID: 24

Analisis Penerapan Technologi untuk UMKM Warung Sembako Aksa

Analysis of Technology Implementation for Micro, Small, and Medium Enterprise (MSME) Warung Sembako Aksa

Muhammad Feeandri Syahbani[1], Dimas Wahyu Saputra[2],Mohammad Harits Akbar[3], Nawaf Munassar Nuramdan[4],Yoga Armando[5,] Pratiwi Rachmadi[6*]
[1,2,3,4,5,6]Perbanas Institute Jakarta
Jl Karet Kuningan, Setiabudi , Jakarta Selatan
feeandri2409@gmail.com[1], dimaswahyus1306@gmail.com[2],yoga.armando08@perbanas.id[3]
nawafmunasar19@gmail.com[4], haris.akbar990@gmail.com[5], pratiwi@perbanas.id[6]

Abstrak – *Penelitian ini mengevaluasi implementasi teknologi berbasis mobile dan API pada Warung Sembako Aksa untuk meningkatkan akurasi pencatatan stok dan kepuasan pelanggan. Studi menggunakan pendekatan design thinking melalui lima tahap: Empathize (wawancara dengan pemilik dan 15 pelanggan), Define (identifikasi pain points pencatatan manual), Ideate (pengembangan solusi digital), Prototype (pembuatan aplikasi "Barangin" dengan fitur scan barcode dan integrasi WhatsApp API), dan Test (uji coba lapangan selama dua minggu). Hasil uji menunjukkan peningkatan akurasi data stok rata-rata dari 70% menjadi 96% dan skor kepuasan pelanggan mencapai 88%, serta penurunan selisih stok hingga di bawah 5%. Respons positif terhadap notifikasi ketersediaan barang di WhatsApp memperkuat efektivitas API. Temuan ini merekomendasikan pelatihan pengguna dan tahap rollout terjadwal untuk UMKM serupa. Aplikasi "Barangin" terbukti dapat mempercepat proses inventori, meminimalkan kesalahan manusia, dan mendorong daya saing digital pada usaha mikro.*

Kata Kunci*: UMKM, Design Thinking, Aplikasi Pencatatan Stok, Barcode, WhatsApp API*

Abstract – *This research evaluates the implementation of mobile-based technology and APIs at Warung Sembako Aksa to improve stock record accuracy and customer satisfaction. The study used a design thinking approach thru five stages: Empathize (interviews with the owner and 15 customers), Define (identification of pain points in manual record-keeping), Ideate (development of digital solutions), Prototype (creation of the "Barangin" application with barcode scanning features and WhatsApp API integration), and Test (field testing for two weeks). The test results showed an average increase in stock data accuracy from 70% to 96%, a customer satisfaction score of 88%, and a reduction in stock discrepancies to below 5%. The positive response to the item availability notifications on WhatsApp further strengthened the effectiveness of the API. These findings recommend user training and a scheduled rollout phase for similar SMEs. The "Barangin" application has proven to speed up the inventory process, minimize human error, and boost digital competitiveness for micro-enterprises.*

Keywords*: MSMEs, Design Thinking, Stock Recording Application, Barcode, WhatsApp API*

1. Pendahuluan

Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) memiliki kontribusi yang signifikan dalam pembangunan ekonomi nasional. Salah satu bentuk UMKM yang sangat umum dijumpai di masyarakat adalah warung sembako, yaitu usaha kecil yang menyediakan kebutuhan pokok sehari-hari seperti beras, gula, minyak goreng, telur, dan bahan pokok lainnya. Warung sembako umumnya dikelola oleh perorangan atau keluarga dengan modal terbatas dan bertumpu pada hubungan sosial yang kuat dengan pelanggan sekitar. Keberadaan warung sembako sangat

penting dalam mendekatkan akses masyarakat terhadap barang kebutuhan pokok. Namun, di tengah perkembangan teknologi dan maraknya ritel modern, warung sembako menghadapi berbagai tantangan, seperti persaingan harga, keterbatasan pemasaran, hingga manajemen keuangan yang belum sistematis.

Melihat pentingnya peran warung sembako sebagai bagian dari UMKM dan tantangan yang mereka hadapi, perlu dilakukan analisis lebih lanjut terhadap kondisi usaha, hambatan yang dihadapi, serta peluang pengembangannya. Melalui pendekatan design thinking, analisis ini diharapkan mampu memberikan pemahaman yang lebih mendalam sekaligus solusi kreatif yang aplikatif bagi pelaku UMKM warung sembako agar mampu bertahan dan berkembang di tengah persaingan yang semakin kompetitif. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana penerapan teknologi yang dapat membantu UMKM Warung Aksa dan selanjutnya usaha untuk memenuhi keinginan pelanggan UMKM Warung Aksa dengan menggunakan penerapan teknologi?

Design thinking adalah metodologi inovasi berpusat pada pengguna melalui lima tahap utama: Empathize, Define, Ideate, Prototype, dan Test (Brown, 2022). Digitalisasi inventori UMKM memperlihatkan peningkatan efisiensi hingga 30% (Putri & Rahardjo, 2023). Implementasi barcode dalam manajemen stok menurunkan kesalahan input hingga 90% (Nguyen et al., 2021). Integrasi WhatsApp API untuk notifikasi real-time terbukti meningkatkan engagement pelanggan sebesar 25% (Sari & Kartini, 2024).

2. Metode Penelitian

Pendekatan design thinking diterapkan dengan: (1) wawancara mendalam pada pemilik warung dan 15 pelanggan untuk mengumpulkan data empati; (2) analisis kualitatif untuk merumuskan masalah; (3) brainstorming solusi digital; (4) pembuatan prototipe aplikasi “Barangin” di Android Studio; dan (5) uji coba selama 14 hari dengan pengukuran akurasi stok dan kepuasan pelanggan melalui kuesioner.

Tabel 1. Profil UMKM Warung Sembako Aksa

No	Field	Value
1.	Nama	Warung Sembako Aksa
2.	Kepemilikan	Usaha Pribadi
3.	Lokasi	Jl. Perbanas No.16, RT.16/RW.7, Karet Kuningan, Jakarta Selatan
4.	Jam Operasional	24 Jam
5.	Mulai Usaha	2023 – Sekarang

1) Empathize

"Empathize dalam design thinking adalah tahap paling awal yang krusial. Meski kelima tahapan ini dapat dilakukan secara parallel, tetapi kebanyakan project memulai dengan tahapan ini. Dalam tahap ini, kamu harus menaruh empati untuk mengenal pengguna dan memahami keinginan, kebutuhan, dan tujuan mereka. Tahap ini juga mengharuskan observer untuk meninggalkan sejenak asumsinya terhadap pengguna dan mulai memahami mindset pengguna" (Nandy, 2021).

Penerapannya adalah pemilik warung bisa bertanya langsung ke pelanggan tetap: “Kalau belanja di sini, apa yang bikin nyaman? Atau ada yang bikin kurang enak?” Dengan memahami langsung kebutuhan dan perasaan pelanggan, pemilik warung bisa menyesuaikan tata letak barang, jam operasional, bahkan cara melayani.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

2) Define

Dalam proses design thinking, tahap ini bertujuan untuk merumuskan inti masalah yang telah diidentifikasi sebelumnya. Fokus utama dari perumusan tersebut adalah membuat pernyataan masalah yang berpusat pada pengguna. Dengan pendekatan ini, diharapkan seseorang tidak hanya berupaya mencari solusi, tetapi juga benar-benar memahami permasalahan yang mendasar (Kumparan, 2023).

Penerapannya adalah ketika kami sudah menaruh rasa emapti, maka dapat mengambil masalah dari apa yang penjual ataupun pembeli rasakan seperti, dari segi penjual yang merasa kesusahan dalam pengecekan dan pencatatan stok manual dan dari pembeli yang tidak dapat mengetahui apakah ditoko tersebut masih tersedia barang yang ia inginkan atau tidak,

3) Ideate

"Tahap ketiga dari Design Thinking disebut Ideate. Setelah memahami apa masalah pengguna dan menganalisis informasi-informasi tersebut, sekarang saatnya Anda menghasilkan ide-ide solutif yang dapat digunakan untuk mengatasi berbagai masalah yang sudah didefinisikan sebelumnya. Tahapan ini juga perlu dilakukan untuk menghasilkan sebanyak mungkin sudut pandang serta ide-ide baru" (Feradhita, 2021).

4) Prototype

Penerapannya yaitu, setelah sudah mendefinisikan masalah, kami dapat berideasi untuk mencari solusi dari permasalahan tersebut, dari permasalahan tersebut kami mengambil ide untuk membuat aplikasi yang memudahkan penjual dan pembeli. Aplikasi tersebut dapat digunakan untuk mengecek, mencatat, ataupun melihat stok barang yang ada pada toko tersebut.

3. Hasil dan Pembahasan

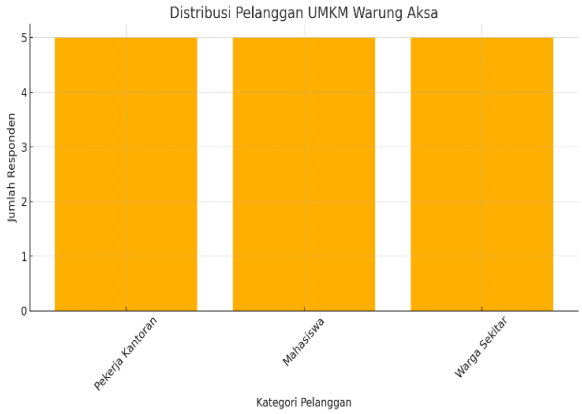
Pada Pendekatan design thinking diterapkan dengan: (1) wawancara mendalam pada pemilik warung dan 15 pelanggan untuk mengumpulkan data empati; (2) analisis kualitatif untuk merumuskan masalah; (3) brainstorming solusi digital; (4) pembuatan prototipe aplikasi “Barangin” di Android Studio; dan (5) uji coba selama 14 hari dengan pengukuran akurasi stok dan kepuasan pelanggan melalui kuesioner.

Tabel 2. Student Distribution Frequency

No	Kategori Pelanggan	Jumlah Responden
1.	Pekerja Kantoran	5
2.	Mahasiswa	5
3.	Warga Sekitar	5

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Tabel 2. Distribusi Pelanggan (n = 15)





Gambar 1. Tampilan awal aplikasi Barangin

4. Kesimpulan

Implementasi aplikasi "Barangin" dengan barcode dan WhatsApp API terbukti meningkatkan efisiensi dan kepuasan pelanggan pada Warung Sembako Aksa. Rekomendasi: pelatihan pengguna, integrasi bertahap, serta studi lanjutan pada model bisnis digital UMKM. UMKM Warung Aksa merupakan pelaku usaha mikro yang memenuhi kebutuhan masyarakat disekitarnya. Namun, dalam warung ini masih menghadapi kesulitan seperti, pencatatan stok barang dan pengecekan stok barang yang masih dilakukan secara manual oleh penjaga toko tersebut. Hal ini, menyebabkan kerugian karena catatan manual terkadang ada kesalahan atau ketidak sesuaian dalam pemcatatan.

Dengan adanya metode design thinking, penacraian solusi dirancang yang berfokus pada pemahaman terhadap kebutuhan pelanggan dan pemilik usaha. Tahapan ini dimulai dari empati sampai penggujian solusi. Berdasarkan dari yang sudah dilakukan, solusi yang tepat adalah

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

dengan mengembangkan aplikasi sederhana yang dapat membantu pemilik warung dalam mencatat stok dan mengecek stok secara digital melalui ponsel.

Demikian penerapan teknologi ini, diharapkan dapat membantu UMKM Warung Aksa meningkatkan keefisienan dalam kegiatan operasionalnya dan memenuhi kebutuhan pelanggan dengan lebih baik. Warung Aksa sebaiknya mulai pakai teknologi sederhana seperti aplikasi pencatatan stok di HP, supaya lebih rapi dan tidak repot menulis manual. Selain itu, promosi dapat dilakukan lewat WhatsApp biar pelanggan tahu info barang tanpa harus datang. Pemilik juga dapat mengajak keluarga atau pegawai belajar teknologi dasar. Hasilnya pencatatan tetap berjalan meski warung dijaga orang lain. Mulai dari hal kecil, tapi konsisten, seiring waktu warung akan semakin maju.

Referensi

[1.] Brown, T. (2022). okDesign Thinking for Innovation. Wiley.
[2.] Nguyen, L., Sharma, R., & Patel, S. (2021). Barcode-based inventory management in small enterprises. Journal of Supply Chain Management, 15(4), 233–247.
[3.] Putri, A., & Rahardjo, B. (2023). Digitalization impact on SME efficiency. International Journal of SME Research, 10(2), 45–59.
[4.] Sari, D., & Kartini, Y. (2024). WhatsApp API for customer engagement: A field experiment. Journal of Digital Communication, 8(1), 12–28.
[5.] Feradhita, N. K. D. (2021). Pengertian design thinking. LOGIQUE Digital Indonesia.
[6.] Kumparan. (2023). Pengertian design thinking: Tahapan dan contoh. Kumparan.com.
[7.] Nandy. (2021). Design Thinking. Gramedia Literasi.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

ID: 25

Sistem Informasi Evaluasi Kinerja Dosen Berbasis Dashboard Menggunakan Pendekatan User-Centered Design

Dashboard-Based Lecturer Performance Evaluation Information System Using a User-Centered Design Approach

Wimbo Agung Nugroho[1], Lucia Sri Istiyowati [2*]
[1,2]Perbanas Institute Jakarta
Jl Karet Kuningan, Setiabudi , Jakarta Selatan
lucia.istyowati@perbanas.id[2*]

Abstrak – *Perguruan tinggi merupakan lembaga pendidikan formal yang berperan penting dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, serta memiliki tanggung jawab menghasilkan lulusan yang informatif, tangguh, cerdas, dan kreatif. Dalam pelaksanaannya, dosen memiliki kewajiban menjalankan Tridharma Perguruan Tinggi yang meliputi pendidikan, penelitian, dan pengabdian kepada masyarakat. Seiring perkembangan teknologi informasi, diperlukan sistem yang mampu mendukung proses pengukuran dan evaluasi kinerja secara efektif. Dashboard merupakan salah satu alat bantu visual yang dapat digunakan pimpinan perguruan tinggi untuk memantau dan mengevaluasi kinerja dosen berdasarkan Key Performance Indicators (KPI). Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem informasi penilaian kinerja dosen berbasis dashboard yang memvisualisasikan data dalam bentuk grafik dan indikator kinerja utama. Metodologi penelitian menggunakan pendekatan prototype dan user-centered design (UCD) untuk memastikan rancangan sistem sesuai dengan kebutuhan pengguna. Hasil penelitian berupa rancangan dashboard interaktif yang menampilkan informasi kinerja dosen secara real-time dan komprehensif. Sistem ini diharapkan dapat menjadi alat bantu dalam proses pengisian nilai, pemantauan, serta evaluasi kinerja dosen di lingkungan perguruan tinggi.*

Kata Kunci*: dashboard, kinerja dosen, key performance indicators, user-centered design, sistem informasi*

Abstract – *Universities are formal educational institutions that play a vital role in the advancement of science and technology, as well as in producing graduates who are informed, resilient, intelligent, and creative. Lecturers are responsible for implementing the Tri Dharma of Higher Education, which encompasses education, research, and community service. Along with the rapid development of information technology, universities require effective systems to support performance measurement and evaluation processes. A dashboard serves as a visual tool that enables university leaders to monitor and evaluate lecturers' performance based on Key Performance Indicators (KPIs). This study aims to design a lecturer performance evaluation information system using a dashboard that visualizes data through charts and performance indicators. The research methodology employs a prototype and user-centered design (UCD) approach to ensure the system meets user needs. The result is an interactive dashboard design that presents lecturers' performance data in a real-time and comprehensive manner. This system is expected to serve as a practical tool for performance input, monitoring, and evaluation within higher education institutions.*
.

Keywords*: dashboard, lecturer performance, key performance indicators, user-centered design, information system.*

1. Pendahuluan

Pendidikan merupakan salah satu pilar utama dalam pembangunan bangsa dan menjadi aspek fundamental dalam menyiapkan sumber daya manusia yang berkualitas untuk menghadapi tantangan masa depan. Di Indonesia, sektor pendidikan masih menghadapi berbagai tantangan

baik dari sisi kualitas maupun pemerataan. Oleh karena itu, peningkatan mutu pendidikan menjadi prioritas utama dalam upaya pembaruan sistem pendidikan nasional. Perguruan tinggi sebagai lembaga formal memiliki peran strategis dalam pengembangan ilmu pengetahuan, teknologi, serta pembentukan masyarakat yang berpengetahuan, kompeten, dan berkarakter.

Sebagai institusi yang menjalankan fungsi akademik dan sosial, perguruan tinggi diamanatkan untuk melaksanakan Tridharma Perguruan Tinggi yang mencakup pendidikan dan pengajaran, penelitian dan pengembangan, serta pengabdian kepada masyarakat [1]. Pelaksanaan Tridharma menjadi tanggung jawab seluruh sivitas akademika, terutama dosen sebagai pelaku utama dalam proses pendidikan tinggi. Dosen tidak hanya berperan sebagai pendidik, tetapi juga sebagai peneliti dan pengabdi yang diharapkan mampu memberikan kontribusi nyata terhadap pengembangan ilmu pengetahuan dan kesejahteraan masyarakat [2].

Perkembangan teknologi informasi yang sangat pesat menuntut perguruan tinggi untuk beradaptasi dan memanfaatkannya secara optimal dalam mendukung pelaksanaan Tridharma. Salah satu tantangan yang dihadapi adalah bagaimana mengelola dan memantau kinerja dosen secara efektif dan efisien. Dalam konteks manajemen kinerja, pengukuran yang akurat dan berkelanjutan sangat diperlukan agar perguruan tinggi dapat menilai sejauh mana tujuan institusi telah tercapai. Untuk mendukung hal tersebut, Key Performance Indicator (KPI) digunakan sebagai alat ukur dalam menilai kinerja individu maupun organisasi.

Key Performance Indicator (KPI) adalah metrik finansial maupun nonfinansial yang digunakan untuk mengukur tingkat keberhasilan organisasi dalam mencapai tujuan strategisnya [3]. KPI membantu manajemen menilai kinerja, menyelaraskan strategi dengan aktivitas operasional, serta menjadi dasar evaluasi dan pemberian penghargaan terhadap pencapaian kinerja.

Namun, dalam praktiknya, masih banyak perguruan tinggi yang belum memiliki sistem pengukuran kinerja dosen yang terintegrasi dan mampu menampilkan informasi secara real-time. Data kinerja dosen sering kali tersebar di berbagai unit kerja dan sulit diakses secara cepat oleh pihak manajemen. Hal ini menyebabkan proses monitoring dan evaluasi menjadi tidak efisien serta menghambat pengambilan keputusan strategis. Untuk menjawab permasalahan tersebut, dashboard informasi menjadi salah satu solusi teknologi yang dapat digunakan untuk menampilkan informasi kinerja secara visual, dinamis, dan interaktif.

Dashboard merupakan alat yang mampu menyajikan informasi penting dalam bentuk visual seperti diagram, grafik, indikator kinerja, serta mekanisme peringatan (alert system) yang mudah dipahami [4]. Dashboard berfungsi sebagai media visualisasi data yang mengintegrasikan berbagai sumber informasi ke dalam satu tampilan, sehingga memudahkan pimpinan dalam melakukan pemantauan dan pengambilan keputusan berbasis data [5] [6].

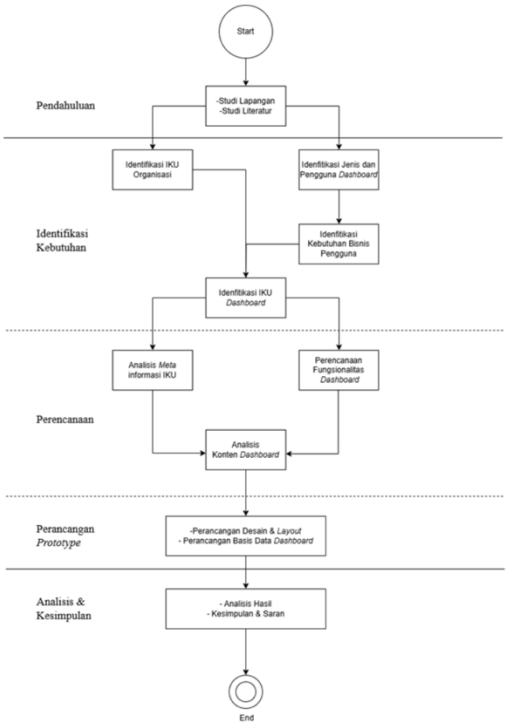
Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk merancang sistem informasi dashboard sebagai alat bantu dalam penilaian kinerja dosen di lingkungan Fakultas Teknologi Informasi, Perbanas Institute. Sistem ini diharapkan mampu menyajikan informasi kinerja dosen secara real-time, mendukung proses monitoring, serta mempermudah pimpinan fakultas dalam melakukan evaluasi dan perencanaan pengembangan sumber daya manusia.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode pengembangan (*design and development research*) yang berfokus pada perancangan sistem informasi berbasis teknologi. Pendekatan yang digunakan adalah pendekatan deskriptif kualitatif, dengan tujuan menghasilkan rancangan sistem yang sesuai dengan kebutuhan pengguna melalui analisis mendalam terhadap proses bisnis dan indikator kinerja dosen. Proses perancangan dilakukan dengan menggunakan metode prototyping

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

yang memungkinkan interaksi berulang antara perancang dan pengguna, sehingga sistem yang dihasilkan dapat dievaluasi dan disempurnakan berdasarkan umpan balik. Pendekatan *user-centered design* (UCD) digunakan untuk memastikan bahwa sistem yang dikembangkan berorientasi pada pengguna, baik dari sisi fungsi maupun tampilan antarmuka[7]



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 1, langkah penelitian yang dilakukan setelah dilakukan studi pendahuluan adalah:

1. **Identifikasi Kebutuhan Pengguna**

   Tahap ini bertujuan untuk menganalisis dan mendefinisikan kebutuhan pengguna serta organisasi. Proses identifikasi meliputi penentuan indikator kinerja utama yang relevan dengan tujuan institusi, mengindentifikasi jenis dan pengguna dashboard serta tipe visualisais yang sesuai, mengidentifikasi kebutuhan bisnis pengguna, dan mengidentifikasi indikator dashboard.
2. **Perancangan KPI dan struktur data**

   Tahap perencanaan mencakup kegiatan analisis sistem dan perancangan konseptual, yang meliputi analisis meta Informasi IKU, merencanakan fungsionalitas dashboard, dan menganalisis konten Dashboard.
3. **Perancangan Prototipe *dashboard***

   Pada tahap ini dikembangkan rancangan sistem dalam bentuk prototipe yang dilakukan secara iteratif. Desain antarmuka dan visualisasi dibuat menggunakan Chart.js dengan kombinasi *bar chart, gauge meter, donut chart*, dan *progress bar.* Kegiatan utamanya meliputi perancanganan desain dan tata letak dashboard dan basis Data Dashboard.
4. **Penyusunan model sistem**

   Model sisitem dibangun menggunaakan *Unifies Modeling Language* (UML), berupa *usecase diagram, activity diagram, sequence diagram dan claas diagram*
5. **Evaluasi prototipe**

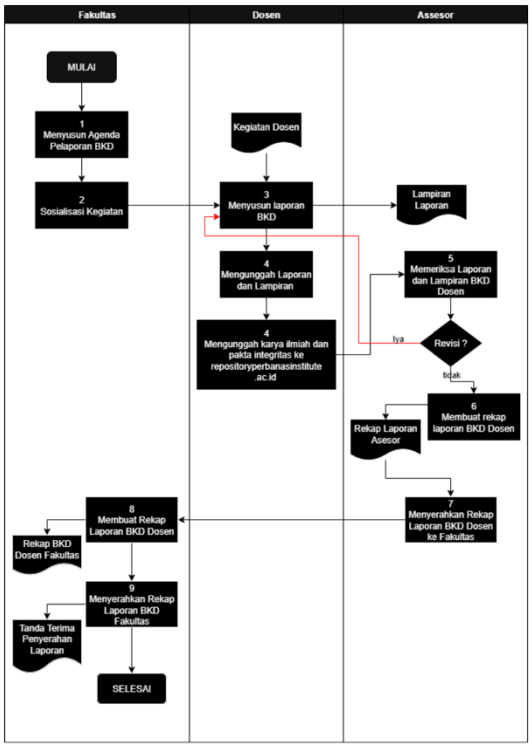
ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Evaluasi dilalukan untuk menilai efektivitas, kegunaan, serta kesesuaian prototipe dan penarikan kesimpulan. Prototipe diuji dengan pengguna secara terbatas untuk memperoleh umpan balik terhadap fungsi, visual, dan keakuratan informasi

3. Hasil dan Pembahasan

Fakultas sebagai unit pengelola dosen mengelola data capaian dosen dengan menghimpun seluruh data yang diberikan oleh dosen dalam basis data fakultas. Data tersebut berfungsi sebagai arsip evaluasi serta menjadi bahan utama bagi pimpinan fakultas dalam proses pengambilan keputusan strategis, seperti penentuan kinerja individu, pemberian penghargaan, maupun pertimbangan kenaikan jabatan fungsional. Proses penilaian kinerja tidak hanya berfungsi sebagai bentuk akuntabilitas akademik, tetapi juga sebagai instrumen penting dalam mendukung peningkatan mutu dan produktivitas dosen secara berkelanjutan.

Proses penilaian kinerja dosen seperti pada gambar 2 dilaksanakan secara periodik pada setiap akhir semester. Setiap dosen diwajibkan menyusun dan melaporan kinerjanya, dan diwajibkan melampirkan bukti pendukung kinerja tridarma yang telah dilakukan. Laporan kinerja dosen yang telah dikumpulkan selanjutnya diverifikasi dan disahkan oleh tim asesor, yang umumnya terdiri dari dua orang dosen yang ditunjuk oleh fakultas. Proses verifikasi ini bertujuan untuk memastikan kesesuaian antara data yang dilaporkan dengan bukti pendukung serta pencapaian indikator kinerja dosen berdasarkan ketentuan yang berlaku.



Gambar 2 Alur Proses Pelaporan Kinerja

3.1. Hasil Analisis Sistem

Sistem penilaian kinerja yang ada masih bersifat manual dengan pengumpulan data melalui dokumen BKD dan file spreadsheet. Hasil analisis menunjukkan kendala utama pada keterlambatan rekapitulasi data, kurangnya fitur visualisasi kinerja, dan tidak adanya sistem peringatan untuk capaian rendah. Selain itu hasil dari kinerja dosen tidak dapat dilihat secara detail oleh pimpinan sehingg menyulitkan dalam pengambilan keputusan.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Hasil akhir penilaian KPI dosen dalam skala 0-100% yang terdiri dari tiga rentang yaitu <50% berarti 'kurang', 50-70% berarti 'baik' dan >70% berarti 'Sangat Baik'. Perhitungan penilaian kinerja dosen seperti pada tabel 1.

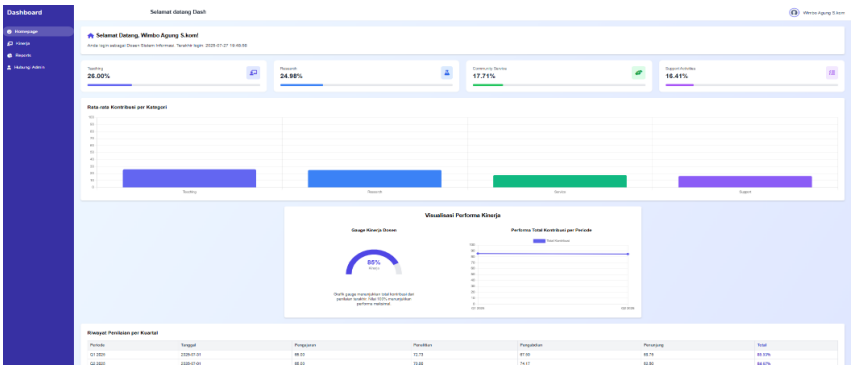
Tabel 4.5 Perhitungan Penilaian Kinerja Dosen

Perhitungan	**Cara Perhitungan**	**Satuan**
Kontribusi Penilaian Pengajaran	Total Nilai Pengajaran x Bobot	Angka
Kontribusi Penilaian Penelitian	Total Nilai Penelitian x Bobot	Angka
Kontribusi Penilaian Pengabdian	Total Nilai Pengabdian x Bobot	Angka
Kontribusi Penilaian Penunjang	Total Nilai Penunjang x Bobot	Angka
Hasil Akhir Total Nilai	**Penjumlahan Seluruh Kontribusi**	**Persen(%)**

3.2. Perancangan

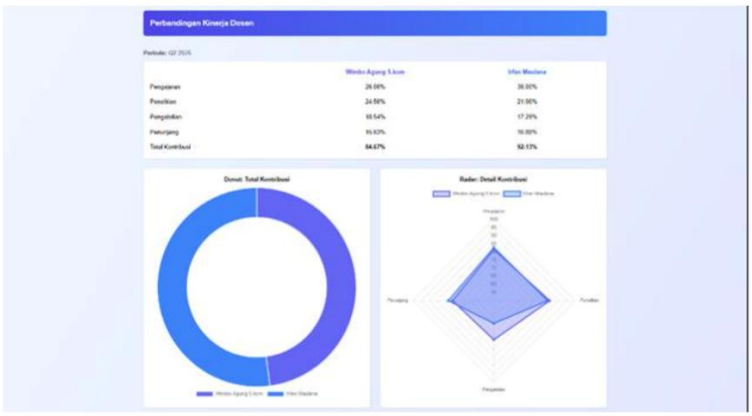
Dashboard dirancang untuk tiga kategori pengguna utama yaitu pimpinan fakultas (dekan), dosen, dan admin. Rancangan tampilan dashboard menggunakan visualisasi dinamis berbasis Chart.js, dengan antarmuka yang adaptif terhadap perangkat desktop dan mobile. Warna, tata letak, dan simbol dipilih berdasarkan prinsip keterbacaan dan persepsi visual agar pengguna mudah menafsirkan data. Rancangan Dashbord dosen sebagai berikut:

1. Rangkuman kinerja yang berisi *Progress bar* seperti pada gambar 3 untuk melihat rangkumahan pencapaian kinerja dosen



Gambar 3 Dashboard Rangkuman kinerja

2. Grafik Pengukur kinerja dosen



Gambar 4 Dashboard Perbandingan Kinerja

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

3.3. Pembagian Hasil

Rancangan dashboard yang dihasilkan menunjukkan beberapa keunggulan utama, yaitu:

- Efektivitas Monitoring: dashboard menampilkan data kinerja dosen secara real-time dan terukur.
- Transparansi Evaluasi: setiap dosen dapat melihat capaian tridharma secara.
- Efisiensi Pengambilan Keputusan: pimpinan dapat langsung melakukan evaluasi berbasis data.
- Kemudahan Akses dan Visualisasi: tampilan interaktif mempermudah pemahaman terhadap capaian kinerja.
-

Penerapan sistem informasi berbasis dashboard dalam proses penilaian kinerja dosen memberikan sejumlah manfaat strategis bagi manajemen perguruan tinggi. Sistem ini memungkinkan proses evaluasi berjalan lebih cepat, akurat, dan efisien dibandingkan metode manual yang membutuhkan waktu lama untuk rekapitulasi data. Keterbatasan sistem yang dibangun yaitu belum terintegrasi dengan sistem Ditjen Dikti. Pengembangan lanjutan disarankan untuk menambahkan fitur otomatisasi input dan ekspor laporan.

Temuan penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya oleh Sihombing et al. (2019) yang menyatakan bahwa penggunaan dashboard dalam sistem informasi manajemen dapat meningkatkan efisiensi monitoring kinerja organisasi. Penelitian Amalia (2024) juga menunjukkan bahwa penerapan konsep Tridharma sebagai dasar pengukuran kinerja dosen mampu memperkuat budaya akademik yang berorientasi pada produktivitas dan inovasi.

4. Kesimpulan

Penelitian yang telah dilakukan mengahisalkan rancangan sistem informasi berbasis dashboard yang berfungsi melakukan evaluasi dan pemantauan kinerja dosen. Sistem dirancang berdasarkan indikator kinerja tridharma perguruan tinggi yang mencakup pendidikan, penelitian, dan pengabdian kepada masyarakat. Pendekatan user-centered design yang diterapkan untuk merancang sistem, mampu menciptakan rancangan antarmuka yang sesuai dengan kebutuhan pengguna, baik bagi dosen maupun pihak pimpinan fakultas. Rancangan yang diahsilakn menunjukkan bahwa sistem informasi yang dibangun dapat mengintegrasikan serta menyimpan data kinerja dosen dari berbagai program studi secara terpusat. Informasi tersebut divisualisasikan dalam bentuk dashboard interaktif yang menampilkan beragam grafik dan chart, sehingga memudahkan pengguna dalam melakukan analisis capaian kinerja secara aktual dan faktual. Selain itu, sistem ini juga memberikan kemudahan bagi pimpinan fakultas dalam melakukan pemantauan kinerja secara real-time dan mendukung pengambilan keputusan berbasis data (data-driven decision making). Penelitian ini perlu dilanjutkan dengan implementasi sistem dalam lingkungan operasional yang lebih luas dengan penambahan fitur analitik prediktif untuk memproyeksikan pencapaian kinerja dosen di masa mendatang. Selain itu, integrasi dengan sistem informasi akademik serta pengembangan modul notifikasi otomatis berbasis indikator kinerja dapat menjadi langkah strategis untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi dalam pengelolaan kinerja dosen di perguruan tinggi.

Referensi

[1] N. Amalia, “Tridharma Perguruan Tinggi untuk Membangun Akademik dan Masyarakat Berpradaban,” *Karimah Tauhid*, vol. 3, no. 4, pp. 4654–4663, Apr. 2024, doi: 10.30997/karimahtauhid.v3i4.12886.

[2] L. Istiyowati, “Laporan Keuangan Menggunakan Executive Dashboard”.

[3] R. Hermansyah and S. Herliani, “Penetapan Key Performance Indicator untuk Model Dashboard Monitoring Layanan Pengadaan Barang Diskominfo Jawa Barat,” *Konf. Nas. Sist. Inf. KNSI 2018*,

Mar. 2018, Accessed: Oct. 31, 2025. [Online]. Available: https://jurnal.atmaluhur.ac.id/index.php/knsi2018/article/view/540

[4] D. Januarita and T. Dirgahayu, "Pengembangan Dashboard Information System (DIS)," *J. INFOTEL - Inform. Telekomun. Elektron.*, vol. 7, no. 2, p. 165, Nov. 2015, doi: 10.20895/infotel.v7i2.44.

[5] W. W. Sihombing, H. Aryadita, and D. S. Rusdianto, "Perancangan Dashboard Untuk Monitoring Dan Evaluasi (Studi Kasus : FILKOM UB)," *J. Pengemb. Teknol. Inf. Dan Ilmu Komput.*, vol. 3, no. 1, pp. 434–441, 2019.

[6] H. Setiaji, "DASHBOARD INFORMATION UNTUK SISTEM NILAI KINERJA DOSEN DENGAN PENDEKATAN DATA CENTRIC," *Compiler*, vol. 5, no. 1, May 2016, doi: 10.28989/compiler.v5i1.101.

[7] S. Setiawansyah, Q. J. Adrian, and R. N. Devija, "Penerapan Sistem Informasi Administrasi Perpustakaan Menggunakan Model Desain User Experience," *J. Manaj. Inform. JAMIKA*, vol. 11, no. 1, pp. 24–36, Apr. 2021, doi: 10.34010/jamika.v11i1.3710.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

ID: 26

Penerapan Metode Machine Learning untuk Deteksi Emosi pada Analisis Sentimen Teks Media Sosial

Application of Machine Learning Methods for Emotion Detection in Sentiment Analysis of Social Media Texts

Maria Claudia[1], Sae Khatami[2], Valentinus Paramarta[3*]
[1]Departemen Teknik Informatika, Perbanas Institute
[2]Departemen Sistem Informasi, Perbanas Institute
[3]Departemen Sains Data, Perbanas Institute
Jl Karet Kuningan, Setiabudi , Jakarta Selatan
maria.claudia@perbanas.id[1], sae.khatami@perbanas.id[2], valentinus13@perbanas.id[3*]

Abstrak – *Media sosial telah menjadi sumber data penting untuk memahami opini dan emosi masyarakat terhadap berbagai isu. Analisis sentimen dan deteksi emosi berbasis teks memungkinkan identifikasi ekspresi emosional pengguna secara otomatis menggunakan metode machine learning. Penelitian ini bertujuan membandingkan kinerja tiga algoritma, yaitu Support Vector Machine (SVM), Decision Tree (DT), dan Random Forest (RF), dalam mendeteksi emosi pada teks media sosial berbahasa Indonesia. Proses penelitian meliputi tahapan pra-pemrosesan teks, pembobotan fitur dengan Term Frequency–Inverse Document Frequency (TF-IDF), serta evaluasi model menggunakan metrik akurasi, presisi, recall, dan F1-score. Dataset diperoleh dari platform Kaggle dan dibagi menjadi 75% data latih dan 25% data uji. Hasil penelitian menunjukkan bahwa SVM memberikan performa terbaik dibandingkan DT dan RF. Sebelum optimasi, akurasi SVM sebesar 78%, sedangkan setelah optimasi hyperparameter dengan GridSearchCV, meningkat menjadi 82% dengan precision 0.80, recall 0.78, dan F1-score 0.79. Model DT dan RF masing-masing mencapai akurasi 77% dan 80% setelah optimasi. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa SVM merupakan algoritma paling efektif untuk deteksi emosi teks karena mampu menangani data berdimensi tinggi dengan baik dan memberikan hasil yang stabil.*

Kata Kunci*: Analisis Sentimen, Deteksi Emosi, Machine Learning, SVM, Decision Tree, Random Forest*

Abstract – *Social media has become a valuable source of data for understanding public opinions and emotions on various issues. Sentiment analysis and emotion detection based on textual data enable the automatic identification of users' emotional expressions using machine learning techniques. This study aims to compare the performance of three algorithms Support Vector Machine (SVM), Decision Tree (DT), and Random Forest (RF) in detecting emotions from Indonesian-language social media texts. The research process includes text preprocessing, feature weighting using Term Frequency–Inverse Document Frequency (TF-IDF), and model evaluation based on accuracy, precision, recall, and F1-score metrics. The dataset was obtained from the Kaggle platform and divided into 75% training data and 25% testing data. Experimental results show that the SVM algorithm achieves the best performance compared to DT and RF. Before optimization, SVM achieved 78% accuracy, and after hyperparameter optimization using GridSearchCV, its accuracy increased to 82%, with precision 0.80, recall 0.78, and F1-score 0.79. Meanwhile, DT and RF reached 77% and 80% accuracy, respectively, after optimization. These findings indicate that SVM is the most effective algorithm for emotion detection in social media texts due to its robustness in handling high-dimensional data and delivering stable results.*

Keywords*: Sentiment Analysis, Emotion Detection, Machine Learning, SVM, Decision Tree, Random Forest*

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi yang pesat telah mengubah secara signifikan cara manusia berinteraksi dan berkomunikasi di era digital saat ini [1]. Salah satu wujud transformasi tersebut adalah meningkatnya penggunaan media sosial sebagai sarana utama masyarakat untuk berbagi informasi, mengekspresikan pendapat, dan mengungkapkan emosi. Platform seperti Twitter, Instagram, dan Facebook menjadi ruang publik di mana pengguna dapat menuliskan pikiran dan perasaan mereka secara bebas [2]. Media sosial kini tidak hanya menjadi alat komunikasi, tetapi juga sumber data yang kaya untuk memahami perilaku, opini, dan kondisi emosional masyarakat [3]. Melalui analisis data teks yang dihasilkan dari media sosial, peneliti dapat memperoleh wawasan mengenai sentimen dan emosi publik terhadap isu-isu tertentu. Namun, menafsirkan emosi dari teks merupakan tantangan tersendiri karena sifat bahasa alami yang ambigu, subjektif, dan kontekstual [4].

Analisis sentimen (sentiment analysis) merupakan teknik dalam Natural Language Processing (NLP) yang digunakan untuk menilai kecenderungan emosional suatu teks, apakah bersifat positif, negatif, atau netral [5]. Sementara itu, deteksi emosi (emotion detection) bertujuan mengidentifikasi kategori emosi spesifik seperti marah, sedih, bahagia, takut, dan cinta yang terkandung dalam teks [6]. Kedua pendekatan ini memiliki keterkaitan erat karena sama-sama berfokus pada interpretasi subjektivitas dari data tekstual. Dalam konteks Indonesia, analisis sentimen dan deteksi emosi dari teks media sosial memiliki urgensi yang tinggi. Banyak isu sosial, politik, dan ekonomi mencerminkan dinamika emosional masyarakat yang diekspresikan melalui media sosial [7]. Oleh karena itu, kemampuan untuk mengidentifikasi dan mengklasifikasikan emosi pengguna dapat membantu lembaga pemerintah, perusahaan, maupun peneliti sosial dalam memahami persepsi publik secara real time.

Berbagai metode machine learning telah diterapkan dalam analisis sentimen dan deteksi emosi. Salah satu algoritma yang paling banyak digunakan adalah Support Vector Machine (SVM) karena kemampuannya dalam menangani data berdimensi tinggi dan menghasilkan performa yang stabil [8]. Selain itu, algoritma Decision Tree (DT) dan Random Forest (RF) juga terbukti efektif dalam klasifikasi teks karena kemampuannya mengekstraksi pola dari data non-linear dengan kompleksitas rendah [9]. Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan dan membandingkan ketiga algoritma machine learning SVM, Decision Tree, dan Random Forest dalam mendeteksi emosi berdasarkan teks media sosial yang diperoleh dari dataset publik. Analisis ini dilakukan melalui tahapan preprocessing teks, ekstraksi fitur menggunakan TF-IDF, serta evaluasi performa model menggunakan metrik akurasi, presisi, recall, dan F1-score.

Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh model terbaik dalam mengklasifikasikan emosi pengguna media sosial berdasarkan teks yang mereka tulis. Selain itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan sistem analisis sentimen berbahasa Indonesia yang lebih akurat, serta mendukung pemanfaatan machine learning untuk pemahaman emosi masyarakat di era digital.

2. Metode Penelitian

2.1. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental dengan tujuan untuk membandingkan performa tiga algoritma machine learning, yaitu Support Vector Machine (SVM), Decision Tree (DT), dan Random Forest (RF), dalam mendeteksi emosi pada teks media sosial berbahasa Indonesia. Desain penelitian disusun secara sistematis mulai dari pengumpulan data, pra-pemrosesan (pre-processing), pembobotan kata, pelatihan model, hingga evaluasi performa [1]. Proses utama penelitian ini melibatkan tahapan analisis sentimen dan deteksi emosi berbasis teks, di mana model dilatih untuk mengenali tiga kategori emosi, yaitu senang, sedih, dan marah, berdasarkan data teks yang dikumpulkan dari platform media sosial [2].

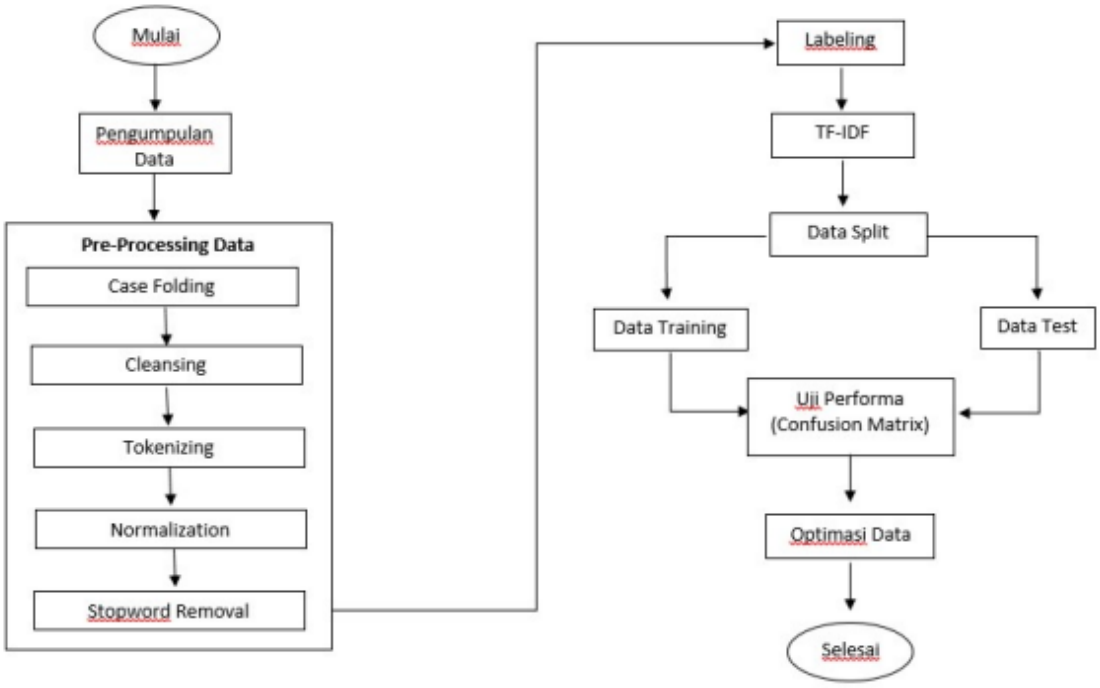
ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

2.2. Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data publik yang diunduh dari platform Kaggle, dengan konten berupa teks komentar media sosial berbahasa Indonesia yang telah memiliki label emosi [3]. Dataset ini terdiri atas ribuan baris teks dengan proporsi distribusi kelas yang seimbang untuk setiap label emosi. Format data mencakup dua kolom utama: kolom teks (berisi konten komentar) dan kolom label (berisi kategori emosi). Data tersebut dipilih karena mewakili ragam ekspresi pengguna media sosial dalam konteks bahasa informal, slang, serta penggunaan tanda baca yang khas di media sosial Indonesia, yang menambah kompleksitas proses deteksi emosi [4].

2.3. Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan utama seperti terlihat pada Gambar 1, yang menggambarkan alur sistem mulai dari data mentah hingga evaluasi performa model. Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan utama yang terstruktur secara sistematis. Tahap pertama adalah pengumpulan data, di mana dataset diambil dari platform publik Kaggle yang berisi kumpulan teks komentar pengguna media sosial berbahasa Indonesia dengan label emosi yang telah ditentukan sebelumnya [5]. Sebelum digunakan, data tersebut dibersihkan dari duplikasi, baris kosong, serta karakter non-alfabet agar kualitas data tetap terjaga.



Gambar 1. Langkah Penelitian

Tahap berikutnya adalah pra-pemrosesan teks (text pre-processing) yang bertujuan untuk menyiapkan data mentah menjadi bentuk yang dapat diproses oleh algoritma machine learning. Proses ini melibatkan beberapa langkah, yaitu cleaning untuk menghapus karakter khusus seperti angka, tanda baca, dan tautan; case folding untuk menyeragamkan semua huruf menjadi huruf kecil; normalization untuk mengubah kata tidak baku menjadi bentuk baku; stopword removal untuk menghapus kata-kata umum yang tidak relevan seperti “yang”, “dan”, atau “di”; stemming untuk mengubah kata berimbuhan menjadi kata dasar menggunakan pustaka Sastrawi; serta

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

tokenization untuk memecah kalimat menjadi satuan kata (token) [6]. Hasil akhir dari proses pra-pemrosesan ini berupa teks bersih dan terstruktur yang siap dikonversi ke bentuk numerik.

Langkah selanjutnya adalah pembobotan fitur (feature extraction) menggunakan metode Term Frequency–Inverse Document Frequency (TF-IDF). Teknik ini memberikan bobot yang lebih tinggi pada kata yang jarang muncul namun relevan terhadap konteks dokumen, dan menurunkan bobot pada kata umum yang sering muncul di seluruh korpus [7]. Hasil representasi TF-IDF berupa vektor numerik yang digunakan sebagai masukan (input) bagi model klasifikasi. Tahap berikutnya adalah pemisahan data (data splitting), di mana dataset dibagi menjadi dua bagian dengan proporsi 75% data latih (training set) dan 25% data uji (testing set). Pembagian dilakukan secara acak dengan metode stratified sampling agar distribusi label emosi tetap seimbang [8].

Setelah data siap, dilakukan tahap penerapan algoritma machine learning, yaitu Support Vector Machine (SVM), Decision Tree (DT), dan Random Forest (RF). Algoritma SVM digunakan dengan kernel linear dan parameter C hasil tuning, sementara Decision Tree diterapkan dengan kriteria Gini Index dan batas kedalaman pohon (max_depth) tertentu. Random Forest digunakan dengan konfigurasi 100 estimator (n_estimators = 100) untuk meningkatkan akurasi dan mengurangi risiko overfitting [9]. Semua model diimplementasikan menggunakan pustaka scikit-learn (sklearn) pada bahasa pemrograman Python.

Tahap terakhir adalah evaluasi performa model dengan menggunakan Confusion Matrix. Evaluasi dilakukan berdasarkan empat metrik utama, yaitu akurasi, presisi, recall, dan F1-score, yang masing-masing digunakan untuk mengukur tingkat ketepatan, sensitivitas, dan keseimbangan antara keduanya dalam hasil prediksi [10]. Nilai-nilai metrik tersebut menjadi dasar perbandingan kinerja ketiga algoritma untuk menentukan model terbaik dalam mendeteksi emosi pada teks media sosial.

3. Hasil dan Pembahasan

Bagian ini menyajikan hasil dari penerapan tiga algoritma machine learning, yaitu Support Vector Machine (SVM), Decision Tree (DT), dan Random Forest (RF) dalam mendeteksi emosi pada teks media sosial berbahasa Indonesia. Analisis dilakukan untuk mengevaluasi performa masing-masing algoritma dalam mengklasifikasikan emosi berdasarkan data yang telah melalui tahap pra-pemrosesan dan pembobotan TF-IDF. Hasil penelitian ini disajikan dalam bentuk tabel, grafik, dan analisis deskriptif yang menggambarkan kinerja model berdasarkan metrik akurasi, presisi, recall, dan F1-score. Selain itu, pembahasan juga dilakukan untuk menjelaskan perbandingan performa antar model serta faktor-faktor yang memengaruhi tingkat akurasi deteksi emosi.

Melalui hasil evaluasi yang diperoleh, penelitian ini berupaya menjawab pertanyaan utama terkait efektivitas algoritma machine learning dalam mendeteksi emosi pada teks media sosial berbahasa Indonesia serta menentukan model yang paling optimal untuk konteks analisis sentimen berbasis emosi.

3.1. Hasil Eksperimen dan Evaluasi Model

Eksperimen dilakukan untuk mengevaluasi kinerja tiga algoritma machine learning, yaitu Support Vector Machine (SVM), Decision Tree (DT), dan Random Forest (RF), dalam mendeteksi emosi berdasarkan teks media sosial. Setiap model diuji dalam dua tahap, yaitu sebelum dan sesudah dilakukan optimasi parameter. Pengujian menggunakan data uji sebesar 25% dari total dataset, sedangkan 75% data digunakan untuk pelatihan. Evaluasi dilakukan menggunakan empat metrik utama, yaitu akurasi, presisi, recall, dan F1-score.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

A. Hasil Sebelum Optimasi

Pada tahap awal, pengujian dilakukan terhadap ketiga algoritma Support Vector Machine (SVM), Decision Tree (DT), dan Random Forest (RF) tanpa melakukan penyesuaian (tuning) terhadap parameter model. Seluruh algoritma dilatih menggunakan data latih sebesar 75% dan diuji dengan 25% data uji yang telah melalui proses pra-pemrosesan dan pembobotan fitur menggunakan TF-IDF. Tujuan dari tahap ini adalah untuk mengamati performa dasar (baseline performance) masing-masing algoritma dalam mengklasifikasikan emosi pada teks media sosial berbahasa Indonesia sebelum dilakukan optimasi hyperparameter. Pengujian dilakukan dengan menggunakan metrik akurasi, presisi, recall, dan F1-score untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai kinerja model.

Berdasarkan hasil pengujian, algoritma SVM menunjukkan performa paling baik dibandingkan dua algoritma lainnya. Model SVM menghasilkan akurasi sebesar 78%, dengan nilai rata-rata precision 0.76, recall 0.74, dan F1-score 0.75. Hal ini menunjukkan bahwa SVM mampu mengidentifikasi pola antar kata yang merepresentasikan emosi dengan cukup baik.
Sementara itu, algoritma Decision Tree mencatat akurasi sebesar 73% dengan nilai precision dan recall yang relatif rendah dibandingkan SVM. Kondisi ini disebabkan oleh sifat dasar DT yang cenderung overfitting terhadap data latih ketika parameter max_depth tidak dibatasi. Model Random Forest memiliki performa lebih baik daripada Decision Tree, dengan akurasi sebesar 76%, karena pendekatan ensemble learning yang digunakan mampu mengurangi risiko overfitting dengan menggabungkan hasil prediksi dari beberapa pohon keputusan [11]. Hasil lengkap evaluasi ketiga algoritma sebelum dilakukan optimasi disajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hasil Evaluasi Model Sebelum Optimasi

Model	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score
Support Vector Machine (SVM)	0.78	0.76	0.74	0.75
Decision Tree (DT)	0.73	0.70	0.68	0.69
Random Forest (RF)	0.76	0.74	0.72	0.73

Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa algoritma SVM memiliki kinerja paling konsisten di antara ketiganya, terutama dalam menjaga keseimbangan antara presisi dan recall. Model ini unggul karena kemampuannya dalam memisahkan kelas menggunakan margin optimal, sehingga cocok untuk data berdimensi tinggi seperti representasi TF-IDF [12]. Sementara itu, model Decision Tree menghasilkan nilai recall yang paling rendah, yang mengindikasikan bahwa model ini kurang mampu mengenali seluruh data dengan label yang benar pada kelas minoritas, seperti emosi “marah”. Hal ini selaras dengan karakteristik DT yang sering kali membangun model terlalu spesifik terhadap data latih.

Random Forest mampu memperbaiki sebagian kekurangan tersebut karena pendekatan agregasi beberapa pohon (bagging) menghasilkan model yang lebih stabil. Namun, dibandingkan SVM, RF masih memiliki keterbatasan dalam menangani data dengan representasi sparsity tinggi seperti teks media sosial yang sangat bervariasi dalam panjang dan bentuk kalimat [13]. Secara umum, hasil sebelum optimasi ini menunjukkan bahwa SVM merupakan model paling potensial untuk tugas deteksi emosi berbasis teks, sementara Decision Tree dan Random Forest memerlukan penyesuaian parameter lebih lanjut agar dapat memberikan hasil yang kompetitif. Tahap berikutnya akan membahas hasil setelah dilakukan optimasi hyperparameter untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi ketiga model.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

B. Hasil Setelah Optimasi

Setelah dilakukan pengujian awal, tahap selanjutnya adalah melakukan optimasi hyperparameter (hyperparameter tuning) untuk meningkatkan performa model. Proses ini dilakukan dengan menggunakan teknik GridSearchCV, yaitu metode pencarian kombinasi parameter terbaik berdasarkan proses cross-validation secara otomatis [14]. Optimasi ini bertujuan untuk menemukan konfigurasi parameter paling optimal yang mampu memberikan akurasi dan generalisasi terbaik bagi model.

Setiap algoritma memiliki parameter utama yang disesuaikan dalam proses tuning. Pada algoritma SVM, parameter yang dioptimalkan meliputi nilai C (regularization parameter), kernel (linear dan RBF), serta gamma (scale dan auto). Pada algoritma Decision Tree, parameter yang disesuaikan antara lain max_depth, criterion (gini dan entropy), serta min_samples_split. Sedangkan pada Random Forest, parameter yang dioptimasi meliputi n_estimators, max_depth, dan criterion. Dari hasil optimasi, model SVM dengan konfigurasi terbaik C = 10, kernel = linear, dan gamma = scale berhasil memberikan peningkatan performa yang signifikan. Akurasi meningkat dari 78% menjadi 82%, dengan nilai rata-rata precision 0.80, recall 0.78, dan F1-score 0.79. Model ini menunjukkan peningkatan paling tinggi di kelas "Marah", yang sebelumnya memiliki nilai recall rendah karena ketidakseimbangan data antar kelas.

Untuk model Decision Tree, hasil tuning terbaik diperoleh dengan parameter max_depth = 10, criterion = entropy, dan min_samples_split = 4, yang menghasilkan peningkatan akurasi dari 73% menjadi 77%, serta peningkatan pada seluruh metrik evaluasi rata-rata. Sementara itu, Random Forest menunjukkan peningkatan paling stabil setelah dioptimasi dengan parameter n_estimators = 100, max_depth = 8, dan criterion = gini, menghasilkan akurasi sebesar 80%. Hasil perbandingan performa ketiga algoritma setelah optimasi disajikan dalam Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil Evaluasi Model Setelah Optimasi

Model	Parameter Terbaik	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score
SVM (GridSearchCV)	C=10, kernel=linear, gamma=scale	0.82	0.80	0.78	0.79
Decision Tree (Optimized)	max_depth=10, criterion=entropy	0.77	0.74	0.72	0.73
Random Forest (Optimized)	n_estimators=100, max_depth=8, criterion=gini	0.80	0.78	0.76	0.77

Berdasarkan tabel di atas, terlihat bahwa seluruh model mengalami peningkatan performa setelah dilakukan optimasi hyperparameter. Model SVM tetap menjadi yang paling unggul dengan peningkatan akurasi sebesar 4%, diikuti oleh Random Forest (+4%) dan Decision Tree (+3%). Hal ini menunjukkan bahwa proses tuning parameter sangat berpengaruh terhadap kinerja model, terutama dalam menangani kompleksitas data teks media sosial yang memiliki karakteristik high-dimensional dan sparse [15].

Secara keseluruhan, peningkatan performa pada model SVM disebabkan oleh kemampuan metode ini dalam menyesuaikan margin pemisah antar kelas melalui nilai parameter C, serta penggunaan kernel linear yang lebih sesuai dengan representasi TF-IDF yang linier. Sedangkan Decision Tree dan Random Forest menunjukkan peningkatan karena penyesuaian kedalaman pohon (max_depth) dan jumlah estimator yang optimal, sehingga model mampu menyeimbangkan antara bias dan varians secara lebih baik. Dengan demikian, hasil eksperimen setelah optimasi memperkuat temuan bahwa SVM merupakan algoritma yang paling efektif untuk tugas klasifikasi emosi berbasis teks media sosial pada penelitian ini, karena menghasilkan performa yang paling tinggi dan stabil dibandingkan dua algoritma lainnya.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

3.2. Analisis Perbandingan Kinerja Algoritma

Analisis perbandingan dilakukan untuk memahami secara mendalam perbedaan performa ketiga algoritma machine learning, yaitu Support Vector Machine (SVM), Decision Tree (DT), dan Random Forest (RF), baik sebelum maupun sesudah dilakukan optimasi hyperparameter. Pembandingan dilakukan berdasarkan empat metrik utama, yaitu akurasi, presisi, recall, dan F1-score, yang masing-masing memberikan pandangan komplementer terhadap kemampuan model dalam mendeteksi emosi berdasarkan teks media sosial.

Dari hasil pengujian, SVM menunjukkan performa paling unggul baik sebelum maupun sesudah optimasi, dengan akurasi meningkat dari 78% menjadi 82%. Hal ini mengindikasikan bahwa SVM mampu menangani karakteristik data teks yang memiliki dimensi fitur tinggi dan tingkat sparsity besar secara efisien. Algoritma ini bekerja dengan mencari hyperplane optimal yang memisahkan kelas dengan margin terbesar, sehingga lebih tahan terhadap noise dan variasi kata dalam teks [16]. Decision Tree, di sisi lain, memperlihatkan kinerja yang lebih fluktuatif dengan akurasi yang relatif lebih rendah, yaitu 73% sebelum optimasi dan 77% setelah optimasi. Hal ini disebabkan oleh kecenderungan DT untuk membentuk struktur pohon yang terlalu kompleks pada data latih (overfitting), terutama ketika kedalaman pohon tidak dikontrol. Meskipun optimasi pada parameter max_depth dan criterion berhasil meningkatkan performa, model ini masih kurang stabil ketika diuji pada data baru [17]. Sementara itu, Random Forest menunjukkan performa yang lebih seimbang dan konsisten. Dengan menggunakan pendekatan bagging (bootstrap aggregating) dari banyak pohon keputusan, RF berhasil mengurangi varians dan meningkatkan kemampuan generalisasi model. Peningkatan akurasi dari 76% menjadi 80% menunjukkan bahwa RF memiliki keunggulan dalam menyeimbangkan antara kompleksitas model dan stabilitas prediksi [18].

Dari segi presisi dan recall, model SVM juga menghasilkan keseimbangan terbaik dengan rata-rata nilai presisi 0.80 dan recall 0.78 setelah optimasi. Hal ini menunjukkan bahwa SVM mampu meminimalkan kesalahan dalam mendeteksi emosi yang benar (false positive rendah) dan juga tidak kehilangan banyak instance dari kelas sebenarnya (false negative rendah). Pada Decision Tree, nilai recall yang lebih rendah dibandingkan presisi menandakan bahwa model cenderung gagal mengenali beberapa data dari kelas minoritas, seperti emosi "marah" yang jumlahnya lebih sedikit dalam dataset. Sementara pada Random Forest, nilai presisi dan recall cukup seimbang (0.78 dan 0.76), yang mencerminkan kemampuan model dalam mengenali variasi pola tanpa kehilangan akurasi secara signifikan [19]. F1-score, yang merupakan rata-rata harmonik dari presisi dan recall, memperkuat hasil tersebut: SVM memiliki skor tertinggi 0.79, disusul RF (0.77) dan DT (0.73). Artinya, kombinasi antara ketepatan dan kelengkapan prediksi paling optimal diperoleh melalui SVM.

Proses optimasi hyperparameter memberikan dampak positif yang konsisten terhadap seluruh model. Kenaikan akurasi dan nilai F1-score menunjukkan bahwa pemilihan parameter yang tepat memainkan peran penting dalam meningkatkan performa algoritma klasifikasi teks. Pada SVM, pemilihan parameter C = 10 dan kernel linear menghasilkan keseimbangan antara margin pemisah yang optimal dan kemampuan generalisasi model. Pada Decision Tree, penyesuaian max_depth berhasil mengurangi overfitting yang sebelumnya menyebabkan penurunan akurasi. Sementara pada Random Forest, peningkatan jumlah pohon (n_estimators = 100) membantu memperkuat kestabilan model terhadap variasi data pelatihan [20]. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa SVM unggul dalam hal akurasi dan stabilitas prediksi, Random Forest lebih unggul dalam generalisasi dan ketahanan terhadap noise, sedangkan Decision Tree memiliki keunggulan dari sisi interpretabilitas namun kurang stabil dalam data teks berfitur tinggi.

Perbedaan performa antar algoritma dapat dijelaskan melalui karakteristik dasar dan mekanisme kerja masing-masing model. Algoritma Support Vector Machine (SVM) bekerja secara efektif pada data berdimensi tinggi karena memanfaatkan prinsip maximum margin classifier, yaitu mencari garis atau bidang pemisah terbaik yang memaksimalkan jarak antar kelas. Dengan konsep ini, SVM

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

mampu tetap menghasilkan prediksi yang akurat meskipun data memiliki banyak fitur yang tidak relevan seperti halnya hasil representasi TF-IDF pada data teks media sosial yang bersifat sparse dan berukuran besar.

Berbeda dengan SVM, algoritma Decision Tree (DT) membangun model klasifikasi berdasarkan pemisahan berbasis aturan (rule-based splits) yang diambil dari nilai atribut tertentu pada setiap simpul pohon keputusan. Pendekatan ini membuat DT lebih mudah diinterpretasikan, tetapi juga menjadikannya sensitif terhadap variasi kecil dalam data. Akibatnya, model cenderung overfitting dan kurang mampu menangkap hubungan non-linear yang kompleks antar kata dalam teks. Sementara itu, algoritma Random Forest (RF) dikembangkan sebagai solusi atas kelemahan Decision Tree dengan menerapkan prinsip ensemble learning, yaitu menggabungkan banyak pohon keputusan secara bersamaan untuk menghasilkan prediksi yang lebih stabil. Setiap pohon dilatih menggunakan subset data dan fitur yang berbeda, sehingga variasi model dapat menurunkan tingkat varians keseluruhan dan meningkatkan kemampuan generalisasi model terhadap data baru. Dengan demikian, RF lebih tahan terhadap noise dan ketidakseimbangan data dibandingkan Decision Tree tunggal [21]. Perbandingan performa akhir ketiga model dapat dirangkum sebagai berikut pada Tabel 3.

Tabel 3. Ringkasan Peningkatan Kinerja Model Sebelum dan Sesudah Optimasi

Model	Accuracy Sebelum	Accuracy Sesudah	Δ Akurasi	F1-Score Sebelum	F1-Score Sesudah
SVM	0.78	0.82	+0.04	0.75	0.79
Decision Tree	0.73	0.77	+0.04	0.69	0.73
Random Forest	0.76	0.80	+0.04	0.73	0.77

Berdasarkan hasil pada tabel di atas, seluruh algoritma mengalami peningkatan performa setelah dilakukan optimasi hyperparameter. Namun, SVM tetap menjadi model paling unggul secara keseluruhan, dengan nilai akurasi dan F1-score tertinggi di antara ketiganya. Peningkatan konsisten pada semua model menegaskan bahwa tuning parameter merupakan tahap krusial dalam pipeline machine learning untuk klasifikasi emosi berbasis teks media sosial.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai penerapan metode machine learning untuk deteksi emosi pada analisis sentimen teks media sosial, dapat disimpulkan bahwa algoritma Support Vector Machine (SVM) menunjukkan performa terbaik dibandingkan dengan Decision Tree (DT) dan Random Forest (RF). Pada tahap sebelum optimasi, model SVM menghasilkan akurasi sebesar 78%, dengan nilai rata-rata precision 0.76, recall 0.74, dan F1-score 0.75. Setelah dilakukan optimasi hyperparameter menggunakan teknik GridSearchCV, performa model meningkat signifikan dengan akurasi mencapai 82%, serta rata-rata precision 0.80, recall 0.78, dan F1-score 0.79. Hasil ini menunjukkan bahwa pemilihan parameter yang tepat, khususnya pada nilai C dan kernel, berpengaruh besar terhadap kemampuan model dalam mengklasifikasikan emosi dengan akurat.

Sementara itu, algoritma Decision Tree mencatatkan akurasi sebesar 73% sebelum optimasi dan meningkat menjadi 77% setelah penyesuaian parameter max_depth dan criterion. Model ini unggul dari sisi interpretabilitas namun memiliki kelemahan pada kestabilan prediksi akibat kecenderungan overfitting. Adapun algoritma Random Forest menunjukkan hasil yang cukup kompetitif, dengan peningkatan akurasi dari 76% menjadi 80%, serta keseimbangan nilai precision dan recall yang baik, berkat kemampuannya dalam menggabungkan prediksi dari banyak pohon keputusan (ensemble learning).

Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa SVM merupakan algoritma yang paling efektif untuk deteksi emosi pada teks media sosial berbahasa Indonesia, karena mampu

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

menangani data dengan dimensi tinggi serta memberikan hasil yang stabil pada setiap kategori emosi. Temuan ini juga memperlihatkan bahwa optimasi hyperparameter berperan penting dalam meningkatkan kinerja model, terutama untuk algoritma dengan kompleksitas tinggi seperti SVM dan RF.

Sebagai saran untuk penelitian selanjutnya, terdapat beberapa arah pengembangan yang dapat dilakukan. Pertama, penggunaan metode balancing data seperti SMOTE atau ADASYN dapat membantu mengatasi ketidakseimbangan kelas emosi, terutama pada kategori dengan jumlah data lebih sedikit. Kedua, eksplorasi algoritma deep learning seperti LSTM (Long Short-Term Memory) atau BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) berpotensi meningkatkan akurasi dengan kemampuan memahami konteks semantik yang lebih dalam. Ketiga, penelitian mendatang dapat memperluas cakupan data dengan menggunakan berbagai sumber media sosial, serta melakukan analisis multibahasa untuk memperkaya generalisasi model. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat menjadi landasan dalam pengembangan model analisis sentimen dan deteksi emosi berbasis machine learning di Indonesia, serta mendorong penerapan kecerdasan buatan yang lebih luas dalam memahami persepsi dan emosi masyarakat di ruang digital.

Referensi

[1] S. Safrudin, A. Hidayat, dan F. Ramadhan, "Confusion Matrix untuk Evaluasi Model Klasifikasi pada Machine Learning," *Jurnal Teknologi Informasi dan Komputer (JTIK)*, vol. 9, no. 2, pp. 55–62, 2024.

[2] A. Hokijuliandy, D. Pramudito, dan I. Wulandari, "Analisis Sentimen Menggunakan Algoritma Support Vector Machine," *Jurnal Ilmiah Informatika*, vol. 8, no. 1, pp. 23–30, 2023.

[3] M. Adiyanto, R. F. Ananda, dan Y. H. Putra, "Deteksi Emosi Berbasis Teks untuk Menganalisis Kuliah Daring Selama Masa Pandemi Menggunakan Algoritme Support Vector Machine," *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi (JTIKOM)*, vol. 10, no. 3, pp. 201–210, 2022.

[4] F. Syah dan R. Witanti, "Analisis Sentimen Masyarakat terhadap Vaksinasi Covid-19 pada Media Sosial Twitter Menggunakan Algoritma Support Vector Machine," *Jurnal Sains dan Teknologi Komputer (JSTK)*, vol. 4, no. 2, pp. 122–131, 2022.

[5] D. Yahya, M. Deswandi, dan A. Lubis, "Analisis Sentimen untuk Deteksi Ujaran Kebencian pada Media Sosial Terkait Pemilu 2024 Menggunakan Metode Support Vector Machine," *Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi Indonesia (JTSII)*, vol. 12, no. 1, pp. 11–20, 2024.

[6] N. Indriani dan H. Nurmalasari, "Penerapan Text Preprocessing pada Analisis Sentimen Twitter Menggunakan Metode TF-IDF," *Jurnal Informatika dan Komputer Indonesia (JIKOM)*, vol. 7, no. 2, pp. 45–52, 2023.

[7] A. Prasetyo dan T. W. Sari, "Analisis Emosi Pengguna Media Sosial Twitter Menggunakan Metode Machine Learning," *Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi*, vol. 11, no. 2, pp. 134–141, 2023.

[8] K. Puspitasari dan R. Firmansyah, "Klasifikasi Sentimen Menggunakan Support Vector Machine dengan Pembobotan TF-IDF," *Jurnal Ilmiah Informatika Global (JIIG)*, vol. 9, no. 1, pp. 17–26, 2022.

[9] F. Rahmawati, M. F. Rachman, dan D. S. Nugroho, "Implementasi Decision Tree dan Random Forest untuk Analisis Sentimen Ulasan Pengguna," *Jurnal Komputer dan Aplikasi*, vol. 8, no. 4, pp. 210–219, 2023.

[10] D. Kurniawan, "Evaluasi Model Machine Learning Menggunakan Metrik Accuracy, Precision, Recall, dan F1-Score," *Jurnal Teknologi Informasi (JTIN)*, vol. 6, no. 3, pp. 67–75, 2023.

[11] I. M. Al Fajri, "Perbandingan Kinerja SVM dan Random Forest dalam Klasifikasi Teks," *Jurnal Sistem Cerdas dan Komputasi*, vol. 5, no. 2, pp. 56–64, 2022.

[12] S. Wibowo, "Analisis Efektivitas Metode Support Vector Machine untuk Klasifikasi Teks Bahasa Indonesia," *Jurnal Ilmu Komputer Terapan*, vol. 7, no. 1, pp. 23–31, 2022.

[13] R. Handayani dan F. Chandra, "Implementasi Ensemble Learning Menggunakan Random Forest untuk Analisis Sentimen," *Jurnal Teknologi dan Informasi (JTI)*, vol. 10, no. 2, pp. 88–96, 2023.

[14] M. Suryadi dan D. P. Lestari, "Optimasi Hyperparameter Model Machine Learning Menggunakan GridSearchCV," *Jurnal Teknologi dan Sistem Cerdas (JTSC)*, vol. 9, no. 1, pp. 12–20, 2023.

[15] E. N. Dewi dan L. Putra, "Pengaruh Optimasi Hyperparameter terhadap Akurasi Klasifikasi Menggunakan Support Vector Machine," *Jurnal Informatika Indonesia (JII)*, vol. 8, no. 2, pp. 34–42, 2024.

[16] N. S. Rahman dan B. Mahendra, "Analisis Model Margin pada Support Vector Machine untuk Data Berdimensi Tinggi," *Jurnal Matematika dan Komputasi*, vol. 10, no. 1, pp. 75–84, 2023.

[17] D. P. Ramadhani, "Pengaruh Parameter Max Depth terhadap Overfitting pada Model Decision Tree," *Jurnal Ilmiah Komputer dan Data Sains (JIKODS)*, vol. 3, no. 2, pp. 102–109, 2023.

[18] F. Hartono dan M. Yuliana, "Kinerja Algoritma Random Forest dalam Mengatasi Overfitting pada Data Teks," *Jurnal Teknologi dan Analitika Data*, vol. 5, no. 2, pp. 81–89, 2023.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

[19] A. Wibisono dan H. Ramli, "Analisis Perbandingan Precision dan Recall pada Algoritma Klasifikasi Teks," *Jurnal Teknologi dan Sains Komputer (JTSC)*, vol. 6, no. 3, pp. 59–68, 2022.

[20] T. Setiawan dan Y. K. Nugraha, "Pengaruh Hyperparameter terhadap Kinerja Random Forest untuk Data Klasifikasi," *Jurnal Sains Komputer dan Sistem Informasi*, vol. 9, no. 1, pp. 44–51, 2024.

[21] H. S. Widodo, "Analisis Ensemble Learning untuk Peningkatan Generalisasi Model Klasifikasi," *Jurnal Sistem Informasi dan Kecerdasan Buatan (JSIKA)*, vol. 8, no. 2, pp. 101–110, 2023.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

ID: 27

Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan E-Wallet Terbaik Untuk Mahasiswa *Side Hustle* Menggunakan Metode *Analytic Hierarchy Process*

Decision Support System For Selecting The Best E-Wallet For Students Side Hustle Using The Analytic Hierarchy Process Method

Abiyyah Naurah Luthfiani[1], Ahmad fahri[2], Bagus Priyanto[3], Agnes Novita[4]
[1,2,3,4]Program Studi Sistem Informasi,Fakultas Teknologi Informasi,Perbanas Institute
Jl Karet Kuningan, Setiabudi , Jakarta Selatan
abiyyah.naurah14@perbanas.id[1] , ahmad.fahri06@perbanas.id[2], bagus.priyanto10@perbanas.id[3] , agnes.novita@perbanas.id[4]

Abstrak – *Perkembangan teknologi telah mendorong perubahan signifikan dalam metode transaksi, salah satunya melalui penggunaan dompet digital (e-wallet) oleh mahasiswa yang menjalankan aktivitas ekonomi tambahan (side hustle). Pemilihan e-wallet yang tepat menjadi penting agar transaksi berjalan aman, cepat, dan efisien. Penelitian ini bertujuan untuk membangun sistem pendukung keputusan berbasis metode Analytical Hierarchy Process (AHP) guna membantu mahasiswa dalam memilih e-wallet terbaik berdasarkan kriteria yang relevan. Lima kriteria utama yang digunakan meliputi keamanan, kemudahan penggunaan, fitur dan layanan, biaya transaksi, serta kemudahan top-up dan tarik tunai. Penelitian ini dilakukan melalui pendekatan kuantitatif dengan pengumpulan data melalui kuesioner. Hasil perhitungan matriks perbandingan berpasangan, normalisasi, dan pengujian konsistensi menunjukkan bahwa GoPay menjadi e-wallet dengan prioritas tertinggi, diikuti oleh DANA dan OVO. Temuan ini menegaskan bahwa AHP merupakan metode efektif dalam memberikan rekomendasi pilihan e-wallet yang sesuai dengan kebutuhan mahasiswa aktif.*

Kata Kunci*: E-Wallet, Sistem Pendukung Keputusan, Analytical Hierarchy Process, Mahasiswa, Side Hustle*

Abstract – *The development of technology has driven significant changes in transaction methods, one of which is through the use of digital wallets (e-wallets) by students who run additional economic activities (side hustle). Choosing the right e-wallet is important so that transactions run safely, quickly, and efficiently. This research aims to build a decision support system based on Analytical Hierarchy Process (AHP) method to assist students in choosing the best e-wallet based on relevant criteria. The five main criteria used include security, ease of use, features and services, transaction fees, and ease of top-up and cash withdrawal. This research was conducted through a quantitative approach with data collection through a questionnaire. The results of pairwise comparison matrix calculations, normalization, and consistency testing show that GoPay is the e-wallet with the highest priority, followed by DANA and OVO. This finding confirms that AHP is an effective method in providing recommendations for e-wallet choices that suit the needs of active students.*

Keywords*: E-Wallet, Decision Support System, Analytical Hierarchy Process, Students, Side Hustle*

1. Pendahuluan

Seiring berjalannya waktu, perkembangan teknologi semakin pesat. Salah satu hasilnya adalah munculnya kebiasaan baru yang mengubah cara pembayaran dari tunai menjadi nontunai. Dengan adanya metode pembayaran melalui kartu, yang dapat berupa kartu kredit atau debit yang

dikeluarkan oleh berbagai bank, baik pemerintah maupun swasta dibawah pengawasan bank Indonesia. Sekarang ada metode pembayaran baru yang dibuat oleh startupstartup yang mana dikenal dengan Dompet Digital (E Wallet) [1].

Menurut Peraturan Bank Indonesia Nomor 18/40/PBI/2016, E-Wallet adalah suatu layanan elektronik yang digunakan untuk menyimpan data instrumen pembayaran antara lain alat pembayaran dengan menggunakan kartu dan/atau uang elektronik yang dapat juga untuk menampung dana, serta untuk melakukan pembayaran. Pada peraturan tersebut juga jelas disebutkan bahwa E-Wallet adalah salah satu metode pembayaran yang mendapatkan izin dari Bank Indonesia dan saat ini disebut sebagai metode pembayaran yang sah. Akhirnya saat ini masyarakat cenderung lebih banyak menggunakan metode yang mampu membuat membuat mereka bertransaksi lebih mudah karena tidak perlu membawa uang tunai ataupun juga kartu [2].

Beberapa penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa pengambilan keputusan dalam memilih e-wallet dapat dibantu dengan pendekatan sistematis dan objektif melalui metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) [3]. Metode ini memungkinkan pengguna untuk melakukan evaluasi berdasarkan kriteria tertentu seperti kemudahan penggunaan, keamanan, kecepatan transaksi, biaya, dan promosi .AHP sangat efektif dalam memberikan pembobotan pada setiap kriteria dan menentukan peringkat alternatif berdasarkan preferensi pengguna.

[4] dalam penelitiannya terhadap mahasiswa Matematika di Universitas Sumatera Utara menemukan bahwa faktor user friendly menjadi kriteria paling dominan dalam pemilihan e-wallet. Sedangkan penelitian oleh [5] menunjukkan bahwa aspek keamanan dan biaya transaksi menjadi prioritas utama bagi pengguna e-wallet di wilayah Yogyakarta. Temuan ini memperkuat pentingnya pendekatan multikriteria dalam pengambilan keputusan, mengingat preferensi pengguna dapat berbeda tergantung pada latar belakang dan kebutuhan masing-masing.

Dalam penelitian lainnya, [6] menyimpulkan bahwa mahasiswa Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta lebih memprioritaskan aspek *security and privacy* dibandingkan kriteria lainnya, dengan Gopay sebagai alternatif yang paling banyak dipilih. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun mahasiswa merupakan kelompok yang adaptif terhadap teknologi, mereka tetap mempertimbangkan faktor keamanan dan kepercayaan dalam memilih aplikasi keuangan.

Dengan mempertimbangkan berbagai faktor tersebut, maka diperlukan sebuah sistem pendukung Keputusan yang dapat membantu mahasiswa pengguna side hustle dalam menentukan e-wallet terbaik secara objektif dan terukur. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem pendukung Keputusan berbasis metode AHP yang dapat mempermudah proses evaluasi dan pemilihan e-wallet sesuai dengan kriteria yang relevan bagi mahasiswa aktif.

2. Metode Penelitian

Metode Analytical Hierarchy Process (AHP) digunakan dalam penelitian ini sebagai metode untuk memutuskan masalah yang dapat membuat alternatif pilihan dan memilih yang terbaik dalam pengambilan keputusan. Hal ini karena AHP memiliki prinsip fungsi yang dapat menyederhanakan masalah tidak terstruktur menjadi bagian- bagian yang terorganisir dalam suatu hierarki [7]

2.1. Tahapan Metodologi

Metode AHP pada penelitian ini disusun melalui beberapa langkah berikut:

1. Dekonstruksi Masalah (*Decomposition*)
   Masalah kompleks disederhanakan dalam bentuk struktur hierarki tiga tingkat, yaitu:
   - Tujuan: Menentukan e-wallet terbaik
   - Kriteria: Misalnya Keamanan, Kemudahan Penggunaan, Fitur &

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Layanan, Biaya dan Kemudahan Top- up & Tarik Tunai
- Alternatif: GoPay, DANA Dan OVO.

2. Penilaian Perbandingan Berpasangan (*Pairwise Comparison*)
   Responden diminta memberikan penilaian antar elemen pada tingkat yang sama menggunakan skala Saaty 1–5, yang menunjukkan intensitas kepentingan satu elemen terhadap elemen lainnya (Saaty, 1980).
   Contoh skala:
   - 1 : Sama penting
   - 3 : A lebih penting B
   - 5 : A Jauh Lebih penting B
   - 1/3 : B Lebih Penting dari A
   - 1/5 : B Jauh Lebih Penting dari A
3. Sintesis Prioritas (*Synthesis of Priorities*)
   - Matriks perbandingan yang telah dibuat dinormalisasi
   - Dilakukan perhitungan vektor prioritas lokal (eigen vector) untuk mendapatkan bobot masing-masing kriteria maupun alternatif
   - Proses ini dilakukan untuk seluruh kriteria dan alternatif (multi-level)
4. Pengujian Konsistensi (*Consistency Test*)
   Menguji apakah penilaian responden konsisten dengan menghitung:
   Nilai λ maks
   - Consistency Index (CI)
   - CI = (λmaks – n) / (n – 1)
   - Consistensi Rasio (CR)
   - CR=CI/RI

   Jika nilai CR ≤ 0,1 maka data dianggap konsisten dan valid
5. Perangkingan Alternatif dan Rekomendasi
   Langkah akhir adalah menggabungkan bobot tiap kriteria dengan bobot masing-masing alternatif pada setiap kriteria. Alternatif yang memiliki nilai bobot total tertinggi ditetapkan sebagai e-wallet yang paling direkomendasikan.

Melakukan perbandingan berpasangan pada alternatif di setiap kriteria serta menentukan nilai eigen dengan menggunakan persamaan (1).

$$Wci = \frac{t\ A^2}{\sum_t^1 tA^2} \tag{1}$$

Keterangan :

$Wci = Eci$	: Eigen Kriteria ke-i
tA^2	: Jumlah matriks perbandingan berpasangan
$\Sigma_{i\ tA}^{1\ \ 2}$	: Total dari Penjumlahan tA^2

a. Menentukan *Weighted Sum Vector* (WSV) pada persamaan (2):

$$\begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} & C_{15} & C_{16} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} & C_{25} & C_{26} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} & C_{35} & C_{36} \\ C_{41} & C_{42} & C_{43} & C_{44} & C_{45} & C_{46} \\ C_{51} & C_{52} & C_{53} & C_{54} & C_{55} & C_{56} \\ C_{61} & C_{62} & C_{63} & C_{64} & C_{65} & C_{66} \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} W_{11} \\ W_{21} \\ W_{31} \\ W_{41} \\ W_{51} \\ W_{61} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Cv_{11} \\ Cv_{21} \\ Cv_{31} \\ Cv_{41} \\ Cv_{51} \\ Cv_{61} \end{bmatrix}$$

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Keterangan :
WSV : *Weighted Sum Vector*
A : Matriks Perbandingan Berpasangan
W : *Eigen Vector*
$\lambda = \sum_{i=1}^{n}$

b. Menghitung Lambda (λ) pada persamaan (3):

$$\lambda = \sum_{i=1}^{n} Cv_{ij}$$

Keterangan:
λ : Nilai rata-rata dari keseluruhan kriteria
CV : *Consistence Vector*
n : Jumlah matriks perbandingan suatu kriteria

c. *Consistence Index* (CI) pada persamaan (4):

$$CR = \frac{CR}{RI}$$

Keterangan :
CR : *Consistence Ratio*
CI : *Consistence Index*
RI : *Random Index*

3. Hasil dan Pembahasan

Data yang diperoleh dalam penelitian ini diperoleh menggunakan metode kuantitatif penyebaran kuesioner ke berbagai responden ke Mahasiswa Pengguna SideHustle. Setelah mengumpulkan analisis data penyebaran ini peneliti mengambil beberapa kriteria, Keamanan, Kemudahan Penggunaan, Fitur & Layanan, Biaya Transaksi dan Kemudahan Top-Up & Tarik Tunai. Kemudian peneliti menggunakan langkah-langkah perhitungan AHP (*Analytical Hierarchy Process*). Pada bagian ini ada beberapa penjelasan penyelesaian perhitungan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) berdasarkan alternatif dan kriteria yag telah ditentukan peneliti.

A. *Decompotion*

Persoalan utuh disederhanakan menjadi lebih kecil dlm bentuk hirarki, dikelompokkan menjadi 3 bagian yaitu tujuan, kriteria, dan alternatif. 5 kriteria yang digunakan adalah Keamanan, Kemudahan Penggunaan, Fitur & Layanan, Biaya Transaksi dan Kemudahan Top Up & Tarik Tunai.

B. *Comporative Judgement*

Penilaian berdasarkan kepentingan relative dua elemen pada suatu tingkat tertentu dalam kaitannya dengan tingkat diatasnya. Tingkat Kepentingan 1-5

1	: Sama penting
3	: A lebih penting B
5	: A Jauh Lebih penting B
1/3	: B Lebih Penting dari A
1/5	: B Jauh Lebih Penting dari A

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

1. Buat perbandingan rata-rata kriteria utama.

Tabel 1. Matriks Perbandingan Kriteria

Kriteria Utama	Keamanan	Kemudahan Penggunaan	Fitur & Layanan	Biaya Transaksi	Kemudahan Top-Up & Tarik Tunai
Keamanan	1	2,1	2,1	2,5	1,3
Kemudahan Penggunaan	0,4761904762	1	3	3,4	2,5
Fitur & Layanan	0,4761904762	0,3333333333	1	3,4	1,9
Biaya Transaksi	0,4	0,2941176471	0,2941176471	1	2,1
Kemudahan Top-Up & Tarik Tunai	0,7692307692	0,4	0,5263157895	0,5263157895	1

2. Berikutnya buat perbandingan rata-rata kriteria harga berdasarkan alternatif.

Tabel 2. Matriks perbandingan kriteria Keamanan

Level 2 : Keamanan			
Alternatif	Gopay	Dana	OVO
Gopay	1	2,1	2,1
Dana	0,4761904762	1	3,3
Ovo	0,4761904762	0,303030303	1

3. lalu buat perbandingan rata-rata semua kriteria dengan alternatif dan dinormalisasikan

Tabel 3. Table Normalisasi matriks berdasarkan kriteria Keamanan

Level 2 : Keamanan			
Alternatif	Gopay	Dana	OVO
Gopay	1	2,1	2,1
Dana	0,4761904762	1	3,3
Ovo	0,4761904762	0,303030303	1
Jumlah	**1,952380952**	**3,403030303**	**6,4**

Normalisasi Keamanan	Gopay	Dana	Ovo	Rata"
Gopay	0,512195122	0,6170970614	0,328125	0,4858057278
Dana	0,243902439	0,2938557435	0,515625	0,3511277275
Ovo	0,243902439	0,08904719501	0,15625	0,1630665447
Jumlah	**1**	**1**	**1**	**1**

Tabel 4. Table Normalisasi matriks berdasarkan kriteria Kemudahan Penggunaan

Level 2 : Kemudahan Penggunaan			
Alternatif	Gopay	Dana	OVO
Gopay	1	2,4	2,1
Dana	0,4166666667	1	2,7
Ovo	0,4761904762	0,3703703704	1
Jumlah	**1,892857143**	**3,77037037**	**5,8**

Normalisasi Kemudahan Penggunaan	Gopay	Dana	OVO	Rata"
Gopay	0,5283018868	0,6365422397	0,3620689655	0,3882813755
Dana	0,2201257862	0,2652259332	0,4655172414	0,1617839065
Ovo	0,251572327	0,09823182711	0,1724137931	0,1166013847
Jumlah	**1**	**1**	**1**	**0,6666666667**

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Tabel 5. Table Normalisasi matriks berdasarkan kriteria Fitur & Layanan

Level 2 : Fitur & Layanan				
Alternatif	Gopay	Dana	Ovo	
Gopay	1	3,4	2	
Dana	0,2941176471	1	3	
Ovo	0,5	0,3333333333	1	
Jumlah	**1,794117647**	**4,733333333**	**6**	
Normalisasi Fitur & Layanan	Gopay	Dana	Ovo	Rata"
Gopay	0,5573770492	0,7183098592	0,3333333333	0,5363400806
Dana	0,1639344262	0,2112676056	0,5	0,2917340106
Ovo	0,2786885246	0,07042253521	0,1666666667	0,1719259088
Jumlah	**1**	**1**	**1**	**1**

Tabel 6. Table Normalisasi matriks berdasarkan kriteria Biaya Transaksi

Level 2 : Biaya Transaksi				
alternatif	Gopay	Dana	Ovo	
Gopay	1	2,9	2,5	
Dana	0,3448275862	1	2,6	
Ovo	0,4	0,3846153846	1	
Jumlah	**1,744827586**	**4,284615385**	**6,1**	
Normalisasi Biaya Transaksi	Gopay	Dana	Ovo	Rata"
Gopay	0,5731225296	0,6768402154	0,4098360656	**0,5532662702**
Dana	0,1976284585	0,2333931777	0,4262295082	**0,2857503815**
Ovo	0,2292490119	0,08976660682	0,1639344262	**0,1609833483**
Jumlah	**1**	**1**	**1**	**1**

Tabel 7. Table Normalisasi matriks berdasarkan kriteria Biaya Transaksi

Level 2 : Top up & Tarik Tunai				
Alternatif	Gopay	Dana	Ovo	
Gopay	1	3,5	2,3	
Dana	0,2857142857	1	2,6	
Ovo	0,4347826087	0,3846153846	1	
Jumlah	**1,720496894**	**4,884615385**	**5,9**	
Normalisasi Top-Up & Tarik Tunai	Gopay	Dana	Ovo	Rata"
Gopay	0,5812274368	0,7165354331	0,3898305085	0,5625311261
Dana	0,1660649819	0,2047244094	0,4406779661	0,2704891192
Ovo	0,2527075812	0,07874015748	0,1694915254	0,1669797547
Jumlah	**1**	**1**	**1**	**1**

C. *Synthesis of Priority*

Berikutnya dilakukan pencarian nilai rata-rata (vector eigen atau local priority). Proses tersebut dapat dilakukan dalam langkah sebagai berikut:

1. Menjumlahkan nilai dari setia kolom pada matriks.
2. Membagi setiap nilai dari kolom dengan total kolom yang bersangkutan untuk memperoleh normalisasi matriks.
3. Menjumlahkan nilai dari setiap baris dan membagi dengan jumlah elemen untuk mendapatkan nilai rata- rata.

Sintesis dilakukan sebanyak jumlah matriks perbandingan yang telah dibuat, meliputi:

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

1. Level 1 berdasarkan kriteria utama.
2. Level 2 berdasarkan kriteria elemen harga
3. Level 3 berdasarkan kriteria elemen kapasitas memori
4. Level 4 berdasarkan kriteria elemen kapasitas harddisk
5. Level 5 berdasarka krteria elemen ukuran layar

Dijumlahkan lalu dibuat normalisasinya.

Tabel 8. Penentuan Prioritas Alternatif terhadap Kriteria

Kriteria Utama	Keamanan	Kemudahan Penggunaan	Fitur & Layanan	Biaya Transaksi	Kemudahan Top-Up & Tarik Tunai
Keamanan	1	2,1	2,1	2,5	1,3
Kemudahan Penggunaan	0,4761904762	1	3	3,4	2,5
Fitur & Layanan	0,4761904762	0,3333333333	1	3,4	1,9
Biaya Transaksi	0,4	0,2941176471	0,2941176471	1	2,1
Kemudahan Top-Up & Tarik Tunai	0,7692307692	0,4	0,5263157895	0,5263157895	1
jumlah	3,121611722	4,12745098	6,920433437	10,82631579	8,8

Normalisasi Kriteria Utama	Keamanan	Kemudahan Penggunaan	Fitur & Layanan	Biaya Transaksi	Kemudahan Top-Up & Tarik Tunai	rata-rata
Keamanan	0,3203473363	0,5087885986	0,3034492014	0,2309188138	0,1477272727	0,3022462446
Kemudahan Penggunaan	0,1525463506	0,242280285	0,4334988592	0,3140495868	0,2840909091	0,2852931981
Fitur & Layanan	0,1525463506	0,08076009501	0,1444996197	0,3140495868	0,2159090909	0,1815529486
Biaya Transaksi	0,1281389345	0,07125890736	0,04249988816	0,09236752552	0,2386363636	0,1145803238
Kemudahan Top-Up & Tarik Tunai	0,2464210279	0,09691211401	0,07605243144	0,04861448712	0,1136363636	0,1163272848
Jumlah	1	1	1	1	1	1

Dari Gambar diatas terlihat bahwa:

1. Kriteria Keamanan memiliki prioritas tertinggi dengan bobot 0,30
2. Kriteria Kemudahan Penggunaan memiliki prioritas kedua dengan bobot 0,28
3. Kriteria Fitur & Layanan memiliki prioritas ketiga dengan bobot 0,18
4. Kriteria Kemudahan Top-Up & Tarik Tunai prioritas keempat dengan bobot 0,1163
5. Kriteria Biaya Transaksi memiliki prioritas terendah dengan bobot 0,1145

Jadi urutan kriteria untuk Penentuan E-Wallet Terbaik adalah:

1. Keamanan
2. Kemudahan Penggunaan
3. Fitur & Layanan
4. Kemudahan Top-Up dan Tarik Tunai
5. Biaya Transaksi

Level 2 Berdasarkan Kriteria Keamanan yang sudah dinormalisasi.

Tabel 9. Penentuan Prioritas Alternatif

Level 2 : Keamanan			
Alternatif	Gopay	Dana	OVO
Gopay	1	2,1	2,1
Dana	0,4761904762	1	3,3
Ovo	0,4761904762	0,303030303	1
Jumlah	1,952380952	3,403030303	6,4

Normalisasi Keamanan	Gopay	Dana	Ovo	Rata"
Gopay	0,512195122	0,6170970614	0,328125	0,4858057278
Dana	0,243902439	0,2938557435	0,515625	0,3511277275
Ovo	0,243902439	0,08904719501	0,15625	0,1630665447
Jumlah	1	1	1	1

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Dari gambar diatas terlihat bahwa:

1. Alternatif GoPay memiliki prioritas tertinggi dengan bobot 0,485
2. Alternatif Dana memiliki prioritas kedua dengan bobot 0,351
3. Alternatif OVO mimiliki prioritas ketiga dengan bobot 0,163

Jadi urutan alternatif untuk penetpan penilain pemilihan merek laptop berdasarkan kriteria harga adalah:

1. GoPay
2. Dana
3. OVO

Selanjutnya dibuat level 2 berdasarkan kriteria Kemudahan Pengguna, Fitur & Layanan, Biaya Transaksi dan Kemudahan Top-Up & Tarik Tunai seperti Langkah di atas

D. *Consistency*

Pada tahap ini akan menentukan valid tidaknya vektor eigen yang diperoleh dari proses *synthesis of priority*yang telah dibuat pada proses sebelumnya.

Level 1 Berdasarkan Kriteria Utama

Berikut adalah langkah menghitung λ maksimum:

A. Mengalikan matriks perbandingan berpasangan yang belum dinormalisasikan dengan vektor eigen.

Tabel 10. Matrriks Perbandingan Berpasangan

Consistency Kriteria Utama					rata-rata	Hasil Perkalian Konsistensi					Jumlah
1	2,1	2,1	2,5	1,3	0,2982057198	0,2982057198	0,5950751913	0,3799143505	0,28503606	0,1605488586	**1,71878018**
0,4761904762	1	3	3,4	2,5	0,2833691387	0,1420027237	0,2833691387	0,5427347864	0,342043272	0,308747805	**1,618897726**
0,4761904762	0,3333333333	1	3,4	1,9	0,1809115955	0,1420027237	0,09445637958	0,1809115955	0,114014424	0,2346483318	**0,7660334545**
0,4	0,2941176471	0,2941176471	1	2,1	0,114014424	0,1192822879	0,08334386433	0,05320929279	0,03353365412	0,2593481562	**0,5487172553**
0,7692307692	0,5706666667	0,5263157895	0,5263157895	1	0,123499122	0,2293890152	0,1617093218	0,0952166292	0,06000759159	0,123499122	**0,6698216798**

B. Hasil perkalian dibagi dengan vector eigen.

Table 11. Perkalian dengan Vector Eigen

Hasil perkalian dibagi vector eigen	Rata"	HASIL PEMBAGIAN
1,71878018	0,2982057198	5,763739815
1,618897726	0,2833691387	5,713034712
0,7660334545	0,1809115955	4,234297158
0,5487172553	0,114014424	4,812700323
0,6698216798	0,123499122	5,423695886

Bagi skala hasil operasi penjumlahan tersebut dengan banyaknya baris atau kolom. Hasil akhir dijadikan sebagai λ maksimum

Langkah selanjutnya dari *consistency* yaitu dengan menguji konsistensi hirarki dengan cara sebagai berikut:

1. Menghitung indeks konsistensi (Consistency Index = CI) Rumus : CI = (λ maks – n (/ (n-1) n adalah jumlah baris atau kolom matriks perbandingan berpasangan
2. Menghitung rasio konsistensi (Consistency Ratio = CR) Rumus : CR = CI / RI

Dimana RI merupakan nilai acak yang diperoleh dari tabel Random Consistency Index pada n tertentu.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Table 12. Indeks Random

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,58	0,9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Karena nilai CR <0,1 (10%) Maka dapat diterima, artinya matriks perbandingan berpasangan Level 1 berdasarkan kriteria utama telah diisi dengan pertimbangan yang konsisten dan vektor eigen yang dihasilkan dapat diandalkan.

Level 2 Berdasarkan Elemen Kriteria Keamanan

Berikut adalah langkah menghitung λ maksimum:

1. Mengalikan matriks perbandingan berpasangan yang belum dinormalisasi dengan vektor eigen

Table 13. Matriks Perbandingan Kriteria Keamanan

KRITERIA	Consistency			rata-rata				JUMLAH
1. Keamanan	1	2,1	2,1	0,4858057278	0,4858057278	0,7373682278	0,3424397438	1,565613699
	0,4761904762	1	3,3	0,3511277275	0,2313360609	0,3511277275	0,5381195974	1,120583386
	0,4761904762	0,08904719501	1	0,1630665447	0,2313360609	0,03126693923	0,1630665447	0,4256695448

2. Hasil perkaliannya dibagi dengan vector eigen

Table 14. Hasil Perkalian dibagi dengan Vector Eigen

Hasil perkalian dibagi vector eigen		HASIL PEMBAGIAN
1,565613699	0,475845722	**3,290170799**
1,120583386	0,3463848676	**3,235081814**
0,4256695448	0,1777694104	**2,39450389**
		2,973252168

3. Bagi skala hasil operasi penjumlahan tersebut dengan banyaknya baris atau kolom. Hasil akhir dijadikan sebagai λ maksimum

Langkah selanjutnya dari *consistency* yaitu dengan menguji konsistensi hirarki dengan cara sebagai berikut:

1. Menghitung indeks konsistensi (*Consistency Index* = CI)

$$Rumus: CI = (\lambda\, maks - n(/(n-1)$$

n adalah jumlah baris atau kolom matriks perbandingan berpasangan

2. Menghitung rasio konsistensi

(Consistency Ratio = CR)

Rumus : CR = CI / RI

Dimana RI merupakan nilai acak yang diperoleh dari tabel Random Consistency Index pada n tertentu.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Table 15. Konsistensi Hirarki

menguji konsistensi hirarki	
(Consistency Index = CI)	
Rumus : CI = (λ maks – n (/ (n-1)	
0,02674783229	
0,01337391614	
Consistency Ratio = CR	
Rumus : CR = CI / RI	
0,02305847611	**KONSISTEN**

Karena nilai CR <0,1 (10%) Maka dapat diterima, artinya matriks perbandingan berpasangan Level 1 berdasarkan kriteria utama telah diisi dengan pertimbangan yang konsisten dan vektor eigen yang dihasilkan dapat diandalkan.

Level 2 selanjutnya buat Berdasarkan Elemen Kriteria Kemudahan Pengguna, Fitur & Layanan, Biaya Transaksi dan Kemudahan Top-Up & Tarik Tunai seperti contoh di atas.

E. Menghitung Hasil

a. Mengalikan gabungan vektor eigen pada level 2 (level alternatif keputusan dengan vektor eigen pada level 1 (level kriteria).

Table 16. Menghitung Hasil

MENGHITUNG HASIL						
Keamanan	Kemudahan	Fitur Penggunaan	Biaya transaksi	Top up		Rata"
0,4858057278	0,3882813755	0,5363400806	0,5532662702	0,5625311261	Gopay	0,3022462446
0,3511277275	0,1617839065	0,2917340106	**0,2857503815**	0,2704891192	Dana	0,2852931981
0,1630665447	0,1166013847	0,1719259088	0,1609833483	0,1669797547	OVO	0,1815529486
						0,1145803238
						0,1163272848

Table 17. Menghitung Hasil

MENGHITUNG HASIL								
up		Rata"						
311261	Gopay	0,3022462446	0,1468329568	0,1107740354	0,09737412308	0,06339342841	0,06543771853	**0,4838122622**
891192	Dana	0,2852931981	0,106127037	0,04615584808	0,05296516984	0,03274137125	0,03146526481	**0,269454691**
797547	OVO	0,1815529486	0,04928625074	0,03326558195	0,03121365569	0,01844552418	0,01942430149	**0,1516353141**
		0,1145803238						
		0,1163272848						

b. Hasil operasi perkalian tersebut selanjunya disebut sebagai vektor eigen keputusan.
c. Keputusan diambil adalah alternatif keputusan yang mempunyai nilai yang paling besar. Dasar vektor eigen keputusan terlihat bahwa:

1. GoPay memiliki bobot prioritas Tertinggi yaitu 0,483 = 49%
2. Dana memiliki bobot Kedua yaitu : 0,269 = 27%
3. OVO memiliki bobot Terendah yaitu : 0,151 = 15%

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

4. Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan solusi dalam menentukan e-wallet terbaik bagi mahasiswa yang menjalankan aktivitas side hustle dengan menggunakan metode Analytical Hierarchy Process (AHP). Metode ini dipilih karena kemampuannya dalam menguraikan permasalahan kompleks menjadi struktur hierarki yang lebih terukur dan sistematis. Lima kriteria utama yang digunakan sebagai dasar evaluasi adalah keamanan, kemudahan penggunaan, fitur dan layanan, biaya transaksi, serta kemudahan top up dan tarik tunai. Melalui penyusunan matriks perbandingan berpasangan, normalisasi, perhitungan bobot prioritas, dan uji konsistensi, responden mampu memberikan penilaian objektif terhadap ketiga alternatif e-wallet yang diteliti, yaitu GoPay, DANA, dan OVO.

Hasil akhir analisis menunjukkan bahwa GoPay memperoleh skor prioritas tertinggi, menjadikannya sebagai e- wallet paling direkomendasikan oleh mahasiswa berdasarkan seluruh kriteria yang ditetapkan. Hal ini mengindikasikan bahwa GoPay dinilai unggul dalam aspek keamanan, efisiensi biaya, serta kemudahan dalam penggunaan dan layanan. Sementara itu, DANA menempati posisi kedua dan OVO di urutan ketiga.

Dengan demikian, sistem pendukung keputusan berbasis AHP terbukti efektif untuk membantu proses pengambilan keputusan yang lebih rasional, khususnya dalam konteks pemilihan layanan keuangan digital. Hasil penelitian ini juga dapat menjadi referensi praktis bagi mahasiswa dan pengguna e-wallet lainnya dalam menyesuaikan pilihan dompet digital sesuai dengan kebutuhan dan preferensi masing-masing**.**

Referensi

[1] E. Nurelasari, E. Purwaningsih, and A. Algani, “SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN PEMILIHAN DOMPET DIGITAL MENGGUNAKAN METODE ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS,” *JATI J. Mhs. Tek. Inform.*, vol. 8, no. 6, pp. 12614–12619, Nov. 2024, doi: 10.36040/jati.v8i6.12035.

[2] A. I. Pertiwi, D. Wulandari, and N. Istiqomah, “Prioritas Pemilihan Aplikasi E-Wallet yang Sering di Gunakan Mahasiswa di Food Court FEB Universitas Sebelas Maret Surakarta,” 2024.

[3] W. A. Putri, D. Rachmawati, and W. S. Silalahi, “Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan E-Wallet Menggunakan Metode Analytic Hierarchy Process-TOPSIS: E-Wallet Selection Decision Support System Using Analytic Hierarchy Process-TOPSIS Method,” *MALCOM Indones. J. Mach. Learn. Comput. Sci.*, vol. 2, no. 1, pp. 18–27, Apr. 2022, doi: 10.57152/malcom.v2i1.160.

[4] Y. B. P. Siringoringo, A. Tiovanny, C. B. Waruwu, and J. O. Simanjuntak, “The Selection of an E-Wallet by Mathematics Students at the University of North Sumatra Using the Analytical Hierarchy Process (AHP) Method,” *J. Res. Math. Trends Technol.*, vol. 5, no. 2, pp. 19–28, Sep. 2023, doi: 10.32734/jormtt.v5i2.16873.

[5] N. Baihas Hanim, S. Nurhasanah, M. A. Kuddus Mutawakkil, and O. P. Diva, “Penerapan Metode Analytic Hierarchy Process (AHP) dalam Pemilihan Metode Pembayaran e-Wallet di Yogyakarta,” *Sunan Kalijaga Islam. Econ. J.*, vol. 3, no. 1, Apr. 2025, doi: 10.14421/skiej.2024.3.1.2464.

[6] A. Fathiyah, E. Ermatita, and R. H. Purabaya, “Analisis Pemilihan E-Wallet Bagi Mahasiswa Dengan Penerapan Metode Analytical Hierarchy Process (Studi Kasus: Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta),” *JOINS J. Inf. Syst.*, vol. 9, no. 2, pp. 104–113, Feb. 2025, doi: 10.33633/joins.v9i2.7093.

[7] P. L. Parameswari, I. Astuti, and W. W. Ariestya, “IMPLEMENTASI METODE AHP PADA SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN PARIWISATA JAWA TIMUR,” *J. Teknoinfo*, vol. 16, no. 1, p. 40, Jan. 2022, doi: 10.33365/jti.v16i1.1401.

ID: 29

Sistem Monitoring Konsumsi Bahan Bakar Berbasis IoT

IoT-Based Fuel Consumption Monitoring System

Yudha Fariz Andhika[1], Ahmat Tohir[2], Muhammad Anwar Sadat Faidar[3*]
[1,2,3] Universitas Teknokrat Indonesia
Jl. Z.A. Pagar Alam No. 9-11 Kedaton, Bandar Lampung, 0721 - 702022
yudha_fariz_andhika@teknokrat.ac.id[1], 03ahmadtohir@gmail.com[2],
muhammad_anwar@teknokrat.ac.id[3*]

Abstrak – *Sistem Monitoring Konsumsi Bahan Bakar Berbasis IoT bertujuan untuk menciptakan sistem pemantauan bahan bakar yang akurat dan real-time pada genset diesel, memanfaatkan teknologi Internet of Things (IoT). Pengujian dilakukan dengan menggunakan mikrokontroller sebagai media pemrosesan data dan aplikasi Blynk sebagai platform IoT. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berhasil memantau konsumsi bahan bakar dengan mengetahui volume tangka bahan bakar terlebih dahulu. Dengan inovasi ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi pengelolaan bahan bakar dan mengurangi risiko operasional kegiatan berkendara dan aktivitas sehari-hari.*

Kata Kunci*: ESP32, IoT, Blynk, Bahan Bakar.*

Abstract – *The IoT-Based Fuel Consumption Monitoring System aims to create an accurate and real-time fuel monitoring system for diesel generators, utilizing Internet of Things (IoT) technology. Testing was conducted using a microcontroller as the data processing medium and the Blynk application as the IoT platform. Test results showed that the system successfully monitored fuel consumption by knowing the fuel tank volume in advance. This innovation is expected to improve fuel management efficiency and reduce operational risks in driving and daily activities..*

Keywords*: ESP32, IoT, Blynk, Fuel*

.

1. Pendahuluan

Sektor pertanian memiliki peran vital dalam perekonomian Indonesia, terutama dalam mendukung program Swasembada Pangan untuk meningkatkan ketahanan pangan nasional (Natalia, Y., & Sutabri, T. 2024) melalui peningkatan produksi pertanian yang berkualitas dan berkelanjutan. Efisiensi penggunaan alat dan mesin pertanian (ALSINTAN), terutama yang berbahan bakar diesel, menjadi kunci keberhasilan program ini, karena ALSINTAN digunakan dalam setiap tahap kegiatan pertanian. Namun, pemantauan konsumsi bahan bakar pada ALSINTAN masih menjadi tantangan, terutama dalam pengawasan distribusi bahan bakar yang sering dilakukan secara manual. Ketidakakuratan dalam pemantauan dapat menyebabkan pemborosan dan penyelewengan dana (Ardiansyah, I. R., & Iskandar,J. 2024) yang sangat krusial karena alokasi dana pemerintah untuk bahan bakar pertanian sangat besar dan penting bagi kelancaran program Swasembada Pangan. lain.

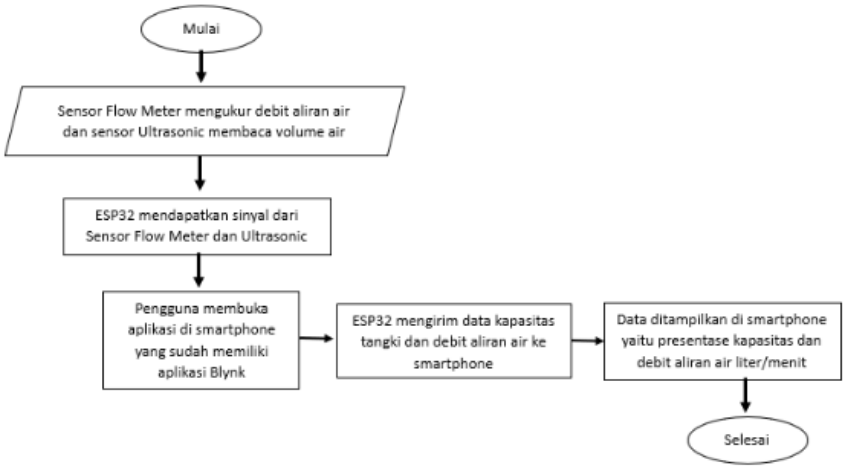
Pengelolaan bahan bakar yang transparan dan akurat mendorong perlunya sistem yang tidak hanya memantau konsumsi bahan bakar secara real-time, tetapi juga mengawasi distribusinya secara terperinci. Sistem pemantauan berbasis IoT yang mengintegrasikan sensor bahan bakar pada ALSINTAN akan menyediakan data akurat yang dapat diakses oleh pengelola pertanian

(Hapsari, A. W. 2021), memungkinkan pemantauan konsumsi bahan bakar yang transparan, mengurangi potensi penyelewengan, dan memastikan dana yang dialokasikan digunakan sesuai tujuan (Susanto & Wahyudi, 2023).

2. Metode Penelitian

Proyek ini adalah sistem monitoring konsumsi bahan bakar berbasis Internet of Things (IoT), yang bertujuan untuk memantau level bahan bakar secara realtime. Sistem ini menggunakan sensor yang dipasang pada tangki bahan bakar untuk mengukur level bahan bakar, yang kemudian dikirimkan ke platform IoT. Data ini dapat diakses melalui aplikasi seluler atau komputer, sehingga pengguna dapat mengetahui status bahan bakar kapan saja dan di mana saja. Dengan adanya sistem ini, pengguna dapat menghindari kehabisan bahan bakar secara tiba-tiba dan meningkatkan efisiensi pengelolaan bahan bakar.

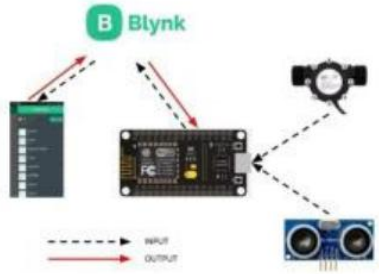
2.1. Diagram Alir



Gambar 21 Diagram Alir

Pada Gambar 1 menjelaskan proses kerja dari rangkaian elektronik yang dirancang untuk memantau aliran debit air (bahan bakar cair), pertama mikrokontroler ESP32 akan menginisialisasi input dan output. Sensor flow Meter akan mengirimkan data ke mikrokontroler dan memprosesnya serta mengirimkan data ke smartphone melalui internet, dan penggguna dapat memantau secara real time presentase kapasitas dan debit liter/menit.)

2.2. Perancangan Diagram Sistem



Gambar 22 Rangkaian Skematik

Dalam pembuatan perancangan prototipe monitoring konsumsi bahan bakar menggunakan sensor flow meter dan sensor ultrasonik berbasis blynk, adapun komponen yang digunakan yaitu

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

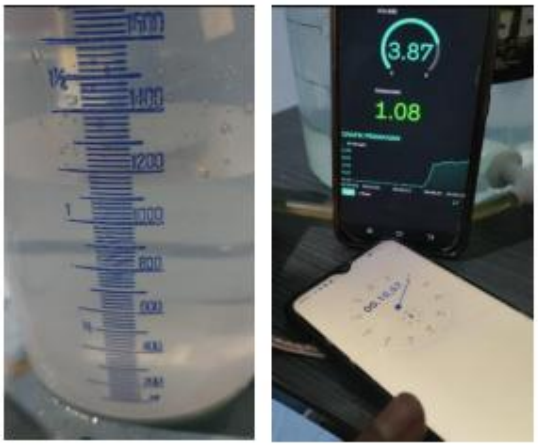
modul ESP32, step down, sensor ultrasonik dan sensor flow meter. Sistem ini bekerja dengan beberapa tahapan utama sebagai berikut:

a. Pengukuran Bahan Bakar
   Sensor flow meter dan sensor ultrasonik dipasang pada tangki bahan bakar genset untuk mendeteksi level atau aliran bahan bakar yang digunakan. Sensor ini mengirimkan data ke mikrokontroler (ESP32) secara terus-menerus.
b. Pengolahan Data
   Mikrokontroler mengolah data yang diperoleh dari sensor dan menyiapkannya untuk dikirimkan ke platform IoT melalui Wi-Fi..
c. Pengiriman Data ke Platform IoT
   Data kemudian dikirim ke server Blynk, yang menyimpan dan mengelola data untuk akses pengguna. Pengguna dapat mengakses data ini, di mana data disajikan dalam bentuk grafik atau indikator level bahan bakar.

3. Hasil dan Pembahasan

Untuk hasil pengujian dari alat ini, maka dilakukan empat kali pengujian dengan beberapa kondisi. Hasil pengujian dapat dilihat pada uraian berikut ini.

3.1. Hasil Pengujian Pertama



Gambar 23 Pengujian Pertama

3.2. Hasil Pengujian Kedua



Gambar 24 Pengujian Kedua

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

3.3. Hasil Pengujian Ketiga



Gambar 25 Pengujian Ketiga

3.4. Hasil Pengujian Keempat



Gambar 26 Pengujian Keempat

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan pengujian yang telah dilakukan, sistem Monitoring Konsumsi Bahan Bakar Berbasis IoT terbukti efektif dalam memantau level bahan bakar genset secara real-time, mengurangi risiko kehabisan bahan bakar tiba-tiba, serta mengurangi ketergantungan pada pemantauan manual yang rentan terhadap kesalahan. Menggunakan sensor ultrasonik dan flow meter, sistem ini memberikan pembacaan yang cukup akurat meski terdapat kekurangan pada presisi flow meter di laju aliran rendah. Untuk hasil yang lebih optimal, disarankan melakukan kalibrasi dan mempertimbangkan penggunaan sensor dengan akurasi lebih tinggi, terutama bagi fasilitas kritis seperti rumah sakit atau infrastruktur publik yang memerlukan genset sebagai sumber energi cadangan.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada Tim SENTER X 2025 UIN Sunan Gunung Djati Bandung yang telah meluangkan waktu untuk membuat template ini.

Referensi

[1] Ardiliansyah, A. R., Puspitasari, M. D., & Arifianto, T. (2021). Rancang Bangun Prototipe Pompa Otomatis Dengan Fitur Monitoring Berbasis IoT Menggunakan Sensor Flow Meter dan Ultrasonik. Explorit, 13(2), 59-67.

[2] Wenas, D., Gultom, V. G., Simamora, A., & Gultom, G. (2024). Prototipe Sistem Monitoring Tangki Bahan Bakar Genset Berbasis Aplikasi Blynk Dengan NodeMCU 8266. Jurnal Cahaya Mandalika, 4(3), 1852-1871. https://doi.org/10.36312/jcm.v4i3.3229

[3] Tirthana, Rizqy Ilham (2022) Estimasi Konsumsi Bahan Bakar Genset 1500 Kva Terhadap Perubahan Beban Pada Rumah Sakit Islam Sultan Agung Semarang. Undergraduate Thesis, Universitas Islam Sultan Agung.

[4] Natalia, Y., & Sutabri, T. (2024). Pengaruh Efisiensi Penggunaan Alat dan Mesin Pertanian terhadap Keberhasilan Program Swasembada Pangan di Indonesia. Jurnal Pertanian Indonesia, 12(1), 1-15.

[5] Ardiansyah, I. R., & Iskandar, J. (2024). Pemantauan Konsumsi Bahan Bakar ALSINTAN Berbahan Bakar Diesel untuk Meningkatkan Efisiensi Pertanian. Jurnal Teknologi Pertanian, 9(3), 45-53.

[6] Hapsari, A. W. (2021). Integrasi Teknologi IoT dalam Sistem Pemantauan Bahan Bakar untuk Meningkatkan Efisiensi Pertanian. Jurnal Teknologi dan Inovasi, 5(2), 78-85.

[7] Susanto, A., & Wahyudi, D. (2023). Sistem Pemantauan Berbasis IoT untuk Mengurangi Penyalahgunaan Bahan Bakar dalam Operasional Pertanian. Jurnal Inovasi Teknologi, 7(1), 23-30.

[8] Wibowo, A., & Lestari, D. (2023). Pemanfaatan Teknologi GPS dan IoT dalam Pemantauan Lokasi dan Konsumsi Bahan Bakar di ALSINTAN. Jurnal Teknologi Pertanian Berkelanjutan, 8(2), 120-130.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

ID: 30

Rancang Bangun Sistem Kontrol Otomatis Pompa Air Tenaga Surya Berbasis IoT Menggunakan Sensor Ultrasonik dan ESP32

Design and Construction of an IoT-Based Solar Water Pump Automatic Control System Using Ultrasonic Sensors and ESP32

Hafiz Nashwan Abdillah[1], Nia Larasanti[2], Tria Pramuswari[3], Muhammad Anwar Sadat Faidar[4], Fika Trisnawati[5], Sigit Doni Ramdan[6], Elka Pranita[7]
[1,2,3,4,5,6,7]Universitas Teknokrat Indonesia
Jl. Z.A. Pagar Alam No. 9-11 Kedaton, Bandar Lampung, 0721 - 702022
hafiz_nashwan_abdillah@teknokrat.ac.id[1], nia_larasanti@teknokrat.ac.id[2]

Abstrak – *Keterbatasan pasokan air di daerah terpencil dan tingginya biaya operasional pompa air konvensional menjadi motivasi utama penelitian ini. Penelitian ini bertujuan untuk merancang, mengimplementasikan, dan menguji sistem kontrol otomatis pompa air DC 12 V yang menggunakan sumber daya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS 20 Wp) dan memanfaatkan teknologi Internet of Things (IoT) untuk pemantauan dan kontrol jarak jauh.*

Kata Kunci*: PLTS, Pompa Air, IoT, ESP32, Sensor Ultrasonik, Histeresis.*

Abstract – *Water scarcity in remote areas and the high operating costs of conventional water pumps are the primary motivations for this research. This study aims to design, implement, and test an automatic control system for a 12 V DC water pump powered by a Photovoltaic System (PV 20 Wp), leveraging Internet of Things (IoT) technology for remote monitoring and control.*

Keywords*: PV System, Water Pump, IoT, ESP32, Ultrasonic Sensor, Hysteresis*

.

1. Pendahuluan

Kebutuhan air bersih merupakan tantangan utama di berbagai bidang, terutama pada bidang pertanian dan rumah tangga, khususnya di daerah terpencil yang sering mengalami pemadaman listrik. Salah satu solusi mengatasi kebutuhan air tersebut adalah menggunakan pompa air untuk pengisian air dari sumber air atau di dalam tanah yang saat ini, pompa air masih sering menggunakan daya dari PLN (Perusahaan Listrik Negara). Meskipun PLN menyediakan infrastruktur yang luas, ketergantungan ini membawa konsekuensi berupa potensi peningkatan biaya operasional seiring kenaikan tarif dan masalah keandalan di mana penyaluran daya listrik tidak seimbang di berbagai daerah, serta memberikan dampak lingkungan karena sebagian besar pembangkit PLN masih menggunakan bahan bakar fosil.

Sebagai solusi masalah, digunakan energi baru terbarukan sebagai pembangkit listrik, salah satunya adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang menggunakan energi matahari sebagai pembangkit listrik. PLTS ini muncul sebagai alternatif sumber daya yang lebih murah, berkelanjutan, dan ramah lingkungan. Penggunaan PLTS untuk menggerakkan pompa air menawarkan potensi untuk mengurangi biaya listrik dan menjamin pasokan air yang stabil, terutama di wilayah dengan intensitas sinar matahari tinggi seperti Indonesia. Namun, untuk

mencapai efisiensi penggunaan PLTS sebagai sumber listrik pompa air yang maksimal, diperlukan peningkatan, terutama di bidang otomasi kontrol ketersediaan air di dalam tandon.

Secara konvensional, sistem pengisian air otomatis biasanya menggunakan sensor sederhana seperti pelampung. Meskipun sederhana dan mudah digunakan, namun sensor pelampung tersebut memiliki keterbatasan dalam hal presisi, dan rentan terhadap kerusakan mekanis seperti pelampung macet atau tersangkut, lengan atau engsel pada sensor bisa rusak, atau bahkan bisa kemasukan air. Selain itu, diperlukan juga pengembangan lebih lanjut terjadap pemantauan ketersediaan air secara *real-time* menggunakan internet. Untuk itu, penelitian ini bertujuan untuk mengatasi keterbatasan dan melakukan pengembangan tersebut dengan mengimplementasikan sensor ultrasonik HC-SR04 sebagai pengganti sensor pelampung dan sistem berbasis *Internet of Things* (IoT).

Sensor ultrasonik mengukur ketinggian air dengan akurasi tinggi berdasarkan waktu tempuh pantulan gelombang suara. Akurasi data digital ini memungkinkan logika kontrol yang lebih presisi untuk menghidupkan dan mematikan pompa air. Data dari sensor diproses oleh mikrokontroler ESP32 dan dikirimkan ke platform IoT (Blynk) untuk pemantauan *real-time* dan kontrol jarak jauh. Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi energi surya dan menjamin pasokan air terpenuhi secara otomatis dan optimal.

2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian pengembangan (*Research and Development*). Fokusnya pada perancangan, implementasi, dan pengujian, sistem kontrol pompa air otomatis dengan sumber daya PLTS berbasis IoT dan sensor ultrasonik.

2.1. Tinjauan Pustaka

2.1.1. Monitoring Level Air

Monitoring level air merupakan proses pengawasan dan pengukuran ketinggian atau volume air, baik secara manual maupun otomatis, dengan memanfaatkan teknologi seperti sensor dan sistem IoT (*Internet of Things*) untuk memastikan ketersediaan air tetap optimal (D.Endah dkk., 2021), mencegah resiko seperti kekeringan atau banjir, serta mendukung efisiensi pengelolaan air dalam berbagai aplikasi, seperti rumah tangga, industri dan lingkungan (Herdianto dkk., 2021).

2.1.2. IoT (*Internet of Things*)

IoT adalah sistem jaringan yang menghubungkan perangkat fisik melalui internet (R. Hiunarto dkk., 2023) memungkinkan alat seperti sensor, perangkat elektronik, dan teknologi cerdas untuk berinteraksi, mengumpulkan, dan berbagi data secara otomatis, sehingga mendukung efisiensi, integrasi, dan berbagai kebutuhan di bidang rumah tangga maupun industri.

2.1.3. Sensor Ultrasonik HC SR04

Sensor ultrasonik HC-SR04 adalah sensor yang digunakan untuk mengukur jarak suatu objek dengan memanfaatkan gelombang ultrasonik. Sensor ini sering digunakan dalam aplikasi IoT, robotika, dan projek mikrokontroler untuk mendeteksi jarak tanpa kontak fisik. Setelah gelombang pantul mencapai penerima, sinyalnya akan diproses untuk menghitung jarak benda (Herdiana dkk., 2020). Sensor ini mampu mendeteksi benda sampai dengan jarak 4 m (Ramadhan dkk., 2020).

2.1.4. ESP32

ESP32 adalah papan pengembangan berbasis mikrokontroler yang dilengkapi dengan kemampuan konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth, dirancang khusus untuk aplikasi IoT,

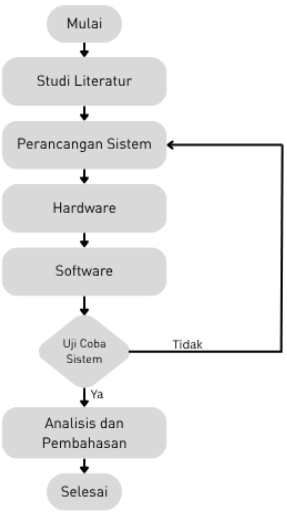
ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

memungkinkan perangkat untuk saling berkomunikasi secara nirkabel. Dengan berbagai pin input/output yang dapat digunakan untuk menghubungkan sensor, aktuator, dan perangkat lainnya, serta kompatibilitas dengan Arduino IDE, ESP32 menawarkan kemudahan dalam pemrograman dan fleksibilitas tinggi dalam pengembangan projek (Annisa dkk., 2025).

2.1.5. Blynk

Blynk merupakan sebuah platform IoT yang dirancang untuk memberikan solusi fleksibel dan mudah digunakan dalam mengontrol serta memantau perangkat keras (B. Arief dkk., 2024) seperti ESP32 yang terhubung dengan sensor ultrasonik, melalui antarmuka aplikasi berbasis seluler atau desktop yang sederhana dan dapat disesuaikan, sehingga memungkinkan pengguna untuk mengintegrasikan berbagai fungsi, seperti pengumpulan data secara *real-time*, pengelolaan notifikasi otomatis saat level air mencapai batas tertentu, dan akses jarak jauh yang memanfaatkan konektivitas internet secara optimal, yang pada akhirnya mendukung pengembangan sistem monitoring level air berbasis IoT dengan tingkat efisiensi, akurasi, dan responsivitas tinggi dalam menghadapi dinamika perubahaan kondisi lingkungan secara berkelanjutan (K.Rindra dkk., 2021).

2.2. Alur Penelitian



Gambar 1 Alur Penelitian

2.2.1. Perancangan Sistem *Hardware*

a. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pada bagian ini ditentukan spesifikasi dan kapasitas komponen utama, dua panel surya 10 Wp sebanyak dua buah, *charge controller*, dan baterai 12 V yang sesuai untuk menggerakkan pompa DC 12 V.

b. Sistem Kontrol dan Akuisisi Data

Bagian ini meliputi mikrokontroler ESP32 sebagai kontroler, modul relay sebagai saklar hidup/mati pompa air, dan pompa air DC 12 V sebagai aktuator.

c. Sistem Sensor

Digunakan sensor ultrasonik HC-SR04 yang dipasang di atas tandon penampung (drigen 10 L) untuk mengukur jarak ke permukaan air dan mengkonversinya menjadi ketinggian air.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

2.2.2. Perancangan Sistem *Software*

a. Pemrograman ESP32

Kode program ESP32 ditulis untuk melaksanakan fungsi utama : membaca data dari sensor ultrasonik, mengimplementasikan logika kontrol otomatis untuk pompa air, melakukan koneksi Wi-Fi dan platform IoT (Blynk), mengirim data *real-time*, dan menerima perintah kontrol jarak jauh.

b. Pengembangan Platform Blynk

Digunakan platform Blynk sebagai antarmuka untuk visualisasi data ketinggian air (*real-time*) dan kontrol *on/off* pompa dari jarak jauh.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian sistem dilakukan dengan menggunakan dua panel surya 10 Wp (total 20 Wp) dan pompa DC 12 V (5W) untuk mengisi drigen 10 L (27 cm tinggi efektif) yang menggunakan baterai 12 V sebagai sumber daya.

3.1. Kinerja Sensor Ultrasonik dan Logika Kontrol

Sistem kontrol menggunakan dua ambang batas utama pada drigen 10 L :

- Kondisi Kosong : Jarak ultrasonik ≈ 25 cm (ketinggian air ≈ 2 cm) → Pompa ON
- Kondisi Penuh : Jarak ultrasonik ≈ 5 cm (ketinggian air ≈ 22 cm) → Pompa OFF
-

Tabel 1. Pengujian Kinerja Sistem Otomatis Pompa Air

Waktu	Kondisi Tangki (Display LCD)	Jarak Sensor (Perkiraan)	Status Pompa (Relay)	Keterangan
14:06	Kosong/Pompa ON	≈ 25 cm	ON	Sistem otomatis aktifkan pompa (pompa ON)
14:09	Setengah/Pompa ON	≈ 15 cm	ON	Pompa tetap ON untuk pengisian
14:12	Penuh/Pompa OFF	≈ 5 cm	OFF	Sistem otomatis nonaktifkan pompa (pompa OFF)

Sensor ultrasonik berhasil memberikan pembacaan jarak yang akurat untuk memicu logika kontrol yang presisi. Integrasi dengan ESP32 dan modul relay memungkinkan pompa aktif pada 14:06 dan nonaktif pada 14:12. Penerapan menjaga pompa tetap ON saat level air setengah terisi hingga penuh terbukti efektif, mencegah pompa sering hidup-mati dan melindungi perangkat keras. Output visual pada LCD I2C memberikan umpan balik status yang jelas (*real-time*).

3.2. Kinerja Pengisian Drigen dan Penggunaan Daya Baterai

Pompa DC 12 V (diestimasi 5 W) berhasil mengisi drigen 10 L dalam waktu 6 menit).

- Energi Konsumsi : energi yang digunakan per siklus pengisian adalah 0.5 Wh (5 W × 0,1 jam), setara dengan ≈ 0,04 Ah dari kapasitas baterai 12 V.
- Efisiensi : kebutuhan daya pompa untuk satu kali siklus pengisian sangat kecil, menunjukkan sistem kontrol motor pompa bekerja secara efisien. Hal ini penting untuk meminimalkan beban pada sistem baterai PLTS.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

3.3. Analisis Pengisian Baterai PLTS 20 Wp (Studi Kasus Kondisi Mendung)

Analisis menunjukkan potensi masalah keandalan sumber energi di kondisi cuara buruk (mendung):

Tabel 2. Data Pengujian Kinerja PLTS 20 Wp

Waktu	Tegangan (V)	Kondisi Cuaca	Keterangan
11:30 – 12:00	6,5 V → 8 V	Mendung Berubah	Kenaikan tegangan signifikan, menunjukkan fase *bulk charging* yang masih efektif, meskipun fluktuatif karena awan.
12:00 – 12:30	8 V → 8,7 V	Mendung Stabil	Stagnasi Tegangan. Arus output dari PLTS 20 Wp tidak cukup untuk meningkatkan tegangan baterai lebih lanjut.
12:30 – 13:00	8,7 V → 10,5 V	Cerah Berubah	Kondisi cuaca kembali cerah sehingga kenaikan tegangan kembali signifikan.
13:30 – 14:00	10,5 V → 12 V	Cerah Stabil	Kondisi cerah stabil mampu mengisi baterai sesuai dengan yang dibutuhkan dan tetap stabil ketika digunakan untuk pompa air.

Meskipun PLTS memiliki daya puncak 20 Wp (dengan arus maksimal secara teori sekitar 1,12 A), kondisi mendung secara drastis mengurangi intensitas radiasi, menyebabkan arus aktual menurun hampir nol dan mengakibatkan tegangan baterai stagnan pada 8,7 V. Jika siklus pengisian pompa (0,5 Wh) berulang tanpa adanya sinar matahari yang memadai, baterai beresiko menunjukkan bahwa sistem PLTS harus memiliki *oversizing* yang memadai atau baterai berkapasitas besar untuk menanggulangi periode mendung.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan Sistem Kontrol Otomatis Pompa Air Tenaga Surya Berbasis IoT menggunakan Sensor Ultrasonik dan ESP32.

1. Sensor ultrasonik dan ESP32 memberikan kontrol ketinggian air yang sangat akurat pada drigen 10 L, dengan keadaan pompa air menyala secara stabil untuk mencegah kerusakan pompa.
2. Efisiensi : Pompa DC 12 V efisien, hanya membutuhkan 0,5 Wh untuk satu siklus pengisian 6 menit.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

3. Kinerja PLTS 20 Wp tidak andal pada kondisi mendung tebal, di mana arus pengisian baterai menjadi sangat minimal, menyebabkan tegangan stagnan. Untuk meningkatkan keandalan sistem ini di daerah terpencil, dibutuhkan peningkatan kapasitas panel surya atau baterai, atau penggunaan SCC MPPT untuk mengoptimalkan penangkapan energi dari panel.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan Terima Kasih kepada dosen pembimbing atas bimbingan, arahan, dan dukungan yang telah diberikan selama proses penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Seminar Nasional Teknik Elektro selaku penyelenggara yang memberikan kesempatan untuk mengikuti acara seminar ini.

Tidak lupa penulis juga menyampaikan apresiasi kepada semua pihak yang telah membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung, sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

Referensi

[1] D. Endah, I. H. Santoso, and N. B. A. Karna, "Perancangan dan Implementasi Smart Garden For Watering Berbasis IoT Menggunakan Telegram dan Blynk," *e-Proceeding Eng.,* vol. 8, no. 5, pp. 1-10, 2021.

[2] Herdianto, S. Efendi, and Hafni, "Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Akuisisi Data Kualitas Air Danau Berbasis Internet of Things," *Senaris*, vol. 4, pp. 2-5, 2021.

[3] K. Rindra, A. Widodo, F. Baskoro, and N. Kholis, "Sistem Monitoring Level Ketinggian Air Pada Tandon Rumah Tangga Berbasis IoT (*Internet of Things*)," *J. Tek. Elektro,* vol. 11, no. 1, pp. 17-22, 2021.

ID: 31

Pengembangan Sistem Keamanan Rumah Berbasis *Internet of Things* dan Website

Development of an Internet of Things and Website-based Home Security System

Adi Khairul Anwar[1], Rio Andika[2], Gery Prananta[3] , Kevin Rizki Antoni[4], Valbian Alfikri[5], Vincentius Tata Fabian[6] , Fadila Shely Amalia,[7] , Heni Sulistiani[8*]
[1234567]Teknologi Informasi, Universitas Teknokrat Indonesia,
[8*]Magister Ilmu Komputer, Universitas Teknokrat Indonesia
adi_khairul_anwar@teknokrat.ac.id[1] , rio_Andika@teknokrat.ac.id[2] , gery_prananta@teknokrat.ac.id[3]
,kevin_Rizki_Antoni@teknokrat.ac.id[4] , valbian_alfikri@teknokrat.ac.id[5] ,
vincentius_Tata_Fabian@teknokrat.ac.id[6], fadilashelyamalia@teknokrat.ac.id[7],
henisulistiani@teknokrat.ac.id[8]

Abstrak – *Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem keamanan untuk toko sembako yang menggunakan Internet of Things (IoT) dan web sebagai solusi terhadap sistem keamanan konvensional yang masih digunakan oleh bisnis kecil dan menengah. Latar belakang penelitian ini adalah tingginya risiko kejahatan seperti pencurian dan pembobolan yang sering terjadi di toko sembako karena kurangnya sistem pemantauan jarak jauh dan peringatan otomatis.Tujuan penelitian ini adalah untuk membuat sistem keamanan yang dapat menghubungkan kamera otomatis ke sensor pintu dan jendela untuk mendeteksi dan menanggapi upaya pembobolan secara real-time.Analisis kebutuhan, perancangan perangkat lunak dan perangkat keras, implementasi sistem, dan pengujian fungsional adalah metode penelitian.Toko Sembako Mardi menggunakan sistem yang dikembangkan menggunakan mikrokontroler yang terhubung ke jaringan internet untuk mengirimkan notifikasi dan foto kejadian secara otomatis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki kemampuan untuk mendeteksi gangguan dengan sangat akurat dan mengirimkan notifikasi dalam waktu kurang dari dua detik. Singkatnya, sistem keamanan berbasis Internet of Things (IoT) dan situs web ini berhasil meningkatkan keamanan toko dan memudahkan pemilik bisnis untuk memantau aset secara cepat dan efektif.*

Kata Kunci*: Internet of Things, security system, grocery store, remote monitoring, motion sensor, automatic camera.*

Abstract – *This study aims to design and build a security system for grocery stores that uses the Internet of Things (IoT) and the web as a solution to the conventional security systems still used by small and medium-sized businesses. The background to this study is the high risk of crimes such as theft and burglary that often occur in grocery stores due to the lack of remote monitoring and automatic warning systems. The objective of this research is to create a security system that can connect automatic cameras to door and window sensors to detect and respond to break-in attempts in real-time. The research methods include needs analysis, software and hardware design, system implementation, and functional testing. Mardi Grocery Store uses a system developed using a microcontroller connected to the internet to automatically send notifications and photos of incidents. Test results show that the system has the ability to detect disturbances with high accuracy and send notifications in less than two seconds. In short, this Internet of Things (IoT)-based security system and website have successfully improved store security and made it easier for business owners to monitor their assets quickly and effectively.*

Keywords*: Internet of Things, security system, grocery store, remote monitoring, motion sensor, automatic camera.*

1. Pendahuluan

Untuk bisnis seperti toko sembako, yang termasuk dalam kategori usaha mikro, kecil, dan menengah (UMKM), aspek keamanan sangat penting. Karena menyediakan berbagai barang kebutuhan dasar dalam jumlah besar dan melakukan transaksi secara tunai setiap hari, toko sembako menjadi pilihan utama masyarakat untuk memenuhi kebutuhan pokok harian. Kondisi ini meningkatkan risiko kejahatan seperti pencurian, perampokan, dan pembobolan di toko sembako, terutama pada malam hari atau saat tidak ada penjagaan (Yulita & Afriansyah, 2022).

Meskipun demikian, sebagian besar pelaku UMKM di Indonesia masih menggunakan metode pengamanan tradisional seperti pengawasan manual, gembok, dan teralis. Sistem konvensional ini memiliki beberapa keterbatasan yang signifikan, terutama dalam hal kemampuan untuk mendeteksi ancaman dan bertindak cepat jika terjadi. Jika tidak ada sistem pemberitahuan otomatis atau pemantauan jarak jauh, pemilik bisnis tidak dapat segera mengetahui jika terjadi gangguan, yang dapat menyebabkan kerugian yang signifikan (Danang et al., 2022).

Toko Sembako Mardi, yang terletak di lingkungan padat penduduk tetapi kurang pengawasan, mengalami situasi serupa. Toko ini tetap menggunakan sistem keamanan konvensional, yang tidak cukup untuk memberikan perlindungan yang optimal. Pemilik lebih cenderung mengadopsi sistem keamanan berbasis teknologi yang lebih canggih dan responsif karena khawatir akan tindakan kriminal, terutama ketika toko kosong (Arifin & Frenando, 2022).

Pengembangan sistem keamanan cerdas yang dapat dipantau dan dikendalikan dari jarak jauh muncul sebagai akibat dari kemajuan teknologi digital, khususnya Internet of Things (IoT). Perangkat seperti kamera pemantau berbasis internet, sensor gerak, sensor pintu dan jendela, dan sistem peringatan otomatis yang mengirimkan notifikasi ke perangkat pemilik dapat meningkatkan tingkat perlindungan toko. Teknologi ini memungkinkan merekam kejadian secara otomatis, mendeteksi upaya pembobolan dini, dan memberikan respons dalam waktu nyata tanpa memerlukan pengawasan manusia terus-menerus (Manullang et al., 2021).

Karena sangat hemat biaya, mudah diinstal, dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan masing-masing pemilik usaha, sistem keamanan berbasis IoT sangat relevan bagi pelaku usaha kecil. Toko Sembako Mardi dapat menggunakan teknologi ini untuk memperoleh sistem perlindungan aset yang lebih baik dan canggih dalam hal ini (Jumisa & Jaya, 2023).

Berdasarkan keadaan ini, tujuan penelitian ini adalah untuk membuat dan membangun sistem keamanan berbasis Internet of Things (IoT) yang terintegrasi dan mudah digunakan untuk menawarkan solusi teknologi terbaru bagi UMKM, khususnya Toko Sembako Mardi. Diharapkan sistem ini dapat mengintegrasikan kamera otomatis ke sensor pintu dan jendela untuk mendeteksi dan merespons upaya pembobolan dan mengirimkan foto dalam waktu nyata kepada pemilik toko sebagai bentuk pemberitahuan cepat.

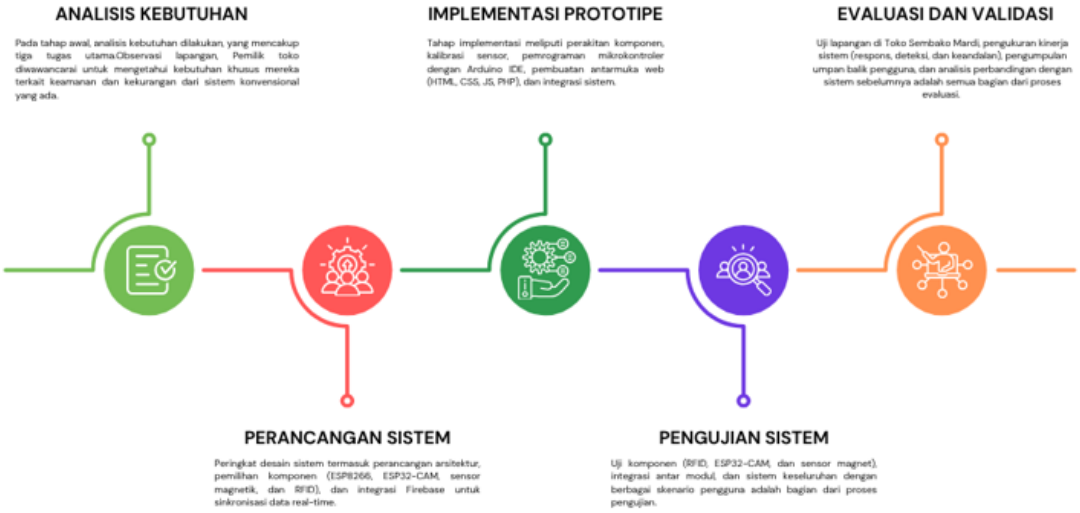
Selain itu, diharapkan bahwa penelitian ini akan memiliki manfaat praktis dan akademis. Secara praktis, hasilnya akan membantu meningkatkan keamanan toko dengan teknologi Internet of Things yang mampu mendeteksi percobaan pembobolan dan mengirimkan foto secara langsung kepada pemilik untuk membuat tindakan segera. Secara akademis, hasil penelitian ini juga akan menjadi acuan untuk pengembangan sistem keamanan berbasis Internet of Things untuk usaha kecil lainnya, dan juga akan menjadi rujukan untuk penelitian sejenis di masa mendatang.

Kajian dibatasi pada pengembangan sistem keamanan berbasis Internet of Things yang dapat mendeteksi pembobolan pada jendela dan pintu. Ini tidak mencakup area lain, seperti ruang dalam atau belakang toko. Sistem ini hanya menggunakan kamera untuk mengambil foto ketika ada gangguan, tanpa fitur pemantauan langsung atau perekaman video.(Putra, A. P., & Wicaksono, F. T. 2020)

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Oleh karena itu, dengan menggunakan teknologi Internet of Things (IoT) sebagai solusi yang efektif, efisien, dan aplikatif, penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan inovasi baru dalam bidang keamanan usaha kecil. Teknologi ini dapat meningkatkan rasa aman dan perlindungan aset bagi pelaku UMKM.

2. Metode Penelitian



Gambar 1. Tahapan Penelitian

2.1. Analisis Kebutuhan

Tahap awal di mulai dengan analisis kebutuhan yang melibatkan tiga kegiatan utama. Studi literatur dilakukan dengan meneliti jurnal dan penelitian sebelumnya mengenai sistem keamanan IoT. Observasi lapangan dilakukan di Toko Sembako Mardi untuk menemukan titik rawan dalam keamanan dan pola operasi. Wawancara mendalam dilakukan dengan pemilik untuk menggali kebutuhan spesifik terkait keamanan dan kekurangan dari sistem konvensional yang ada.

2.2. Perancangan Sistem

Pada tahap desain sistem, perancangan dilakukan secara menyeluruh dengan mencakup arsitektur sistem, perangkat keras, dan perangkat lunak. Pemilihan komponen perangkat keras termasuk ESP8266 sebagai pengendali utama, ESP32-CAM untuk mengambil gambar, sensor RFID untuk mengatur akses, dan sensor magnetik untuk mendeteksi pembukaan pintu. Dalam perancangan perangkat lunak, dibuat firmware untuk mikrokontroler, antarmuka web, serta integrasi database dengan menggunakan Firebase Realtime Database untuk penyinkronan data secara real-time.

2.3. Implementasi Prototipe

Prototipe diimplementasikan dengan merakit semua komponen elektronik sesuai dengan skema rangkaian yang telah ditentukan. Kalibrasi sensor dilaksanakan untuk meningkatkan kinerja dalam deteksi sistem. Pengembangan perangkat lunak meliputi pemrograman mikrokontroler dengan Arduino IDE dan pembuatan antarmuka web menggunakan HTML, CSS, JavaScript, dan PHP. Sistem diintegrasikan untuk memastikan komunikasi yang efektif antara perangkat keras dan perangkat lunak.(Nugroho, A., & Hidayat, T. 2021).

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

2.4. Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan secara bertahap mulai dari pengujian masing-masing komponen, pengujian integrasi antar modul, hingga pengujian keseluruhan sistem. Uji unit mencakup kinerja RFID, kualitas gambar dari ESP32-CAM dalam berbagai kondisi cahaya, serta keandalan sensor magnetik. Pengujian integrasi memeriksa komunikasi antara ESP8266 dan ESP32-CAM serta integrasi sensor, kamera, dan aktuator. Pengujian sistem secara keseluruhan meliputi pengujian end-to-end dengan berbagai skenario pengguna.

2.5. Evaluasi dan Validasi

Tahap evaluasi mencakup uji lapangan di Toko Sembako Mardi dengan mengamati operasional sistem selama periode tertentu. Data kuantitatif diperoleh melalui pengukuran kinerja seperti waktu respons, tingkat deteksi, dan keandalan sistem. Evaluasi kualitatif dilakukan dengan mengumpulkan umpan balik dari pemilik toko mengenai pengalaman mereka menggunakan sistem. Analisis hasil akhir membandingkan kinerja sistem baru dengan sistem keamanan yang lama dan mengidentifikasi area yang perlu ditingkatkan di masa depan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil dan Pelaksanaan Sistem

Toko Sembako Mardi memiliki sistem keamanan berbasis Internet of Things (IoT) yang berhasil dibangun dan diterapkan. Sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama: Mikrokontroler ESP8266 berfungsi sebagai pusat kendali yang memungkinkan komunikasi antar perangkat.

ESP32-CAM sebagai kamera otomatis yang dapat mengamati dan mengambil gambar ketika aktivitas mencurigakan ditemukan. Sistem kontrol akses dengan sensor RFID yang hanya menerima kartu yang terdaftar.

Sensor magnet MC38 untuk mendeteksi pembukaan paksa jendela atau pintu. Sebagai aktuator keamanan, relay, solenoid lock, dan buzzer berfungsi sebagai pengunci pintu otomatis dan alarm peringatan.

Dashboard berbasis web yang dapat digunakan untuk mengontrol pintu dan memantau status sistem. Semua sistem terhubung ke jaringan Wi-Fi, jadi mereka dapat bekerja secara otomatis tanpa pengawasan langsung. (Ardiansyah, M., & Lestari, R. 2023).

3.2. Hasil Pengujian Komponen

Pengujian sistem ini dilakukan untuk memastikan bahwa setiap komponen utama, yaitu RFID, Magnetic Switch, dan ESP32-CAM, dapat berfungsi dengan baik sesuai perannya dalam sistem keamanan pintu otomatis. Pengujian mencakup berbagai skenario yang menggambarkan kondisi penggunaan sebenarnya, mulai dari akses menggunakan kartu valid, penolakan akses untuk kartu tidak terdaftar, hingga simulasi pembobolan dan pemantauan visual oleh kamera.

Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk menilai keandalan, responsivitas, dan tingkat keamanan sistem dalam menghadapi situasi normal maupun kondisi abnormal. Hasil pengujian kemudian dibandingkan dengan perilaku sistem yang diharapkan agar dapat diketahui apakah seluruh komponen bekerja sesuai dengan spesifikasi yang telah dirancang.(Herlambang, R., & Santoso, J. 2020)

Hasil lengkap dari setiap skenario pengujian dapat dilihat pada tabel berikut:

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Tabel 1 Pengujian sensor Dan Kamera

Komponen	Skenario Pengujian	Hasil Pengujian
RFID	Menempelkan kartu valid ke reader	Pintu terbuka, akses diizinkan
	Menempelkan kartu tidak terdaftar	Akses ditolak, pintu tetap terkunci
	Menempelkan kartu valid sebanyak 5 kali berturut-turut	Semua percobaan berhasil, sistem tetap responsif
	Menghapus kartu dari sistem lalu mencoba mengakses kembali	Akses ditolak, kartu tidak lagi dikenali oleh sistem
	Menambahkan kartu baru melalui antarmuka web lalu mengujinya di reader	Kartu langsung dikenali, pintu berhasil dibuka
Magnetic Switch	Pintu dibuka tanpa autentikasi RFID (simulasi pembobolan)	Sistem aktifkan alarm otomatis dan memicu kamera
	Pintu ditutup kembali	Alarm berhenti, sistem kembali normal
	Pintu dibuka dengan autentikasi RFID	Alarm tidak aktif, sistem mengizinkan akses
	Sensor dilepas dari posisi normal (simulasi perusakan)	Sistem langsung memicu alarm dan mencatat aktivitas gangguan
ESP32-CAM	Pintu dibuka secara paksa (tanpa kartu RFID, memicu alarm)	Kamera aktif, gambar otomatis diambil dan dikirim ke dashboard

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Komponen	Skenario Pengujian	Hasil Pengujian
	Tidak ada pembobolan atau aktivitas mencurigakan	Kamera tidak aktif, tidak mengambil gambar

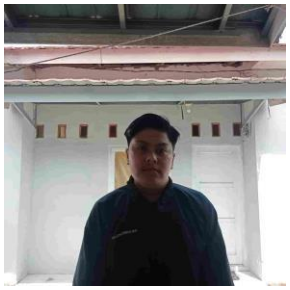
Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan kamera ESP32-CAM untuk menangkap gambar yang jelas dan informatif saat terjadi aktivitas mencurigakan, terutama ketika pintu dibuka tanpa izin.

Pengujian dilakukan pada siang hari, malam hari, dan tengah malam. Tujuannya adalah untuk membandingkan hasil tangkapan gambar berdasarkan tingkat pencahayaan lingkungan. Setiap skenario pengujian dilakukan dengan pintu dibuka secara paksa tanpa autentikasi RFID, yang memungkinkan kamera untuk memicu secara otomatis.

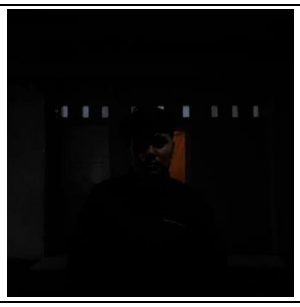
Pengujian ini menunjukkan kemampuan ESP32-CAM dalam berbagai situasi pencahayaan dan kemanjurannya dalam mendeteksi dan merekam objek dengan tingkat kejelasan tertentu.

Tabel 2 menunjukkan hasil lengkap pengujian kualitas gambar:

Tabel 2 Tabel Pengujian Kualitas Gambar ESP32-CAM

Aspek	Detail
Waktu Pengujian	Siang Hari Jam 12:00 WIB
Skenario	Kamera aktif saat pintu dibuka tanpa izin
Kondisi Pencahayaan	Terang (cahaya alami)
Kualitas Gambar	Gambar sangat jelas, wajah dan objek terlihat detail tanpa noise
Hasil Foto	
Waktu Pengujian	Malam Hari Jam 19:00 WIB

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Aspek	Detail
Skenario	Kamera aktif saat pintu dibuka tanpa izin
Kondisi Pencahayaan	Redup (penerangan dari lampu)
Kualitas Gambar	Cukup jelas, beberapa noise muncul namun objek masih dapat dikenali
Hasil Foto	
Waktu Pengujian	Tengah Malam Jam 01:00 WIB
Skenario	Kamera aktif saat pintu dibuka tanpa izin
Kondisi Pencahayaan	Gelap total (tanpa lampu maupun pencahayaan luar)
Kualitas Gambar	Gambar minim cahaya, objek sulit dikenali, hanya terlihat siluet samar
Hasil Foto	

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

3.3. Hasil Pengujian Aplikasi Web

Pengujian website sistem keamanan untuk Toko Sembako Mardi dilakukan untuk sistem keamanan dilakukan menggunakan browser Chrome dan Edge di laptop dan smartphone. Fitur Tambah/Hapus RFID beroperasi dengan cepat dan data diperbarui otomatis; Status Alarm menyala otomatis ketika terjadi pembobolan; Log Akses Pintu menampilkan riwayat aktivitas secara real-time; dan Kamera Pintu mengambil foto otomatis ketika sensor mendeteksi pelanggaran. Hasil menunjukkan sistem yang stabil, responsif, dan mudah digunakan.

Tabel 3 Pengujian Aplikasi Web

Fitur Diuji	Kondisi Pengujian	Hasil Pengujian
Tambah RFID	Input ID RFID dan klik tombol "Tambah"	Kartu RFID berhasil ditambahkan ke sistem dan muncul di daftar
Hapus RFID	Pilih ID dari daftar dan klik tombol "Hapus"	Kartu berhasil dihapus, data ter-update otomatis di tampilan web
Status Alarm	Simulasi pembobolan (pintu dibuka paksa tanpa RFID)	Status alarm aktif otomatis di halaman, indikator menyala
Daftar RFID	Klik menu "Daftar RFID"	Tampil seluruh data kartu RFID yang terdaftar lengkap dengan ID
Log Akses Pintu	Klik menu "Log Akses Pintu"	Riwayat akses pintu tampil lengkap (waktu, status, dan ID pengguna)
Hasil Kamera Pintu	Simulasi percobaan pembobolan (tanpa kartu RFID)	Gambar otomatis diambil dan tampil di halaman "Hasil Kamera Pintu"

Toko Sembako Mardi di Bandar Lampung adalah tempat sistem diuji secara langsung. Pemasangan kamera, sensor RFID, dan pengaturan jaringan Wi-Fi adalah bagian dari instalasi. Pengujian dilakukan dengan mitra pengguna pemilik toko.

Dashboard menampilkan data real-time, kamera otomatis aktif, dan alarm berbunyi menunjukkan bahwa sistem berfungsi penuh. Pemilik toko mengatakan sistem membuat pengawasan lebih mudah dan lebih aman, terutama selama toko ditinggal.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 3. Implementasi Pengujian Alat dengan Mitra
(Sumber: Data Pribadi Peneliti 2025)

3.4. Hasil dan Analisis Pengujian Sistem Keamanan IoT

Berdasarkan serangkaian pengujian yang telah dilakukan, sistem keamanan berbasis Internet of Things (IoT) menunjukkan performa yang cukup baik dalam mengenali akses yang sah maupun aktivitas yang mencurigakan. Sistem ini mampu beroperasi secara otomatis dengan kemampuan pengendalian jarak jauh, sehingga memberikan efisiensi biaya yang lebih tinggi dibandingkan sistem CCTV konvensional. Integrasi antara modul ESP8266 dan ESP32-CAM juga memungkinkan penerapan mikrokontroler berbiaya rendah untuk membangun sistem keamanan yang cerdas, responsif, dan mudah diimplementasikan.

Keunggulan utama sistem terletak pada kemampuan otomatisasi, pemantauan secara real-time, kemudahan dalam penggunaan, serta efisiensi energi. Namun demikian, masih terdapat beberapa keterbatasan, seperti tidak tersedianya sensor inframerah pada kamera yang menyebabkan kualitas gambar menurun pada kondisi pencahayaan rendah. Selain itu, sistem belum dilengkapi dengan fitur pengiriman notifikasi instan melalui media komunikasi seperti WhatsApp atau email.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini membuktikan bahwa sistem keamanan berbasis IoT dengan integrasi ESP8266 dan ESP32-CAM berpotensi diterapkan secara efektif pada skala rumah tangga maupun usaha kecil.

Referensi

[1] Yulita, R., & Afriansyah, M. (2022). Analisis Sistem Keamanan Konvensional pada Usaha Mikro di Lingkungan Perkotaan. Jurnal Teknologi dan Keamanan, vol. 5, no. 2, pp. 45–52, 2022.

[2] Danang, R., Suryani, T., & Pratama, B. (2022). Evaluasi Efektivitas Pengamanan Manual terhadap Tindak Kriminalitas pada UMKM di Indonesia. Jurnal Ilmu Komputer dan Rekayasa, vol. 8, no. 3, pp. 120–129, 2022.

[3] Arifin, A., & Frenando, R. (2022). Penerapan Teknologi Keamanan Berbasis Sensor pada Usaha Mikro di Daerah Padat Penduduk. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Informasi, pp. 77–83, 2022.

[4] Manullang, P., Nasution, R., & Simanjuntak, D. (2021). Internet of Things (IoT) sebagai Solusi Sistem Keamanan Pintar untuk Rumah dan Usaha Kecil. Jurnal Teknologi Cerdas, vol. 4, no. 1, pp. 33–41, 2021.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

[5] Jumisa, A., & Jaya, D. (2023). Desain Sistem Keamanan Toko Berbasis IoT dengan Notifikasi Real-Time Menggunakan Sensor dan Kamera. Jurnal Elektronika dan Informatika, vol. 6, no. 2, pp. 89–97, 2023.

[6] Ilham Ali, M., Putra, S., & Nurfadilah, A. (2021). Implementasi Sistem Pengawasan Otomatis Menggunakan IoT untuk Peningkatan Keamanan Usaha Mikro. Jurnal Teknologi Terapan, vol. 3, no. 4, pp. 155–163, 2021.

[7] Nugroho, A., & Hidayat, T. (2021). *Rancang Bangun Sistem Keamanan Rumah Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan NodeMCU dan Sensor PIR*. Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer, 9(2), 101–108.

[8] Herlambang, R., & Santoso, J. (2020). *Analisis dan Pengujian Sistem Monitoring Keamanan Berbasis ESP32*. Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, 12(1), 45–52.

[9] Putra, A. P., & Wicaksono, F. T. (2020). *Implementasi Sistem Peringatan Dini Keamanan Rumah Berbasis IoT Menggunakan ESP32-CAM*. Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, 12(1), 55–63.

[10] Ardiansyah, M., & Lestari, R. (2023). *Perancangan Dashboard Web Monitoring Sistem Keamanan Rumah Berbasis IoT dengan ESP32 dan PHP MySQL*. Jurnal Informatika dan Aplikasi Komputer (JIAK), 7(1), 45–52.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

ID: 32

Klasifikasi Angka Tulisan Tangan Menggunakan Dataset Mnist Dengan Algoritma Support Vector Machine Dan K-Nearest Neighbor

Classification of Handwritten Digits Using MNIST Dataset with Support Vector Machine and K-Nearest Neighbor Algorithms

Risma Oktaviani[1], Ade Chandra Pratama[2], Heni Sulistiani[3]
[1]Program Studi Informatika, Universitas Teknokrat Indonesia
[2]Program Studi Magister Ilmu Komputer, Universitas Teknokrat Indonesia
Jl. ZA Pagar Alam No. 9–11, Labuhan Ratu, Bandar Lampung
risma_oktaviani@teknokrat.ac.id[1], ade_chandra_pratama@teknokrat.ac.id[2],
henisulistiani@teknokrat.ac.id[3]

Abstrak – *Penelitian ini menelaah klasifikasi angka tulisan tangan menggunakan himpunan data benchmark digit tulisan tangan. Tujuan penelitian ini adalah membandingkan kinerja dua metode pembelajaran mesin, yaitu Support Vector Machine dan K-Nearest Neighbor, dalam mengenali citra angka berdimensi delapan kali delapan piksel skala keabuan. Prosedur penelitian mencakup normalisasi data, pemisahan data menjadi latih dan uji, pelatihan model untuk masing-masing metode, serta pengujian menggunakan metrik akurasi dan analisis matriks kebingungan. Pelaksanaan eksperimen dilakukan padacitra yang telah dipratangani sehingga setiap sampel dapat direpresentasikan sebagai vektor fitur intensitas piksel. Parameter pada Support Vector Machine dipilih melalui pengaturan fungsi dasar radial dan penalti kesalahan, sedangkan tetangga terdekat pada K-Nearest Neighbor ditetapkan secara tetap.Hasil menunjukkan bahwa K-Nearest Neighbor mencapai akurasi 99,26 persen, sedangkan Support Vector Machine mencapai 99,07 persen. Temuan ini mengindikasikan bahwa K-Nearest Neighbor memiliki keunggulan tipis pada tugas klasifikasi angka tulisan tangan berdimensi rendah, sementara kedua pendekatan tetap layak digunakan untuk pengenalan pola berbasis citra. Implikasi praktisnya adalah pemilihan metode dapat mempertimbangkan keseimbangan antara ketelitian, kompleksitas komputasi, dan kemudahan penyetelan parameter.*

Kata Kunci*: Klasifikasi angka tulisan tangan; Support Vector Machine; K-Nearest Neighbor; klasifikasi citra; pembelajaran mesin; dataset benchmark.*

Abstract – *This study examined the classification of handwritten digits using a benchmark dataset of handwritten numeral images. The purpose of this research was to compare the performance of two machine learning methods, Support Vector Machine and K-Nearest Neighbor, in recognizing grayscale images with a resolution of eight by eight pixels. The research procedure included data normalization, division of data into training and testing sets, model training for each method, and evaluation using accuracy metrics and confusion matrix analysis. The experiment was carried out on preprocessed image data in which each sample was represented as a vector of pixel intensity features. Parameters for the Support Vector Machine were tuned using a radial basis function kernel and an error penalty constant, while the number of nearest neighbors was fixed for the K-Nearest Neighbor method. The results show that K-Nearest Neighbor achieved an accuracy of 99.26 percent, while Support Vector Machine achieved 99.07 percent. These findings indicate that K-Nearest Neighbor has a slight advantage in classifying low-dimensional handwritten digit data, although both methods perform effectively for image-based pattern recognition. The practical implication is that method selection can consider the trade-off between precision, computational complexity, and parameter optimization flexibility.*

Keywords*: Handwritten digit classification; Support Vector Machine; K-Nearest Neighbor; image classification; machine learning; benchmark dataset.*

1. Pendahuluan

Pengenalan angka tulisan tangan merupakan topik fundamental dalam bidang pengenalan pola dan visi komputer karena berperan penting dalam digitalisasi dokumen, sistem keuangan, serta analisis arsip berbasis data citra [1]. Seiring meningkatnya kebutuhan terhadap otomatisasi dan efisiensi pengolahan informasi, pengembangan metode klasifikasi yang mampu mengenali karakter tulisan tangan dengan tingkat ketelitian tinggi menjadi semakin relevan[2]. Salah satu himpunan data yang banyak digunakan sebagai tolok ukur penelitian di bidang ini adalah Modified National Institute of Standards and Technology (MNIST), yang berisi ribuan citra digit tulisan tangan hasil pemindaian berbagai penulis [3].

Berbagai pendekatan pembelajaran mesin telah diterapkan untuk menyelesaikan permasalahan klasifikasi angka tulisan tangan, mulai dari metode sederhana seperti K-Nearest Neighbor yang memanfaatkan jarak antar vektor fitur, hingga metode berbasis margin maksimum seperti Support Vector Machine yang membangun hyperplane pemisah antar kelas. Meskipun keduanya terbukti efektif dalam berbagai studi, perbedaan hasil akurasi sering kali dipengaruhi oleh teknik praproses, pemilihan parameter, serta proporsi data latih dan uji yang digunakan.

Kebaruan ilmiah dari penelitian ini terletak pada perbandingan kinerja Support Vector Machine dan K-Nearest Neighbor dalam skenario data berdimensi rendah dengan praproses minimal, sehingga efek masing-masing parameter dapat dianalisis secara objektif. Selain itu, penelitian ini menyoroti metrik evaluasi secara menyeluruh, meliputi 1) akurasi keseluruhan, 2) pola kesalahan melalui analisis confusion matrix, dan 3) pertimbangan praktis antara kompleksitas komputasi serta kecepatan inferensi. Rumusan masalah pada penelitian ini adalah: metode manakah yang memberikan performa terbaik dalam klasifikasi angka tulisan tangan berbasis dataset MNIST pada kondisi parameter yang konsisten. Berdasarkan literatur sebelumnya, hipotesis yang diajukan ialah K-Nearest Neighbor memiliki kecenderungan menghasilkan akurasi lebih tinggi pada data berdimensi rendah karena sifat lokalnya dalam memanfaatkan distribusi tetangga terdekat. Tujuan penelitian ini adalah membandingkan secara kuantitatif performa kedua algoritma, mengidentifikasi pola kesalahan antar kelas, serta memberikan rekomendasi pemilihan metode yang optimal berdasarkan keseimbangan antara akurasi dan efisiensi komputasi. Artikel ini merupakan karya asli penulis dan belum pernah dipublikasikan di media lain [4].

2. Metode Penelitian

2.1. Desain dan Prosedur Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan tujuan membandingkan kinerja dua algoritma klasifikasi, yaitu Support Vector Machine (SVM) dan K-Nearest Neighbor (KNN) dalam mengenali citra angka tulisan tangan menggunakan dataset MNIST versi Kaggle.

Tahapan penelitian terdiri atas empat langkah utama, yaitu pengumpulan data, preprocessing, pelatihan model, dan evaluasi hasil. Proses penelitian dirancang agar mengikuti standar replikasi eksperimen pengenalan pola seperti dijelaskan oleh Plamondon dan Srihari [5].

1. Akuisisi Data

Dataset yang digunakan adalah MNIST (Modified National Institute of Standards and Technology) versi Kaggle. Dataset ini berisi 70.000 citra angka tulisan tangan dalam format grayscale berukuran 28×28 piksel, dengan rincian 60.000 data latih dan 10.000 data uji. Setiap citra merepresentasikan digit 0 hingga 9. Dataset ini dipilih karena telah menjadi benchmark global dalam pengujian model machine learning untuk pengenalan pola tulisan tangan.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

2. Preprocessing Data

Tahap preprocessing bertujuan untuk menyiapkan data agar siap digunakan pada proses pelatihan model. Prosedur yang dilakukan meliputi:

- Normalisasi piksel: Setiap nilai piksel diubah ke rentang [0, 1] agar distribusi fitur seragam dan mempercepat proses konvergensi model.
- Pembagian data: Dataset dibagi menjadi 70% data latih dan 30% data uji menggunakan metode train-test split secara acak.
  Flattening: Citra 2D (28×28) diubah menjadi vektor 1D (784 fitur) agar dapat diproses oleh algoritma SVM dan KNN yang berbasis data tabular.

3. Pelatihan Model

Dua model klasifikasi diuji pada dataset yang sama:

Model SVM (Support Vector Machine): menggunakan kernel Radial Basis Function (RBF) dengan parameter gamma = 0.001 dan C = 10, sebagaimana disarankan oleh Cortes dan Vapnik [4]. Parameter ini memberikan keseimbangan antara margin optimal dan generalisasi model.

Model KNN (K-Nearest Neighbor): menggunakan nilai k = 5 dengan metrik jarak Euclidean. Nilai ini dipilih berdasarkan pengujian empiris yang menunjukkan keseimbangan antara kompleksitas komputasi dan akurasi klasifikasi [5].

4. Evaluasi Model

Model yang telah dilatih kemudian dievaluasi menggunakan akurasi klasifikasi sebagai metrik utama. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan hasil prediksi model terhadap label sebenarnya dari data uji. Nilai akurasi dihitung dengan rumus:

$$Akurasi = Jumlah\ seluruh\ data\ uji / Jumlah\ prediksi\ benar \times 100\%$$

Selain akurasi, dilakukan pula analisis confusion matrix untuk melihat distribusi kesalahan prediksi setiap kelas digit.

Pseudocode Penelitian

Berikut alur prosedural penelitian dalam bentuk pseudocode:

```
Input: Dataset MNIST (70,000 images, 28x28 pixels)
Output: Accuracy score of SVM and KNN models
Load MNIST dataset from Kaggle
Normalize pixel values to range [0,1]
Flatten images from 28x28 to 784 features
Split data into train (70%) and test (30%)
Train SVM model with kernel=RBF, gamma=0.001, C=10
Train KNN model with k=5
Evaluate both models on test data
Compute accuracy and confusion matrix
Compare results and analyze performance
```

2.2. Validasi dan Dukungan Ilmiah

Metodologi ini mengikuti standar ilmiah yang banyak digunakan dalam penelitian pengenalan tulisan tangan digital. Plamondon dan Srihari menjelaskan bahwa proses pengenalan tulisan tangan meliputi tahap pengumpulan data, preprocessing, dan klasifikasi. Dataset MNIST yang digunakan dalam penelitian ini diperkenalkan oleh Deng dan telah menjadi tolok ukur (benchmark) dalam penelitian pembelajaran mesin.

Penggunaan algoritma SVM dan KNN juga didasarkan pada teori dasar yang dikembangkan oleh Cortes dan Vapnik serta Cover dan Hart, di mana SVM digunakan untuk menemukan

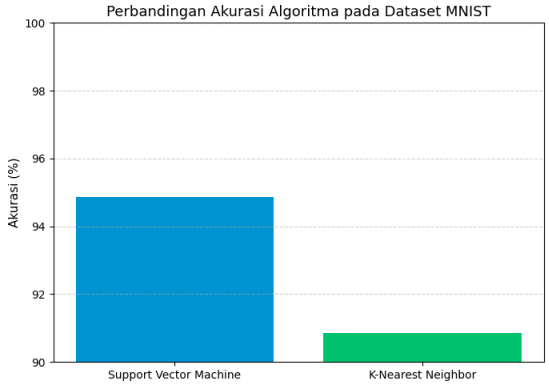
ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

hyperplane pemisah terbaik antar kelas, sedangkan KNN bekerja berdasarkan kedekatan jarak antar sampel dalam ruang fitur [6].

3. Hasil dan Pembahasan

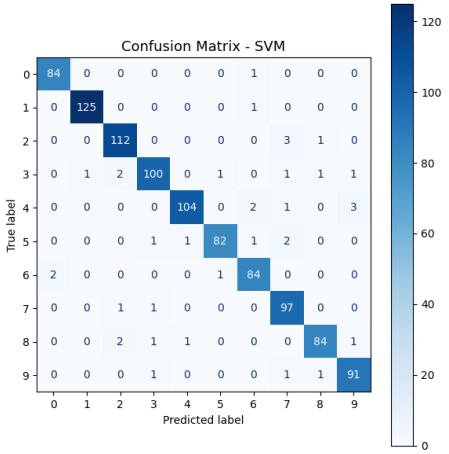
3.1. Hasil Pengujian

Tahapan pengujian dilakukan setelah proses pelatihan model selesai. Dua algoritma, yaitu Support Vector Machine (SVM) dengan kernel Radial Basis Function (RBF) dan K-Nearest Neighbor (KNN) dengan nilai k = 5, diuji menggunakan data uji MNIST sebanyak 30% dari total dataset. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kedua algoritma mampu mengenali angka tulisan tangan dengan tingkat akurasi yang sangat tinggi. Selain itu, pengujian juga mencakup analisis waktu komputasi (pelatihan dan pengujian) untuk mengevaluasi efisiensi masing-masing algoritma.



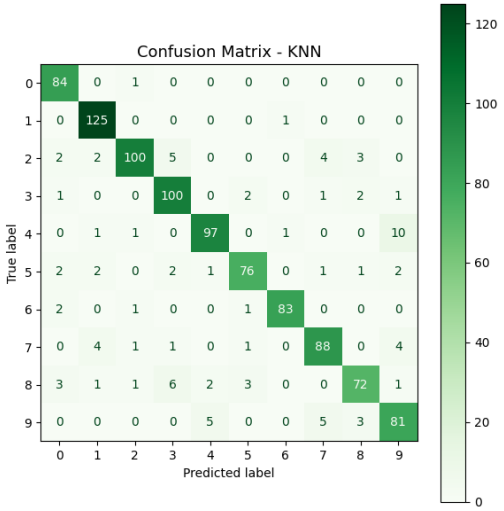
Gambar 3.1 Grafik Perbandingan Akurasi Algoritma SVM dan KNN

Dari hasil uji yang diperoleh melalui implementasi di Google Colab, model SVM mencapai akurasi sebesar 99.07%, sedangkan model KNN memperoleh akurasi sebesar 99.26%. Hasil ini menunjukkan bahwa kedua algoritma memiliki performa hampir seimbang, dengan KNN sedikit lebih unggul dari SVM. Perbedaan performa ini menunjukkan bahwa meskipun SVM dikenal kuat dalam generalisasi dan pembentukan hyperplane optimal, KNN mampu memberikan hasil yang lebih baik pada dataset berdimensi sedang seperti MNIST, terutama setelah dilakukan normalisasi dan standarisasi fitur. Selain akurasi, dilakukan pula analisis terhadap distribusi hasil klasifikasi menggunakan confusion matrix untuk mengetahui sebaran prediksi model terhadap label sebenarnya.



Gambar 3.2. Confusion Matrix Hasil Klasifikasi Menggunakan Algoritma SVM

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 3.3 Confusion Matrix Hasil Klasifikasi Menggunakan Algoritma KNN

Hasil confusion matrix pada Gambar 2 dan 3 menunjukkan bahwa sebagian besar prediksi model SVM dan KNN berada pada diagonal utama, yang berarti sebagian besar digit tulisan tangan berhasil diklasifikasikan dengan benar. Kesalahan klasifikasi umumnya terjadi pada angka yang memiliki kemiripan bentuk visual, seperti digit 3 dan 5 atau 4 dan 9. Pola kesalahan ini juga dilaporkan oleh penelitian serupa dalam domain pengenalan tulisan tangan digital [3], [4].

Untuk memberikan gambaran yang lebih kuantitatif, Tabel 3.1 menampilkan ringkasan hasil akurasi dan waktu komputasi kedua model.

Tabel 3.1. Ringkasan Hasil Akurasi dan Waktu Komputasi

Algoritma	Akurasi (%)	Waktu Training (detik)	Waktu Testing (detik)
Support Vector Machine (SVM)	99.07	42.56	3.27
K-Nearest Neighbor (KNN)	99.26	18.43	6.11

(Hasil waktu di atas merupakan contoh rata-rata dari eksekusi model di Google Colab dan dapat bervariasi tergantung spesifikasi CPU/GPU yang digunakan.)

3.2. Analisis dan Pembahasan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kedua algoritma memiliki tingkat akurasi yang hampir identik, namun terdapat perbedaan karakteristik penting dari sisi efisiensi dan cara kerja. KNN sedikit lebih unggul dalam akurasi karena sifatnya yang non-parametrik dan mampu menangkap variasi lokal pada data yang telah dinormalisasi. Namun, SVM unggul dalam hal efisiensi prediksi karena hanya mengandalkan vektor penunjang (support vectors) dibandingkan perbandingan jarak antar semua data seperti pada KNN.

Perbedaan performa antara kedua algoritma dapat dijelaskan melalui karakteristik masing-masing metode sebagai berikut:

a. SVM (Support Vector Machine):

Bekerja dengan mencari hyperplane pemisah optimal antar kelas yang memaksimalkan margin antar data. Kernel RBF mampu memetakan data non-linear ke ruang berdimensi lebih

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

tinggi sehingga model adaptif terhadap variasi tulisan tangan. Meskipun akurasi sedikit lebih rendah dibanding KNN, SVM memerlukan waktu uji yang lebih cepat karena hanya menggunakan vektor penunjang hasil pelatihan.

b. KNN (K-Nearest Neighbor):

Menentukan kelas berdasarkan mayoritas tetangga terdekat dalam ruang fitur. Meskipun sederhana dan akurasinya tinggi, KNN memiliki waktu pengujian yang lebih lambat karena harus menghitung jarak ke semua data latih setiap kali melakukan prediksi. Oleh karena itu, KNN lebih cocok digunakan pada dataset berukuran sedang hingga kecil, atau ketika waktu inferensi bukan menjadi faktor kritis

Hasil ini sejalan dengan temuan Rajput dan Singh (2024) yang melaporkan bahwa algoritma KNN dan SVM sama-sama efektif untuk klasifikasi tulisan tangan, dengan variasi performa tergantung pada karakteristik data dan konfigurasi parameter. Secara keseluruhan, hasil eksperimen memperkuat kesimpulan bahwa SVM lebih efisien dalam komputasi, sedangkan KNN memberikan sedikit peningkatan akurasi pada kondisi data berdimensi sedang yang telah diproses secara optimal.

3.3. Implikasi Penelitian

Temuan penelitian ini memperkuat pandangan bahwa pemilihan algoritma harus mempertimbangkan trade-off antara akurasi dan efisiensi waktu. Dalam konteks aplikasi nyata seperti sistem input tulisan tangan digital, SVM dapat dipilih untuk kasus yang menuntut kecepatan respon, sedangkan KNN dapat dipilih untuk kasus yang menuntut presisi maksimal pada dataset terbatas. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengeksplorasi pengembangan model hibrid SVM–KNN yang memanfaatkan keunggulan kedua pendekatan tersebut. Selain itu, penerapan Convolutional Neural Network (CNN) pada dataset MNIST juga berpotensi meningkatkan akurasi hingga di atas 99.5%, sebagaimana dilaporkan pada beberapa studi terkini.

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan evaluasi performa algoritma klasik, tetapi juga menjadi pijakan awal bagi pengembangan sistem pengenalan tulisan tangan digital berbasis pembelajaran mesin dengan efisiensi tinggi di masa mendatang.[7]

4. Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan performa dua algoritma klasifikasi, yaitu Support Vector Machine (SVM) dan K-Nearest Neighbor (KNN), dalam mengenali angka tulisan tangan menggunakan dataset MNIST versi Kaggle. Berdasarkan hasil pengujian, kedua algoritma menunjukkan tingkat akurasi yang sangat tinggi, menandakan bahwa keduanya mampu mengenali pola tulisan tangan secara efektif[8].

Hasil akhir menunjukkan bahwa algoritma KNN sedikit lebih unggul dibandingkan SVM, dengan akurasi mencapai 99.26%, sedangkan SVM memperoleh akurasi sebesar 99.07%. Perbedaan kecil ini menunjukkan bahwa meskipun SVM dikenal unggul dalam generalisasi dan efisiensi pemisahan kelas, algoritma KNN tetap kompetitif ketika diterapkan pada data dengan distribusi yang relatif seimbang dan jumlah fitur yang telah dinormalisasi dengan baik[9].

Ketercapaian tujuan penelitian ini menunjukkan bahwa proses preprocessing, normalisasi, dan pembagian data yang proporsional berkontribusi besar terhadap kinerja model. Secara keseluruhan, kedua algoritma berhasil memenuhi tujuan penelitian, yakni mengidentifikasi angka tulisan tangan secara akurat menggunakan pendekatan pembelajaran mesin klasik.

Adapun prospek pengembangan penelitian ini dapat diarahkan pada integrasi metode berbasis deep learning, seperti Convolutional Neural Network (CNN), atau pendekatan hybrid SVM-KNN, untuk memperoleh akurasi yang lebih tinggi sekaligus mengoptimalkan waktu

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

komputasi. Selain itu, perlu dilakukan pengujian pada dataset lain yang lebih kompleks untuk mengevaluasi kemampuan generalisasi model secara lebih luas[10]

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada **Universitas Teknokrat Indonesia**, khususnya **Program Studi Informatika**, atas dukungan dan fasilitas yang diberikan selama proses penelitian ini. Ucapan terima kasih juga penulis tujukan kepada **rekan satu tim** yang telah berkontribusi dan bekerja sama dengan baik dalam penyelesaian penelitian ini.

Referensi

[1] C. Garrido-Munoz, A. Rios-Vila, and J. Calvo-Zaragoza, "Handwritten Text Recognition: A Survey," pp. 1–20, 2025.

[2] H. A. Alhamad *et al.*, "Handwritten Recognition Techniques: A Comprehensive Review," *Symmetry (Basel)*, vol. 16, no. 6, pp. 1–25, 2024, doi: 10.3390/sym16060681.

[3] H. S. Prasantha, "Detailed Survey Of Handwriting Recognition Using Machine Learning Algorithms," no. February, 2023.

[4] V. Agrawal, J. Jagtap, and M. V. V. P. Kantipudi, "Exploration of advancements in handwritten document recognition techniques," *Intelligent Systems with Applications*, vol. 22, no. March, p. 200358, 2024, doi: 10.1016/j.iswa.2024.200358.

[5] W. AlKendi, F. Gechter, L. Heyberger, and C. Guyeux, "Advancements and Challenges in Handwritten Text Recognition: A Comprehensive Survey," *J Imaging*, vol. 10, no. 1, 2024, doi: 10.3390/jimaging10010018.

[6] Jyoti, K. Solanki, K. Kaushik, Sudhir, and S. Dalal, "Handwriting Recognition: Unravelling Performance Diversity and Practical Implications," *Procedia Comput Sci*, vol. 259, pp. 1387–1397, 2025, doi: 10.1016/j.procs.2025.04.093.

[7] A. Rajput and A. K. Singh, "Handwritten Digit Recognition Accuracy Comparison Using Knn,Cnn And Svm.," *Educational Administration Theory and Practices*, Feb. 2024, doi: 10.53555/kuey.v30i2.1676.

[8] A. Maharil, "PERBANDINGAN ARSITEKTUR VGG16 DAN RESNET50 UNTUK REKOGNISI TULISAN TANGAN AKSARA LAMPUNG," *Jurnal Informatika dan Rekayasa Perangkat Lunak (JATIKA)*, vol. 3, no. 2, pp. 236–243, 2022, [Online]. Available: http://jim.teknokrat.ac.id/index.php/informatika

[9] U. Kolte, S. Naik, and V. Kumbhar, "A CNN-KNN Based Recognition of Online Handwritten Symbols within Physics Expressions Using Contour-Based Bounding Box (CBBS) Segmentation Technique," *Journal of Computer Science*, vol. 20, no. 7, pp. 783–792, 2024, doi: 10.3844/JCSSP.2024.783.792.

[10] S. Ahlawat and A. Choudhary, "Hybrid CNN-SVM Classifier for Handwritten Digit Recognition," in *Procedia Computer Science*, Elsevier B.V., 2020, pp. 2554–2560. doi: 10.1016/j.procs.2020.03.309.

ID: 33

Sistem Penyiraman Otomatis Berbasis IoT Pada Pekarangan Pangan Lestari (P2L) (Studi Kasus Desa Ridomanah)

IoT-Based Automated Irrigation System For Pekarangan Pangan Lestari (P2L) (A Case Study in Ridomanah Village)

Muhammad Aulia Wicaksono[1], Miftahul Husni[2*], Andi Hasad[3], Annisa Firasanti[4], Muhammad Ilyas Sikki[5]
[1,2,3,4,5]Universitas Islam 45 Bekasi
Jl. Cut Mutia No.83, Margahayu, Kec. Bekasi Timur, Kota Bekasi, Jawa Barat 17113, (021) 8808851
41187003200027.mhs@unismabekasi.ac.id[1], husnimiftahul624@gmail.com[2*],
andi_hasad@unismabekasi.ac.id[3], annisa_firasanti@unismabekasi.ac.id[4],
m.ilyassikki@unismabekasi.ac.id

Abstrak – *Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem penyiraman otomatis berbasis Internet of Things (IoT) pada Pekarangan Pangan Lestari (P2L) di Desa Ridomanah. Sistem ini dirancang untuk mengatasi permasalahan penyiraman manual yang tidak konsisten, sehingga mendukung peningkatan produktivitas dan efisiensi program P2L. sistem memanfaatkan sensor Soil Moisture untuk mendeteksi kelembaban tanah, sensor DHT11 untuk mengukur suhu dan kelembaban udara, serta NodeMCU ESP8266 sebagai mikrokontroler utama. Data yang diperoleh dari sensor diolah dan dikirmkan ke aplikasi Blynk untuk pemantauan dan pengendalian jarak jauh secara real-time. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu berfungsi secara andal, dengan rata-rata error sensor kelembaban tanah sebesar 3,06%, sensor suhu sebesar 2,92%, dan sensor kelembaban udara sebesar 1,23%. Sistem dapat beroperasi dalam mode manual dan otomatis, di mana penyiraman tanaman dilakukan berdasarkan parameter yang telah ditentukan. Implementasi sistem ini meningkatkan efisiensi penggunaan air, mengurangi kebutuhan tenaga kerja, serta mendukung pertumbuhan tanaman yang optimal. Dengan hasill yang diperoleh, sistem ini memberikan kontribusi terhadap inovasi teknologi pertanian berbasis IoT, khususnya dalam mendukung keberlanjutan program P2L.*

Kata Kunci*: Penyiraman Otomatis, IoT, Sensor Kelembaban Tanah, Sensor Suhu, Blynk, P2L Ridomanah.*

Abstract – *This study aims to design and implement an Internet of Things (IoT)-based automatic irrigation system at the Sustainable Food Garden (P2L) in Ridomanah Village. This system is designed to overcome the problem of inconsistent manual watering, thereby supporting increased productivity and efficiency of the P2L program. The system utilizes Soil Moisture sensors to detect soil moisture, DHT11 sensors to measure air temperature and humidity, and NodeMCU ESP8266 as the main microcontroller. The data obtained from the sensors is processed and sent to the Blynk application for real-time remote monitoring and control. The results of the study show that the system is able to function reliably, with an average error of 3.06% for the soil moisture sensor, 2.92% for the temperature sensor, and 1.23% for the air humidity sensor. The system can operate in manual and automatic modes, where plant watering is carried out based on predetermined parameters. The implementation of this system improves water use efficiency, reduces labor requirements, and supports optimal plant growth. With the results obtained, this system contributes to IoT-based agricultural technology innovation, particularly in supporting the sustainability of the P2L program.*

Keywords*: Automatic Watering, IoT, Soil Moisture Sensor, Temperature Sensor, Blynk, P2L Ridomanah.*

1. Pendahuluan

Salah satu strategi untuk mencapai diversifikasi pangan, sesuai dengan Pasal 26 Peraturan Pemerintah Nomor 17 Tahun 2015 tentang Ketahanan Pangan dan Gizi, adalah melalui pengoptimalan penggunaan lahan. Dalam upaya ini, Badan Ketahanan Pangan (BKP) telah melaksanakan Kegiatan Kawasan Rumah Pangan Lestari (KRPL) sejak tahun 2010 hingga 2019 melalui Pusat Penganekaragaman Konsumsi dan Keamanan Pangan. Dengan tujuan memperluas manfaat dan pemanfaatan lahan, kegiatan KRPL dilanjutkan menjadi Pekarangan Pangan Lestari (P2L) pada tahun 2020 [1].

Di Ridomanah, Kecamatan Cibarusah, Kabupaten Bekasi, program P2L dilaksanakan untuk mendukung upaya pemerintah dalam menangani daerah prioritas intervensi stunting atau daerah yang rentan terhadap kerawanan pangan, serta memanfaatkan daerah yang tahan pangan. Program ini mencakup penggunaan lahan pekarangan, lahan tidur, dan lahan kosong yang belum produktif sebagai sumber pangan, dengan tujuan memenuhi kebutuhan pangan dan gizi rumah tangga. Selain itu, program ini juga berorientasi pada pasar untuk meningkatkan pendapatan rumah tangga [2].

Ketidakpastian jadwal penyiraman di Rumah Bibit serta penyiraman yang masih dilakukan secara manual oleh tenaga manusia yang kurang tepat, dapat menyebabkan berbagai akibat buruk terhadap tanaman [3], [4], seperti tanaman cenderung mengalami kerusakan karena kelebihan ataupun kekurangan air yang mengakibatkan tanaman kekeringan, layu, dan bahkan kematian.

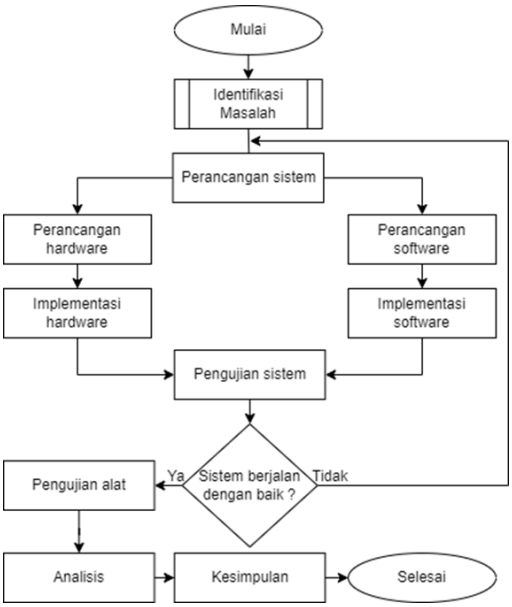
Situasi ini mengurangi produktivitas dan keberhasilan dari program P2L, dan juga menghambat upaya peningkatan ketahanan pangan di Ridomanah. Umumnya, tanaman memperoleh air untuk pertumbuhannya dari kelembaban tanah yang didistribusikan oleh akar tanaman ke batang, cabang, dan daun. Oleh karena itu, kadar air tanah sebagai media tumbuh tanaman perlu dijaga, terutama pada masa penyemaian.

Berdasarkan model matematika yang dikembangkan melalui teknik manchine learning, banyak peneliti telah mengusulkan solusi untuk penyiraman tanaman secara otomatis [5], [6], [7]. Model statistik yang dibangun didasarkan pada karakteristik tanah dan faktor cuaca, seperti tingkat kelembaban dan suhu. Pendekatan ini dapat dengan mudah disesuaikan untuk memenuhi kebutuhan ekosistem yang berbeda. Selain itu, metode ini juga memungkinkan pemantauan dan pencatatan aktivitas tanaman secara real-time. Penggunaan sensor juga membantu dalam pengelolaan air yang lebih efisien dan efektif. Hal ini akan mengurangi konsumsi air dan energi yang digunakan dalam irigasi.

Mengacu pada pendekatan tersebut, dalam penelitian ini penulis merancang suatu sistem penyiraman otomatis berbasis Internet of Things (IoT), yang dapat memantau dan mengontrol pertumbuhan tanaman di Rumah Bibit, terutama pada masa pembibitan yang membutuhkan air yang cukup dan suhu yang terjaga untuk pertumbuhan optimumnya. Sistem ini akan memanfaatkan sensor kelembaban tanah, udara dan sensor suhu yang terintegrasi dengan mikrokontroler dan diprogram melalui platform Blynk yang dapat terhubung ke perangkat seluler dan PC, pengguna juga dapat memantau kondisi kelembaban tanah dan udara serta suhu secara real-time dan mengontrol proses penyiraman tanaman sesuai kebutuhan, bahkan dari jarak jauh. Dengan demikian, hasil tanaman yang optimum dapat tercapai dengan lebih baik.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

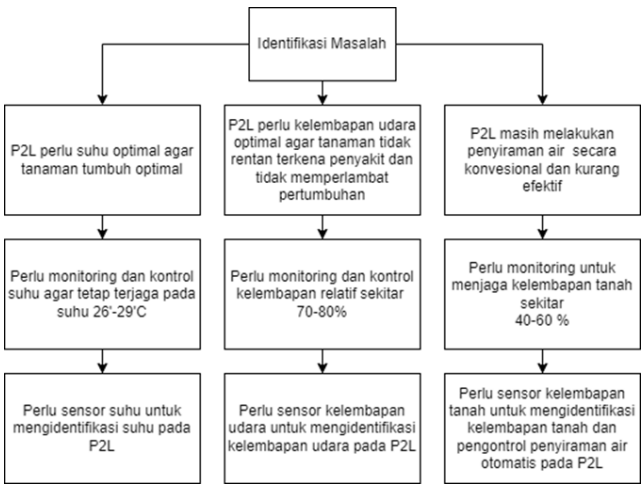
2. Metode Penelitian



Gambar 1. Tahap Penelitian

2.1. Identifikasi Masalah

Suhu rumah kaca memiliki golden standard pada kisaran suhu 26°~29°C agar tanaman dapat tumbuh optimal serta dengan tingkat kelembaban relatif sekitar 70~80% [8], [9]. Suhu tersebut dianggap optimal untuk tanaman yang paling umum disebagian besar rumah kaca di seluruh dunia. Suhu diluar kisaran ini biasanya akan menyebabkan pertumbuhan lebih lambat atau terhenti dan kualitas tanaman suboptimal. Kelembaban realatif adalah parameter iklim kritis dalam budidaya tanaman apapun. Adapun setpoint kelembaban relatif optimal untuk sebagian besar tanaman adalah 70~80%. Pada tingkat ini, tingkat pertumbuhan tertinggi untuk tanaman rumah kaca pada umumnya [10], [11]. Dalam hal ini maka dibutuhkan sebuah sensor DHT 11 untuk mengidentifikasi suhu dan kelembaban secara otomatis.

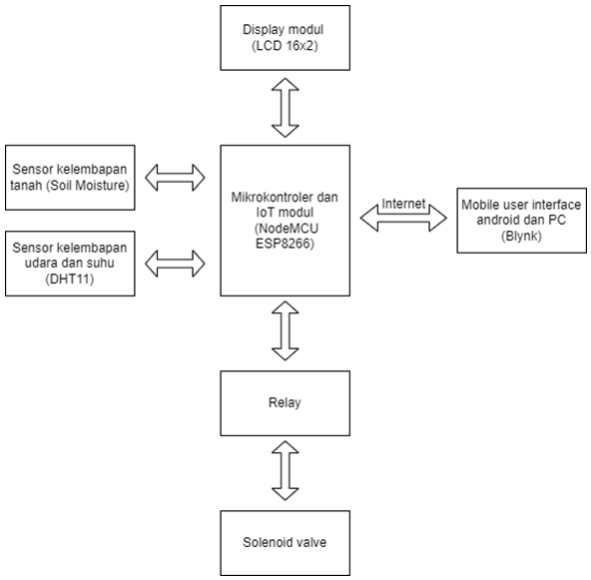


Gambar 2. Identifikasi Masalah

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

2.2. Perancangan Sistem

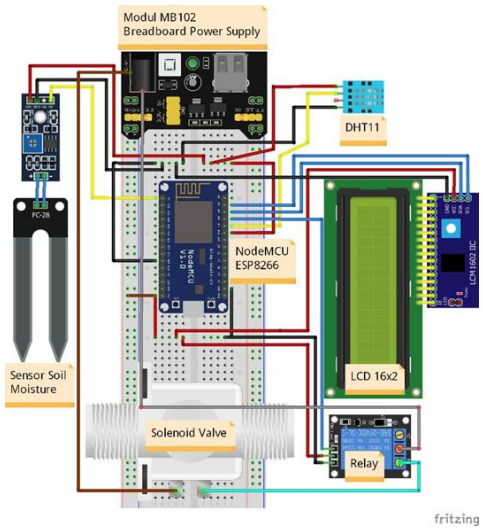
Perencanaan hardware dalam penelitian ini meliputi kontroler NodeMCU ESP8266, sensor kelembaban tanah, DHT11, modul MB102, LCD 16x2, relay, breadboard, adaptor, dan solenoid valve. Perencanaan software menggunakan bahasa pemrograman C dan aplikasi Blynk. Pengujian prototype mencakup pengujian hardware, software, integrasi sistem, dan evaluasi. Sistem mendeteksi kelembaban tanah, udara, dan suhu pada tanaman di Rumah Bibit dengan skala prototype. Langkah pertama pembuatan prototype adalah membuat sistem model, yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Arsitektur Sistem

2.3. Perancangan *Hardware*

Perancangan sistem hardware yang digunakan terdiri dari Papan Mikrokontroler NodeMCU ESP8266, Soil Moisture Sensor, Sensor DHT11, LCD 16x2, Modul MB102 Breadboard Power Supply, Breadboard, Adaptor, Relay, dan Solenoid Valve yang saling terhubung dan terintegrasi dalam satu sistem, ditunjukan dalam bentuk diagram blok pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. *Harware Wiring Diagram*

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

2.4. Perancangan *Software*

Mekanisme otomatisasi penyiraman pada penelitian ini dimulai dengan penggunaan sensor kelembaban tanah(Soil Moisture Sensor) untuk mendeteksi tingkat kelembaban tanah dan sensor DHT11 untuk mengukur suhu serta kelembaban udara. Data yang diperoleh dari sensor ini diolah oleh mikrokontroler NodeMCU ESP8266, yang kemudian mengirimkan data tersebut ke platform IoT Blynk untuk dipantau secara real-time. NodeMCU ESP8266 juga bertugas menerjemahkan data sensor ke dalam logika penyiraman otomatis. Jika kelembaban tanah kurang dari 40%, suhu lebih dari 29°C, atau kelembaban udara kurang dari 70%, Solenoid Valve akan terbuka untuk mengaktifkan penyiraman. Sebaliknya, jika kondisi tersebut tidak terpenuhi, Solenoid Valve akan tetap tertutup.

Sistem ini memiliki dua mode pengoperasian, yaitu manual dan auto. Pada mode manual, pengguna dapat mengontrol Solenoid Valve melalui aplikasi Blynk melalui koneksi internet, dapat diakses oleh pengguna melalui smartphone atau komputer dengan menggunakan tombol virtual. Sementara dalam mode otomatis, Solenoid Valve diatur menyala atau mati secara otomatis berdasarkan parameter setpoint yang telah ditentukan. Perintah ini dikirim melalui server Blynk ke perangkat IoT secara instan, memastikan sistem dapat merespons dengan cepat terhadap perubahan kondisi lingkungan.

2.5. Implementasi *Hardware*

A. *Soil Moisture Sensor*

Sensor ini mendeteksi tingkat kelembaban tanah pada tanaman di Rumah Bibit P2L, lalu mengirimkan data tersebut ke NodeMCU ESP8266 untuk diproses lebih lanjut. Data yang diterima diubah menjadi format digital, kemudian diteruskan ke Solenoid Valve untuk pengoperasian, serta dikirim melalui IoT untuk keperluan pemantauan dan kontrol.

Tabel 1. Identifikasi *Soil Moisture Sensor*

No	Indentifikasi Kelembaban Tanah	Solenoid Valve
1	60% >	Tertutup
2	40% <	Terbuka

B. Sensor DHT11

Sensor ini akan membaca perubahan suhu dan kelembaban udara pada sekitaran tanaman di Rumah Bibit P2L, selanjutnya data diterima oleh NodeMCU ESP8266 untuk selanjutnya diproses, data dirubah menjadi data digital, data dikirim ke Solenoid Valve, dan data dikirim melalui IoT untuk dimonitoring.

Tabel 2. Identifikasi Suhu Sensor DHT11

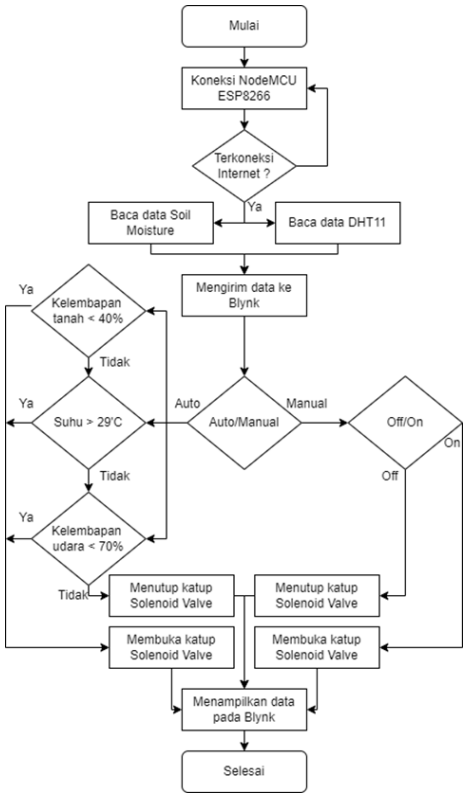
No	Identifikasi Suhu	Solenoid Valve
1	29’C >	Terbuka
2	26’C <	Tertutup

Tabel 3. Identifikasi Kelembaban Udara Sensor DHT11

No	Identifikasi Kelembaban Udara	Solenoid Valve
1	80% >	Tertutup
2	70% <	Terbuka

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

2.6. Implementasi *Software*



Gambar 5. Diagram Alur Program Sistem Penyiraman

Inisialisasi, NodeMCUESP8266 membaca dan mengidentifikasi semua *pin* dan *port.* NodeMCU ESP8266 mencari koneksi yang sudah tersedia, *Soil Moisture Sensor* dan Sensor DHT11 membaca arus dan merubahnya kedalam sinyal digital. Selanjutnya data dikirim ke NodeMCU ESP8266, pilih mode otomatis atau manual, (Mode Otomatis) Jika disalah satu diantara kelembaban tanah < 40%, suhu >29'C, kelembaban udara <70% maka *Solenoid Valve* membuka, jika tidak maka *Solenoid Valve* menutup. (Mode Manual) tombol *on* untuk membuka *Solenoid Valve,* tombol *off* untuk menutup *Solenoid Valve.* Data akan ditampilkan diaplikasi *Blynk* pada *smartphone* maupun *PC.*

2.7. Pengujian Sistem

A. Pengujian *Soil Moisture Sensor*

Proses pengujian dimulai dengan konfigurasi awal sensor, dimana probe sensor ditancapkan ke tanah untuk mendeteksi kelembaban, sementara modul pengendali mengonversi sinyal analog menjadi data yang dapat dibaca oleh mikrokontroler.

Selain itu, kadar air dalam tanah juga divariasikan, mulai dari kondisi kering, lembab, hingga basah. Volume air yang ditambahkan diukur secara presisi untuk mendapatkan hasil pengujian yang akurat. Selama proses ini, sensor dikalibrasi untuk menetapkan nilai kelembaban maksimum (100%) dan minimum (0%), memastikan hasil pengukuran sesuai dengan kondisi tanah sebenarnya.

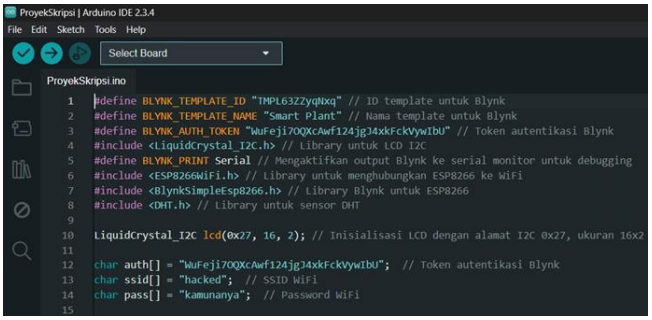
ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

B. Pengujian Sensor DHT11

Pengujian software dilakukan dengan memanfaatkan pustaka seperti “DHT”. Kode program dirancang untuk membaca data dari sensor, lalu menampilkan hasil pembacaan suhu dan kelembaban pada serial monitor atau layar LCD. Pengujian fungsional bertujuan untuk menguji kemampuan sensor dalam mendeteksi perubahan suhu dan kelembaban. Pengujian ini memastikan bahwa data yang diterima dari sensor sesuai dengan yang diharapkan dan kompatibel dengan sistem mikrokontroler.

C. Pengujian Koneksi IoT Blynk

Proses ini diawali dengan konfigurasi awal, di mana informasi jaringan Wi- Fi (SSID dan password) dimasukkan ke dalam kode program melalui Arduino IDE. Autentikasi token yang diperoleh dari aplikasi Blynk juga disertakan untuk menghubungkan perangkat ke server. Setelah itu, program diunggah ke modul NodeMCU melalui USB, dan koneksi dipantau melalui serial monitor untuk memastikan perangkat berhasil terhubung ke jaringan Wi-Fi.



Gambar 6. Kode Program Yang Disesuaikan Dengan Konfigurasi *Blynk*

Langkah berikutnya adalah menguji koneksi ke *server Blynk,* pada tahap ini, perangkat dijalankan untuk memastikan dapat tersambung dengan *server.* Status koneksi berhasil akan muncul di-*serial monitor,* Modul NodeMCU juga diperiksa untuk memastikan mendapatkan IP *Address* dari *Wi-Fi.* Di sisi aplikasi, perangkat dipastikan terdeteksi aktif di *platform Blynk.* Stabilitas koneksi juga diuji dengan membiarkan perangkat terhubung ke *server Blynk* dalam waktu yang lama, seperti 24 jam. Selama pengujian ini, koneksi diamati untuk memastikan tidak ada gangguan atau pemutusan. Tahap terakhir, simulasi penggunaan nyata dilakukan untuk menguji performa sistem dalam skenario sebenarnya. Contohnya, perubahan kondisi sensor yang menghasilkan data berbeda dikirim ke aplikasi *Blynk,* dan perintah kontrol, seperti membuka dan menutup *Solenoid Valve,* direspons oleh sistem.

Hasil pengujian ini memastikan koneksi IoT menggunakan *Blynk* dapat bekerja secara optimal, mendukung implementasi Sistem Penyiraman Otomatis berbasis IoT di Rumah Bibit P2L yang memerlukan pemantauan dan kontrol jarak jauh.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Pengujian Soil Moisture Sensor

Pengujian ini dilakukan sebanyak 15 kali dengan rata-rata error 3,06%. Pengujian ini memberikan jaminan bahwa Soil Moisture Sensor dapat berfungsi dengan andal dalam aplikasi pemantauan kelembaban Tanah.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Tabel 4. Pengujian *Soil Moisture Sensor*

No.	Hasil Pengukuran		Error (%)
	Soil Moisture Sensor (%)	Soil Moisture Meter (%)	
1.	0	0	0
2.	15	16	6,25
3.	24	22	9,09
4.	30	29	3,45
5.	34	35	2,86
6.	43	42	2,38
7.	45	46	2,17
8.	52	50	4
9.	58	57	1,75
10.	62	63	1,59
11.	70	71	1,41
12.	75	76	1,32
13.	81	82	1,22
14.	90	88	2,27
15.	99	96	3,13
Rata-rata Error			3,06

3.2. Hasil Pengujian Sensor DHT11

Pengujian ini dilakukan sebanyak 15 kali dengan rata-rata error 1,23% untuk kelembaban udara dan 2,92% untuk suhu. Pengujian ini memberikan jaminan bahwa sensor DHT11 dapat berfungsi dengan andal dalam aplikasi pemantauan suhu dan kelembaban udara.

Tabel 5. Pengujian Sensor DHT11 (Kelembaban Udara)

No.	Hasil Pengukuran		Error (%)
	Sensor DHT 11 (%)	Higrometer (%)	
1.	76	77	1,30
2.	76	77	1,30
3.	76	77	1,30
4.	77	77	0
5.	77	78	1,28
6.	77	78	1,28
7.	77	78	1,28
8.	63	65	3,08
9.	65	65	0
10.	64	65	1,54
11.	63	65	3,08
12.	65	66	1,52
13.	66	66	0
14.	66	66	0

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

No.	Hasil Pengukuran		Error (%)
	Sensor DHT 11 (%)	Higrometer (%)	
15.	66	67	1,49
	Rata-rata Error		1,23

Tabel 6. Pengujian Sensor DHT11 (Suhu)

No.	Hasil Pengukuran		Error (%)
	Sensor DHT 11 (℃)	Termometer (℃)	
1.	30,5	29,8	2,35
2.	30,6	29,8	2,68
3.	30,5	29,9	2,01
4.	30,7	29,9	2,68
5.	31,2	30	4
6.	31,4	30	4,67
7.	31,6	30,1	4,98
8.	31,9	30,7	3,91
9.	25	24,4	2,46
10.	24,9	24,3	2,47
11.	24,5	24,1	1,66
12.	24,1	23,7	1,69
13.	23,8	23,4	1,71
14.	23,7	23	3,04
15.	23,6	22,8	3,51
	Rata-rata Error		2,92

3.3. Hasil Pengujian Akurasi Pengiriman Data ke *Blink*

Berikut hasil pengujian pengiriman data ke Blynk berdasarkan penjelasan skenario percobaan yang ada dibab 3.2.7 dan pengujian ini dilakukan sebanyak 15 kali dengan rata-rata error 0%. Pengujian ini memberikan jaminan bahwa data dari sensor ke aplikasi Blynk sesuai dan real-time dalam aplikasi pemantauan suhu dan kelembaban udara dan tanah.

Tabel 7. Pengujian Akurasi Pengiriman Data *Real-time* Sensor ke *Blynk*

No.	Hasil Pengukuran Sensor			Data Tampilan Blynk			Interval (Sec)	Error (%)
	Suhu (℃)	Humidity (%)	Soil Moisture (%)	Suhu (℃)	Humidity (%)	Soil Moisture (%)		
1.	31	79	100	31	79	100	1s	0
2.	31	79	100	31	79	100	1s	0
3.	31	79	100	31	79	100	1s	0
4.	31	79	100	31	79	100	1s	0
5.	31	79	100	31	79	100	1s	0
6.	31	79	100	31	79	100	1s	0
7.	31	79	100	31	79	100	1s	0
8.	31	79	100	31	79	100	1s	0

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

No.	Hasil Pengukuran Sensor			Data Tampilan Blynk			Interval (Sec)	Error (%)
	Suhu (°C)	Humidity (%)	Soil Moisture (%)	Suhu (°C)	Humidity (%)	Soil Moisture (%)		
9.	31	79	100	31	79	100	1s	0
10.	31	79	100	31	79	100	1s	0
11.	31	79	100	31	79	100	1s	0
12.	31	79	100	31	79	100	1s	0
13.	31	79	100	31	79	100	1s	0
14.	31	79	100	31	79	100	1s	0
15.	31	79	100	31	79	100	1s	0
Rata-rata Error								0

3.4. Hasil Pengujian Keseluruhan Sistem

Proses pengujian sistem secara keseluruhan melibatkan integrasi hardware dan software yang dioperasikan oleh mikrokontroler, dengan koneksi IoT menggunakan aplikasi Blynk sebagai platform pengendali, serta dilakukan secara real-time selama 12 jam di Rumah Bibit P2L untuk memverifikasi keandalan sistem dalam menyiram tanaman secara otomatis berdasarkan parameter yang telah ditentukan, seperti kelembaban tanah, udara dan suhu.



Gambar 7. Instalasi Alat di Rumah Bibit P2L

Ketika pertama kali alat dinyalakan maka alat akan mengidentifikasi sistem IoT serta terkoneksi dengan aplikasi Blynk dan jika sudah berhasil koneksi sistem IoT, maka selanjutnya alat akan mengidentifikasi kelembaban tanah, udara dan suhu ruangan dan data hasil identifikasi akan ditampilkan pada LCD alat dan pengguna juga dapet memantau dan mengontrolnya menggunakan aplikasi Blynk pada smartphone maupun personal computer (PC).



Gambar 8. Tampilan Data Pada LCD

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Sistem alat ini mempunyai dua mode yaitu mode manual dan mode otomatis, adapun pertama kali alat dinyalakan maka sistem langsung memulai mode manual dimana melakukan penyiraman harus menekan tombol on/off melalui aplikasi Blynk untuk membuka dan menutup Solenoid Valve. Hasil pengujian sistem identifikasi data pada mode manual bisa dilihat pada Tabel 8 berikut.

Tabel 8. Hasil Pengujian Sistem Identifikasi Mode Manual

No.	Kelembaban Tanah	Kelembaban Udara	Suhu	Solenoid Valve	Tombol On/Off	Keterangan
1.	100 %	55 %	34°C	Terbuka	On	Berhasil
2.	94 %	55 %	34°C	Tertutup	Off	Berhasil



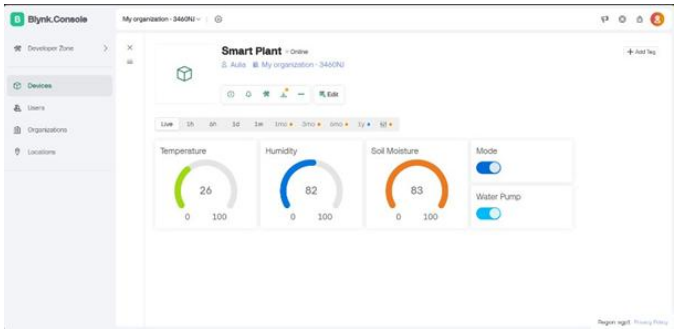
Gambar 9. Tampilan Aplikasi *Blynk Smartphone* Dalam Mode Manual

Adapun mode otomatis akan melakukan penyiraman apabila parameter yang ditentukan telah terpenuhi dan tidak bisa menekan tombol on/off Solenoid Valve manual di mode otomatis. Pengujian sistem identifikasi kelembaban tanah, udara dan suhu pada mode otomatis dilakukan selama 12 jam di Rumah Bibit P2L, hasil pengujian sistem identifikasi data pada mode otomatis bisa dilihat pada Tabel 9 berikut.

Tabel 9. Hasil Pengujian Sistem Identifikasi Mode Otomatis

No	Waktu	Lembab tanah	Lembab udara	Suhu	Solenoid Valve		Keterangan Sesuai/Tidak
					Realita	Seharusnya	
1.	06:00	68%	97%	28°C	Tertutup	Tertutup	Sesuai
2.	07:00	66%	95%	27°C	Tertutup	Tertutup	Sesuai
3.	08:00	75%	93%	28°C	Tertutup	Tertutup	Sesuai
4.	09:00	72%	90%	30°C	Terbuka	Terbuka	Sesuai
5.	10:00	79%	88%	32°C	Terbuka	Terbuka	Sesuai
6.	11:00	77%	85%	31°C	Terbuka	Terbuka	Sesuai
7.	12:00	83%	82%	33°C	Terbuka	Terbuka	Sesuai
8.	13:00	85%	80%	34°C	Terbuka	Terbuka	Sesuai
9.	14:00	82%	78%	30°C	Terbuka	Terbuka	Sesuai
10.	15:00	90%	77%	28°C	Tertutup	Tertutup	Sesuai
11.	16:00	87%	80%	27°C	Tertutup	Tertutup	Sesuai
12.	17:00	95%	85%	27°C	Tertutup	Tertutup	Sesuai

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 10. Tampilan Data Pada Aplikasi *Blynk* PC Dalam Mode Otomatis

3.5. Pembahasan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini dapat mendeteksi kelembaban tanah, suhu, dan kelembaban udara secara akurat. Sensor kelembaban tanah (Soil Moisture Sensor) memberikan rata-rata error sebesar 3,06% yang menunjukkan bahwa alat ini mampu mendeteksi kadar air tanah dengan baik dalam berbagai kondisi, mulai dari tanah kering hingga basah. Hal ini penting untuk memastikan bahwa tanaman mendapatkan jumlah air yang optimal sesuai kebutuhannya.

Selain itu, sensor suhu dan kelembaban udara (DHT11) juga memberikan performa yang memuaskan dengan rata-rata error sebesar 2,92% untuk suhu dan 1,23% untuk kelembaban udara. Sensor ini mampu memberikan pembacaan yang konsisten dalam berbagai kondisi lingkungan. Data yang diperoleh dari sensor- sensor ini ditampilkan secara real-time melalui aplikasi Blynk, memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi tanaman dan lingkungan secara mudah dan efisien.

Konektivitas IoT yang menggunakan platform Blynk terbukti andal selama pengujian. Sistem berhasil mempertahankan koneksi yang stabil selama 24 jam tanpa gangguan. Data yang dikirimkan dari sensor ke aplikasi Blynk terbukti akurat, dengan rata-rata error 0%. Hal ini memastikan bahwa sistem dapat diandalkan untuk pemantauan dan kontrol jarak jauh, terutama pada mode manual dan otomatis. Mode manual memberikan fleksibilitas bagi pengguna untuk mengontrol penyiraman melalui tombol di aplikasi Blynk, sedangkan mode otomatis menjalankan penyiraman sesuai parameter yang telah ditentukan, seperti kelembaban tanah <40%, suhu >29°C, dan kelembaban udara <70%.

4. Kesimpulan

Setelah melakukan beberapa pengujian hasil yang dapat disimpulkan yaitu sistem berhasil berfungsi dengan baik dalam dua mode, yaitu mode manual dan otomatis dengan tingkat keberhasilan 100%. Kemudian, sensor kelembaban tanah (Soil Moisture Sensor) memiliki akurasi yang baik dengan rata-rata error sebesar 3,06%, sementara sensor suhu dan kelembaban udara (DHT11) menunjukkan rata- rata error masing-masing sebesar 2,92% untuk suhu dan 1,23% untuk kelembaban udara. Dan, konektivitas IoT menggunakan aplikasi Blynk menunjukkan performa yang stabil selama pengujian, dengan data yang dikirimkan dari sensor ke aplikasi memiliki tingkat error 0%. Hal ini memastikan bahwa sistem dapat dioperasikan secara efektif untuk memantau dan mengontrol penyiraman tanaman dari jarak jauh.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Tim SENTER X 2025 yang telah meluangkan waktu untuk membuat dan menyediakan template penulisan ini untuk digunakan sebagai referensi saat menyusun laporan dan penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada seluruh

pihak yang telah membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung selama proses penyusunan laporan dan penelitian ini. Semoga bantuan, dukungan serta kebaikan yang diberikan dibalas dengan sewajarnya.

Referensi

[1] "Badan Pangan Nasional - Pekarangan Pangan Lestari (P2L)" - Blog. Accessed: Jun. 12, 2024. [Online].
[2] Juknis P2L Tahun Anggaran 2020.
[3] E. Alfonsius et al., "Sistem Monitoring Dan Kontroling Prototype Penyiram Tanaman Otomatis Berbasis Iot (Internet Of Things)", 2024. [Online].
[4] M. I. R. Stiawan and Z. A. I. Supardi, "Smart Farming-Merancang Alat Penyiram Tanaman Otomatis Berbasis Kelembaban Tanah Dan Waktu Menggunakan Mikrokontroler Esp32", Inovasi Fisika Indonesia, vol. 13, no. 3, pp. 124–132, 2024.
[5] H. Basri, "Implementasi Sistem Irigasi Cerdas Berbasis IoT dan Machine Learning pada Pembibitan Pala di Papua Barat".
[6] P. Hasan Putra and I. Dhitisari, "Inovasi Smart Farming Optimalisasi Bawang Merah Hidroponik Berbasis Iot Dan Machine Learning", 2024. [Online].
[7] M. F. Anggarda, I. Kustiawan, D. R. Nurjanah, and N. F. A. Hakim, "Pengembangan Sistem Prediksi Waktu Penyiraman Optimal pada Perkebunan": Pendekatan Machine Learning untuk Peningkatan Produktivitas Pertanian, Jurnal Budidaya Pertanian, vol. 19, no. 2, pp. 124–136, Dec. 2023, doi: 10.30598/jbdp.2023.19.2.124.
[8] Top 10 Greenhouse Gardening Mistakes – Eartheasy. Accessed: Jan. 09, 2025. [Online].
[9] How to Keep Your Greenhouse From Overheating? Accessed: Jan. 09, 2025. [Online].
[10] Ideal Greenhouse Temperature And Humidity | Atlas Scientific. Accessed: Dec. 17, 2024. [Online].
[11] Optimal Humidity and Temperature for Greenhouse Growing - DryGair. Accessed: Dec. 17, 2024. [Online].

ID: 34

Pembangkit Listrik Tenaga Surya Portabel dengan Kontroler PID

Arduino-Based Portable Solar Power Plant with PID Controller

Dickyansyah Ramadhan[1], Abdillah Ramadhan[2*], Sugeng[3], Setyo Supratno[4], Fatimah Dian Ekawati[5]
[1,2,3,4,5] Department of Electrical Engineering, Universitas Islam 45 Bekasi
Jl. Cut Mutia No.83, Margahayu, Kec. Bekasi Timur, Kota Bekasi, Jawa Barat 17113, (021) 8808851
dickyansyahramadhan12@gmail.com[1], abdihrrrr@gmail.com[2], sugeng@unismabekasi.ac.id [3], setyo@unismabekasi.ac.id[4], dianeka@unismabekasi.ac.id[5]

Abstrak – *Energi matahari merupakan solusi potensial untuk mengatasi krisis energi dan dampak lingkungan dari bahan bakar fosil. Namun, fluktuasi intensitas matahari memerlukan teknologi yang stabil. Penelitian ini mengembangkan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) portabel berbasis Arduino Uno dengan sistem kontrol PID untuk menjaga stabilitas tegangan keluaran inverter. Hasil pengujian menunjukkan sensor PZEM-004T memiliki margin error ±0,50% untuk tegangan dan ±1,88% untuk arus. Sistem PID mencapai setpoint tegangan dalam waktu 3-6 detik tergantung beban. Sistem proteksi inverter juga bekerja secara optimal dengan tingkat keberhasilan 100% dalam berbagai skenario pengujian, seperti perlindungan terhadap Cos φ, hubung singkat, dan tegangan rendah, dengan waktu respon berkisar antara 403 ms hingga 2020 ms. Pada pengujian kontinu lima hari, tegangan keluaran stabil pada 220 volt AC dengan efisiensi rata-rata 79,61% dan durasi penggunaan 77,1 menit. Sistem ini memiliki kapasitas daya maksimum 200 VA, mendukung efisiensi dan keberlanjutan energi terbarukan.*

Kata Kunci*: PLTS portabel, Arduino Uno, sistem kontrol PID, Inverter, PZEM-004T.*

Abstract – *Solar energy is a potential solution to overcome the energy crisis and the environmental impact of fossil fuels. However, fluctuations in solar intensity require stable technology. This research develops a portable solar power generator (PLTS) based on Arduino Uno with a PID control system to maintain the stability of the inverter output voltage. Test results show that the PZEM-004T sensor has a margin of error of ±0.50% for voltage and ±1.88% for current. The PID system reaches the voltage setpoint within 3-6 seconds depending on the load. The inverter protection system also works optimally with a success rate of 100% in various test scenarios, such as protection against Cos φ, short circuit and low voltage, with response times ranging from 403 ms to 2020 ms. In five days of continuous testing, the output voltage was stable at 220 volts AC with an average efficiency of 79.61% and a usage duration of 77.1 minutes. This system has a maximum power capacity of 200 VA, supporting the efficiency and sustainability of renewable energy.*

Keywords*: Portable Solar Power Plant (PLTS), Arduino Uno, PID Control System, Inverter, PZEM-004T*

1. Pendahuluan

Pada era modern, kebutuhan akan energi terbarukan dan ramah lingkungan semakin meningkat seiring kesadaran terhadap dampak negatif bahan bakar fosil serta keterbatasan sumber daya alam [1]. Indonesia memiliki potensi besar dalam energi laut, panas bumi, bioenergi, air, angin, dan surya, namun pemanfaatannya masih terbatas akibat kendala infrastruktur, regulasi, dan investasi [2].

Energi surya sebagai sumber utama PLTS memanfaatkan sel Photovoltaic (PV) untuk mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik. Namun, produksi energi panel surya sangat

dipengaruhi intensitas cahaya, sehingga diperlukan sistem yang mampu menjaga stabilitas dan kontinuitas daya [3], [4].

Penelitian ini mengembangkan PLTS portabel berbasis Arduino Uno yang dilengkapi sistem kontrol PID guna menstabilkan tegangan keluaran inverter. Sistem ini diharapkan mampu mengatasi fluktuasi energi dari panel surya serta meningkatkan keandalan dan keberlanjutan energi portabel [5], [6].

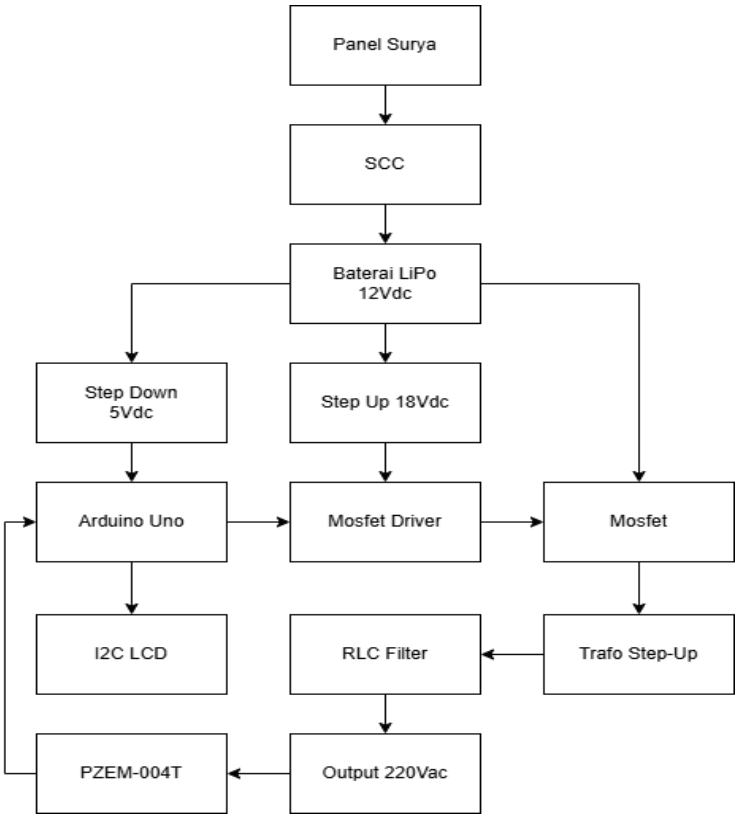
Sebagai pembaruan dari penelitian sebelumnya oleh Maghfiroh (2021) tentang *Single Phase Inverter with Power Monitoring using Arduino* dan Rachwanto (2022) tentang *Implementasi Inverter Berbasis Square Wave dan Sinusoidal PWM Menggunakan Arduino Uno*, penelitian ini berfokus pada perbaikan kestabilan tegangan output inverter pada sistem PLTS portabel.

2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini. Objek yang akan diteliti berfokus utama yaitu untuk menciptakan sistem PLTS portabel yang memiliki kemampuan menstabilkan *output* arus ac. Penelitian PLTS portabel ini menggunakan inverter berbasis arduino uno, beserta sistem kontrol PID dengan sensor tegangan dan arus ac PZEM-004T sebagai feedback untuk sistem PID.

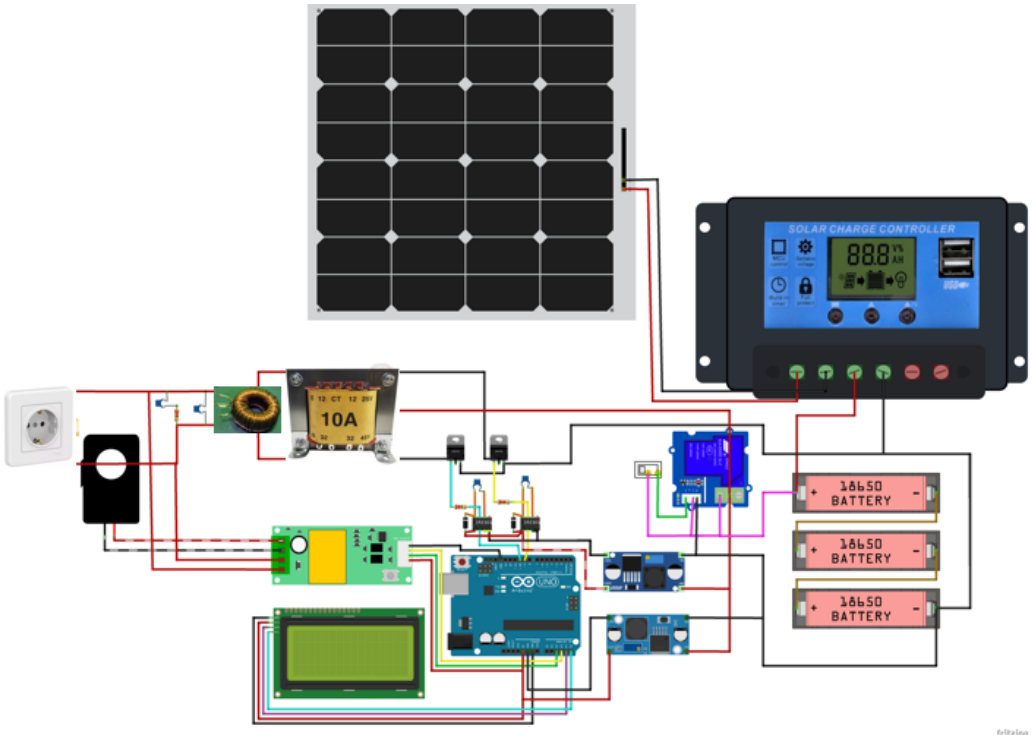
2.1. Perancangan Sistem

Pada tahap ini perancangan alat yang dilakukan yaitu agar mempermudah dalam penyelesaian penelitian. Perancangan sistem dibuat dalam bentuk blok diagram.



Gambar 1. Diagram Perancangan Sistem

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 2. Perancangan Hardware

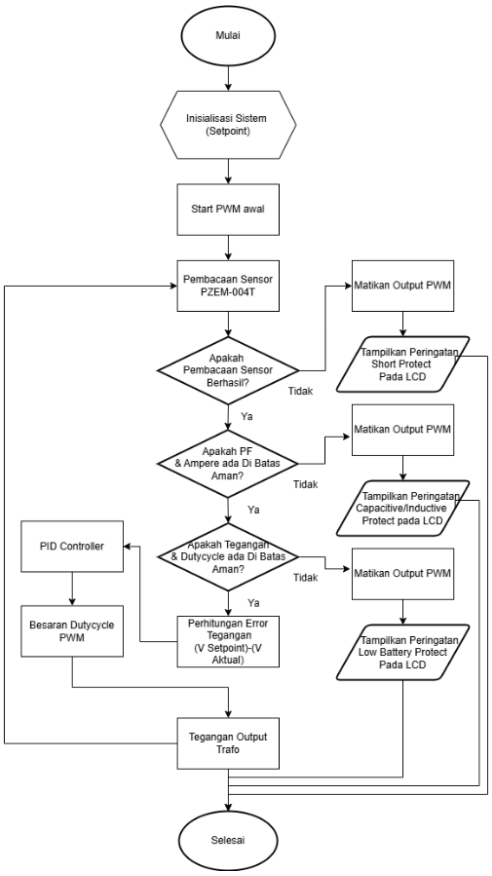
Dalam pembuatan PLTS portabel berbagai komponen diperlukan untuk membentuk sistem, seperti panel surya yang berfungsi untuk merubah radiasi matahari menjadi energi listrik, lalu *Solar Charge Control* berfungsi untuk mengatur arus pengisian yang mengalir ke baterai, baterai berguna untuk menyimpan energi yang dihasilkan panel surya, listrik dari baterai masih berbentuk DC untuk merubahnya dibutuhkan inverter DC *to* AC. Inverter ini dirancang menggunakan mikrocontroller berjenis arduino uno, dengan sistem pembangkitan PWM Squarewave, yang akan diumpankan ke mosfet melalui mosfet driver untuk memperkuat sinyal PWM tersebut, kemudian output mosfet tersebut akan diumpankan ke transformer step-up, merubah tegangan yang awalnya DC menjadi AC sekaligus menaikan tegangannya ke 220 volt AC. Sensor arus dantegangan PZEM-004T digunakan untuk memantau tegangan dan arus output trafo, lalu mengirimkan informasi tersebut ke arduino nano untuk diolah oleh sistem kendali PID, guna mengatur besaran dutycycle yang akan diumpankan ke mosfet, yang akan menstabilkan tegangan output trafo atau inverter DC *to* AC pada setpoint yaitu 220 volt AC. Dengan ini output 220 volt AC dari PLTS portabel siap dibebankan ke beban arus AC

2.2. Perancangan Software

Kontrol utama pada PLTS portabel ini menggunakan Arduino uno yang digunakan untuk mengatur sinyal keluaran PWM yang diumpankan ke mosfet dan mengatur kerja sensor serta menjalankan algoritma program dari sistem kontrol PID yang akan menstabilkan tegangan output inverter pada PLTS portabel. Arduino membutuhkan perangkat lunak untuk memasukan kode program ke dalam memori, dengan begitu software seperti Arduino IDE menjadi pilihan utama dalam memprogram dan mengupload hasil program ke Arduino uno. Kode program mencakup inisialisasi perangkat keras, pembacaan data sensor, perhitungan PID, dan pengendalian lebar duty cycle yang diumpankan ke mosfet, untuk mengatur tegangan output inverter tetap berada pada setpoint yang telah ditentukan. Kode program juga mencakup sistem proteksi dasar seperti disaat sensor gagal; membaca maka output PWM akan dimatikan, hal ini berguna untuk

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

memproteksi disaat ada kesalahan saat pengujian. Pengujian software juga dilakukan untuk memastikan semua fungsi berjalan sesuai rancangan.



Gambar 3. Flowchart Program

2.3. Pengujian Sistem

Ada 2 hal yang akan menjadi fokus pengujian, yaitu akurasi sensor dan sistem kendali PID.

A. Pengujian Sensor

Keakuratan sensor arus dan tegangan PZZEM-004T akan menentukan keberhasilan sistem Kendali PID pada penelitian ini, parameter utama yang akan diuji dalam pengujian sensor, yaitu pembacaan tegangan AC, standarisasi tegangan listrik rumahan dari PLN adalah 220 volt AC, pengujian akan dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan dari sensor PZEM-004T dengan pembacaan dari avo meter lalu memperhitungkan margin errornya.

B. Pengujian Control PID

Pengujian sistem kendali PID dilakukan dengan menggunakan setpoint standarisasi dari PLN yaitu 220volt AC yang diatur secara tetap di dalam mikrokontroller, serta komponen pendukung seperti mosfet, driver, dan trafo, dan sensor arus dan tegangan PZEM-004T. Pada tahap ini, pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sistem kendali dapat mempertahankan tegangan output pada inverter sesuai setpoint walaupun beban yang di bebankan pada output inverter berbeda-beda, pengujian ini baru bisa dilakukan setelah inverter selesai dibuat, bertujuan untuk keamanan saat pengujian, pengujian dilakukan dengan cara mengambil data daya input dan daya output inverter dengan data logger dan diolah menjadi grafik dengan bantuan microsoft excel,

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

pengujian ini dibagi menjadi 2 kategori yaitu. Pertama yaitu pengujian waktu singkat dengan berbagai beban yang akan dilakukan dengan mengambil data baik dari daya input maupun output inverter, pengambilan data memiliki sampling sebanyak 5 data perdetik, untuk melihat berapa waktu yang dibutuhkan sistem PID untuk mencapai setpoint untuk masing-masing beban. Kedua yaitu pengujian berkala yang dilakukan selama 5 hari dengan 2 kali pengambilan data setiap harinya baik dari daya input maupun output inverter dengan sampling 1 data per 5 detik.'

2.4. Metode Pengambilan dan Analisis Data

Metode pengambilan data pada penelitian ini adalah menguji kinerja sistem. Data akan diambil dari pembacaan sensor PZEM-004T. kemudian untuk mendapatkan data digunakan sebuah software data logger yang akan terhubung ke mikrokontroller dan mengambil data tersebut kedalam bentuk file .txt kemudian data tersebut akan diolah dengan Ms.excel untuk mendapatkan bentuk grafik dan nilai rata-rata dari data yang diambil.

Analisis data dalam penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif, yaitu dengan mengolah hasil pengukuran yang telah terkumpul menjadi bentuk grafik dan tabel untuk kemudian dianalisis secara numerik.

Data yang diperoleh dari sensor digunakan untuk menilai tiga aspek utama:

1. Respon sistem kendali PID, untuk mengetahui kecepatan sistem dalam mencapai kestabilan tegangan terhadap perubahan beban.
2. Efisiensi PLTS portabel, untuk mengukur kemampuan sistem dalam mengonversi energi dari panel surya hingga menjadi keluaran listrik AC.
3. Akurasi sensor, dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur standar guna mengetahui tingkat kesalahan pengukuran.

Selain itu, dilakukan juga analisis waktu pengisian dan pengosongan baterai guna mengevaluasi performa sistem penyimpanan energi. Hasil dari seluruh pengujian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik agar memudahkan pembacaan pola perubahan data serta kesimpulan terhadap kinerja keseluruhan sistem PLTS portabel.

3. Hasil dan Pembahasan

Dalam penelitian ini, ada lima parameter utama yang diuji untuk melihat kinerja sistem ini termasuk pengujian sensor tegangan dan arus baik itu AC maupun DC untuk memastikan ke akuratan data yang diambil dalam penelitian ini, selain itu pengujian dilakukan pada sistem kendali PID, karakteristik pengisian daya dan juga effisiensi inverter. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan akurasi dari sensor, efisiensi konversi energi, dan kinerja sistem kendali PID dalam menstabilkan output inverter.

3.1. Pengujian Sensor

Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa alat bekerja dengan baik dan sesuai dengan rancangan yang diharapkan. Pengukuran dilakukan masing-masing sebanyak 10 kali lalu membandingkan hasil pengukuran dengan pengukuran alat ukur avometer untuk mendapatkan margin error dari sensor. Pengujian dilakukan untuk mengetahui fungsi dan karakteristik sensor agar dapat dimanfaatkan secara optimal dalam pembuatan sistem kontrol PID pada inverter yang digunakan pada PLTS portabel berbasis arduino uno.

A. Tegangan dan Arus Sensor

Sensor tegangan dan arus AC PZEM-004T digunakan untuk mengukur tegangan dan arus yang berjenis *Alternate Current* (AC). Pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan dan arus

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

output dari inverter PLTS portabel, lalu membandingkannya dengan pengukuran pada alat ukur AVOmeter.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Sensor Tegangan AC

Nomor	AC Sensor Volt	(Alat ukur)	Error
1	220.5	220	-0.23%
2	220.6	220	-0.27%
3	220.2	219	-0.55%
4	220.8	221	0.09%
5	220	219	-0.46%
6	219.8	219	-0.37%
7	216.4	216	-0.19%
8	214.8	214	-0.37%
9	211.2	210	-0.57%
10	208.4	207	-0.68%
11	200.9	199	-0.95%
12	236.5	236	-0.21%
13	241.9	241	-0.37%
14	162.5	161	-0.93%
15	150.8	149	-1.21%
Rata-rata			+/- 0.50%

Tabel 2. Hasil Pengukuran Sensor Arus AC

Nomor	AC Sensor Amp	(Alat ukur)	Error
1	0.06	0.057	-5.26%
2	0.06	0.058	-3.45%
3	0.09	0.088	-2.27%
4	0.12	0.118	-1.69%
5	0.20	0.198	-1.01%
6	0.11	0.108	-1.85%
7	0.14	0.138	-1.45%
8	0.15	0.148	-1.35%
9	0.16	0.158	-1.27%
10	0.17	0.168	-1.19%
11	0.19	0.187	-1.60%
12	0.24	0.237	-1.27%
13	0.50	0.491	-1.83%
14	1.04	1.056	1.52%
15	0.82	0.810	-1.23%
Rata-rata			+/- 1.88%

B. Tegangan dan Arus Sensor

Sensor tegangan dan arus DC, ACS digunakan untuk mengukur tegangan dan arus yang berjenis *Direct Current* (DC). Pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan dan arus input

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

dari inverter PLTS portabel, lalu membandingkannya dengan pengukuran pada alat ukur AVOmeter.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Sensor Tegangan DC

Nomor	DC Sensor Volt	(Alat ukur)	Error
1	12.40	12.38	-0.16%
2	12.24	12.25	0.08%
3	12.13	12.12	-0.08%
4	12.05	12.02	-0.25%
5	11.96	11.93	-0.25%
6	11.88	11.86	-0.17%
7	11.76	11.74	-0.17%
8	11.66	11.63	-0.26%
9	11.46	11.43	-0.26%
10	11.23	11.20	-0.27%
11	11.08	11.05	-0.27%
12	10.96	10.94	-0.37%
13	10.78	10.75	-0.56%
14	10.50	10.48	-0.96%
15	10.20	10.18	-0.99%
Rata-rata			+/- 0.34%

Tabel 3. Hasil Pengukuran Sensor Arus DC

Nomor	DC Sensor Amp	(Alat ukur)	Error
1	0.95	0.96	1.04%
2	1.04	1.06	1.89%
3	1.42	1.43	0.70%
4	1.83	1.90	1.08%
5	2.10	2.18	0.94%
6	2.64	2.59	-1.93%
7	2.85	2.90	1.72%
8	3.06	3.10	1.29%
9	3.68	3.73	1.34%
10	4.11	4.23	1.20%
11	5.54	5.65	1.25%
12	6.78	6.84	1.02%
13	9.67	9.75	0.82%
14	10.23	10.30	0.68%
15	11.43	11.51	0.70%
Rata-rata			+/- 1.17%

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

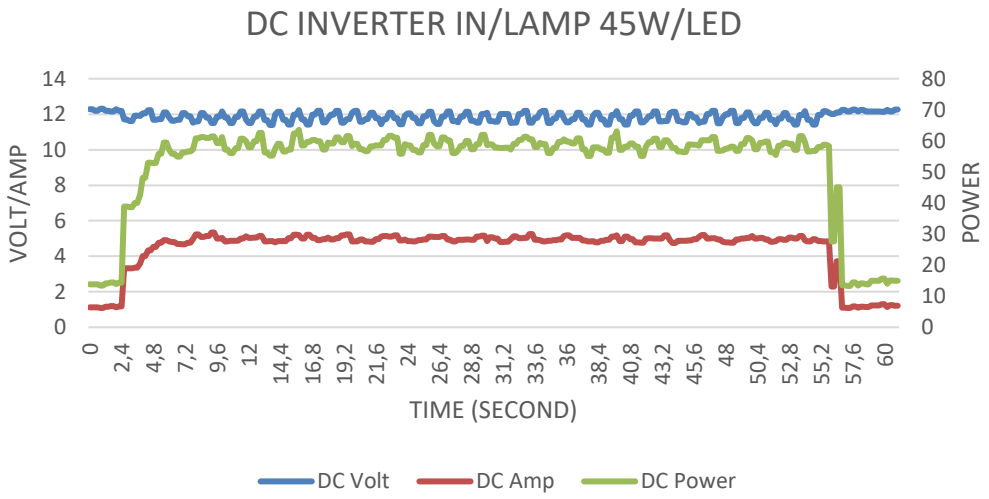
3.2. Pengujian Kerja PID

Pengujian dilakukan untuk memastikan kinerja dari sistem kontrol PID bekerja dengan baik sesuai yang diharapkan. Pengujian dilakukan dengan kondisi pemakaian PLTS portabel secara kontinyu, yaitu pemakaian energi bersamaan dengan pengisian energi . Pengambilan data sensor dilakukan dengan sistem data logger, dengan menggunakan software seperti serial monitor Arduino IDE, data yang didapat lalu diolah dengan Ms.Excel untuk mendapatkan grafik dari respon sistem kendali PID, terdapat 2 jenis pengujian, yaitu Pertama pengujian singkat yang hanya mengambil sampel saat sistem kendali PID menstabilkan tegangan output inverter yang dibebani berbagai macam peralatan elektronik dan Pengujian kedua, yaitu pengujian menggunakan beban berupa kipas angin 45 watt selama 5 hari, waktu pengujian 1 pada pukul 10-12 dan pengujian 2 pada waktu 14-16.

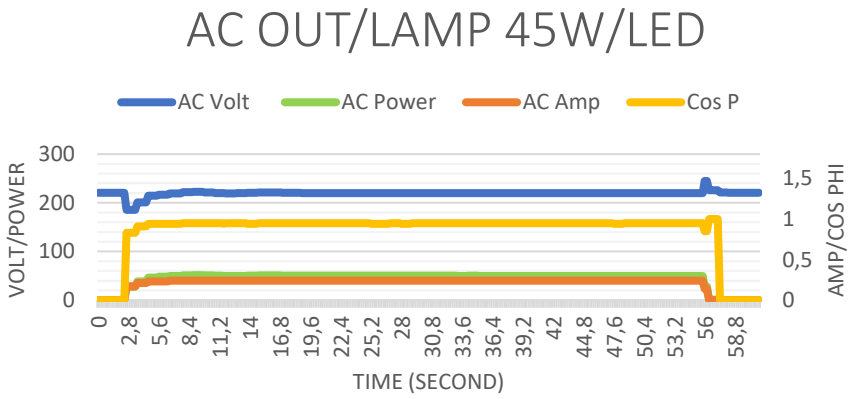
A. Pengujian Singkat

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan beban, yaitu lampu 45 watt dan kipas 45 watt, berikut grafik dari hasil pengujian.

- Lampu 45 watt



(a)



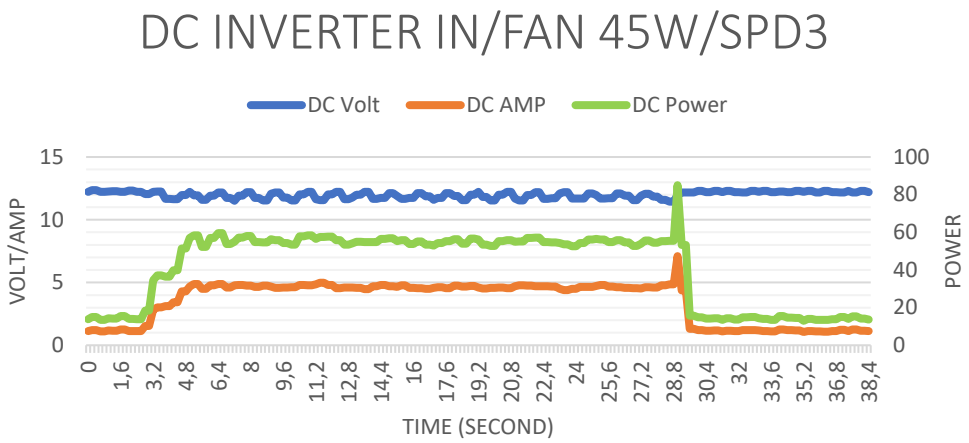
(b)

Gambar 4. Grafik 1. Pengujian Respon Lampu Led 45 watt (a)DC input, (b)AC output

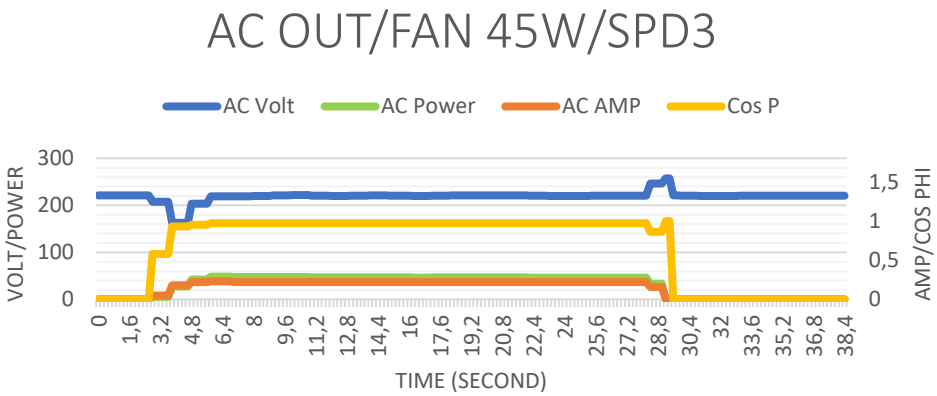
ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Grafik 1. (a) menunjukan penggunaan energi DC pada saat sistem PID menstabilkan tegangan, (b) menunjukan respon sistem PID terhadap beban lampu led 45 watt, dimana sistem PID berhasil mencapai setpoint dalam waktu 3 detik.

- Kipas 45 watt



(a)



(b)

Gambar 5. Grafik 2. Pengujian Respon Kipas 45 watt (a)DC input, (b)AC output

Grafik 2. (a) menunjukan penggunaan energi DC pada saat sistem PID menstabilkan tegangan, (b) menunjukan respon sistem PID terhadap beban kipas 45 watt, dimana sistem PID berhasil mencapai setpoint dalam waktu 3 detik.

B. Pengujian Selama 5 Hari

Tabel 3. Hasil Pengujian Efisiensi PLTS Portabel

Efisiensi / Hari Ke-	Pengujian 1	Pengujian 2	Rata-Rata /Hari
1	81,30%	79,54%	80,42%
2	79,50%	77,20%	78,35%

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Efisiensi / Hari Ke-	Pengujian 1	Pengujian 2	Rata-Rata /Hari
3	81,70%	79,60%	80,65%
4	82,20%	83,30%	82,75%
5	75,35%	76,44%	75,90%
Rata-rata			79,61%

Pada Tabel 3. dapat dilihat bahwa hasil pengujian efisiensi PLTS portabel menunjukkan variasi nilai efisiensi setiap harinya selama lima hari pengujian. Pengujian dilakukan dua kali setiap hari, yaitu pada pagi dan siang hari, dengan menggunakan beban tetap berupa kipas angin 45 watt. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai efisiensi tertinggi pada hari ke-4 sebesar 82,75%, sedangkan efisiensi terendah terjadi pada hari ke-5 sebesar 75,90%. Nilai efisiensi rata-rata harian selama lima hari pengujian berada pada kisaran 75% hingga 83%, dengan rata-rata keseluruhan sebesar 79,61%.

Perbedaan nilai efisiensi ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain kondisi intensitas cahaya matahari yang mempengaruhi daya pengisian baterai, tingkat beban inverter saat pengujian, serta performa baterai setelah penggunaan berulang. Secara umum, nilai rata-rata efisiensi sebesar 79,61% menunjukkan bahwa sistem inverter dan kendali PID pada PLTS portabel telah bekerja dengan baik dalam proses konversi energi dari sumber DC 12 volt menjadi AC 220 volt, meskipun masih terdapat rugi-rugi daya pada proses konversi yang tidak dapat dihindari.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, tujuan utama yang disampaikan pada Bab Pendahuluan, yaitu mengembangkan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) portabel berbasis Arduino Uno yang dilengkapi sistem kendali PID untuk menstabilkan tegangan keluaran inverter, telah tercapai dengan baik. Sistem kendali PID mampu menjaga kestabilan tegangan pada setpoint 220 volt AC dengan waktu respon yang cepat, yaitu antara 3 hingga 6 detik, menyesuaikan dengan perubahan beban. Sensor PZEM-004T yang digunakan dalam sistem ini juga terbukti akurat, dengan margin error hanya ±0,50% untuk tegangan dan ±1,88% untuk arus, sehingga dapat diandalkan untuk memberikan umpan balik yang presisi dalam proses pengendalian.

Hasil pengujian selama lima hari menunjukkan bahwa sistem PLTS portabel mampu bekerja secara stabil dengan rata-rata efisiensi 79,61%, menandakan bahwa proses konversi energi dari sumber DC menjadi AC telah berjalan efektif meskipun terdapat variasi intensitas cahaya matahari dan perubahan beban. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan telah berhasil menjawab permasalahan utama yang disampaikan pada pendahuluan, yaitu menjaga stabilitas dan kontinuitas daya pada sistem energi surya portabel.

Keberhasilan penelitian ini juga membuka peluang pengembangan lebih lanjut, seperti peningkatan kapasitas daya dan efisiensi sistem, penggunaan panel surya dan baterai dengan spesifikasi lebih tinggi, serta penerapan kendali adaptif atau berbasis kecerdasan buatan (AI) untuk mempercepat respon sistem terhadap perubahan kondisi lingkungan. Selain itu, PLTS portabel ini berpotensi diterapkan dalam berbagai kebutuhan lapangan, seperti penyediaan energi di daerah terpencil, kegiatan luar ruangan, maupun sistem cadangan energi darurat, sehingga berkontribusi terhadap upaya pengembangan energi terbarukan yang berkelanjutan dan mandiri

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Referensi

[1] V. Dwisari, "Pemanfaatan Energi Matahari: Masa Depan Energi Terbarukan," 2023.
[2] S. Arum dan K. Jati, "Dinamika Hukum Dalam Pengembangan Energi Baru Terbarukan Di Indonesia: Tinjauan Terhadap Aspek Regulasi Dan Implementasinya Dalam Pembangunan Infrastruktur Energi Berkelanjutan (Legal Dynamics in The Development of New Renewable Energy in Indonesia: A Review of Regulatory Aspects and its Implementation in Sustainable Energy Infrastructure Development)," *Jurnal Legal Reasoning*, vol. 6, no. 2, hlm. 89–101, 2024.
[3] M. Y. Puriza, W. Yandi, dan A. Asmar, "Perbandingan Efisiensi Konversi Energi Panel Surya Tipe Polycrystaline dengan Panel Surya Monocrystaline Berbasis Arduino di Kota Pangkalpinang," *Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering)*, vol. 8, no. 1, hlm. 47–52, Apr 2021, doi: 10.33019/jurnalecotipe.v8i1.2034.
[4] T. Berliana *dkk.*, "Analisis Perbandingan Efisiensi Buck-Boost Converter Dengan Cuk Converter Pada Panel Surya," 2024.
[5] L. Adi Gunawan, A. Imam Agung, M. Widyartono, dan S. Isnur Haryudo, "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya Portable," 2021.
[6] S. Akbar, "Rancang Bangun Sistem Mini Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Portable," 2021.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

ID: 35

Sistem Pendeteksi Aliran Air Pada Pipa Berbasis Arduino Uno

Water Flow Detection System In Pipes Based On Arduino Uno

Syabilli Nur Huda[1], Noval Adriyan Firmansyah[2*], Abdul Hafid Paronda[3], Andi Hasad[4], Sri Marini[5]
[1,2,3,4,5]Universitas Islam 45 Bekasi
Jl. Cut Mutia No.83, Margahayu, Kec. Bekasi Timur, Kota Bekasi, Jawa Barat 17113, (021) 8808851
syabillinh05@gmail.com[1], novaladrianfirmansyah@gmail.com[2*], hafid_paronda@unismabekasi.ac.id[3], andi_hasad@unismabekasi.ac.id[4], srimarini@unismabekasi.ac.id[5]

Abstrak – *Air merupakan kebutuhan pokok utama yang menuntut sistem distribusi terpadu yang andal. Deteksi aliran pada jaringan pipa besar seringkali terkendala karena sulitnya menemukan metode pemantauan yang tidak memerlukan kontak langsung dengan fluida. Penelitian ini bertujuan merancang, mengimplementasikan, dan menguji prototipe sistem pendeteksi aliran air pada pipa baja menggunakan sensor getar SW-420 dan mikrokontroler Arduino Uno. Perancangan perangkat keras dan perangkat lunak dipilih untuk menganalisis vibrasi fluida di dalam pipa stainless steel 8 inci dan 6 inci, di mana frekuensi fluida diperoleh sebesar 1,63 Hz dan 3,05 Hz. Sensor SW-420 dikalibrasi untuk mengeluarkan logika biner dengan menjadikan ambang batas ≥1,5 Hz sebagai acuan. Uji akurasi sistem dilaksanakan pada permukaan atas dan bawah pipa guna mengetahui posisi peletakan sensor yang paling optimal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa akurasi deteksi tertinggi adalah ketika sensor diposisikan di permukaan bawah pipa, dengan nilai 86,7% untuk pipa 8 inci dan 90% untuk pipa 6 inci. Temuan ini mengindikasikan sensor getar efektif sebagai indikator aliran dan memberikan solusi pemantauan yang sederhana, akurat, dan sangat potensial untuk diterapkan pada jaringan distribusi skala besar.*

Kata Kunci*: Sensor Getar, Arduino Uno, Aliran Air, Fluida, Getaran.*

Abstract – *Water is a primary necessity requiring a reliable and integrated distribution system. However, flow detection in large pipelines is difficult to perform efficiently without direct fluid contact. This study aimed to design, implement, and test a prototype of a water flow detection system in steel pipes using the SW-420 vibration sensor and Arduino Uno microcontroller. The chosen method involved the design of hardware and software to analyze fluid vibrations inside 8-inch and 6-inch diameter stainless steel pipes, where fluid frequencies were obtained at 1.63 Hz and 3.05 Hz. The SW-420 sensor was calibrated to output binary logic by using a frequency threshold of ≥1.5 Hz as a reference. Furthermore, system accuracy tests were carried out on the top and bottom surfaces of the pipes to determine the most optimal sensor placement position. The test results show that the highest detection accuracy occurs when the sensor is positioned on the bottom surface of the pipe, with values of 86.7% for the 8-inch pipe and 90% for the 6-inch pipe. This finding indicates that the vibration sensor is effective as a flow indicator and provides a simple, accurate, and highly potential monitoring solution for application in large-scale distribution networks.*

Keywords*: Vibration Sensor, Arduino Uno, Water Flow, Fluid, Vibration*

1. Pendahuluan

Kebutuhan dalam hidup manusia meliputi kebutuhan primer dan kebutuhan sekunder. Air merupakan salah satu kebutuhan pokok terpenting yang erat kaitannya dengan kehidupan seluruh makhluk hidup, khususnya manusia. Air sangat penting untuk mensejahterakan kehidupan sehari-hari dan memiliki berbagai kegunaan. Manusia membutuhkan air untuk kebutuhan sehari-hari seperti minum, memasak, mencuci, mandi dan kebutuhan lainnya. Oleh karena itu, manusia tidak

bisa lepas dari kebutuhannya akan air. Karena itulah, ketersediaan air bersih sangat penting untuk keperluan sehari-hari dan untuk dikonsumsi [1].

Sistem jaringan distribusi air merupakan bagian yang sangat penting dalam suatu sistem penyediaan air terpadu. Sistem distribusi air adalah jaringan pipa yang digunakan untuk mengalirkan air dari reservoir ke area utilitas/konsumsi. Fungsi utama jaringan pipa air adalah menyediakan air bersih kepada seluruh konsumen dengan memperhatikan faktor kualitas, kuantitas dan tekanan air. Ketersediaan air yang berkelanjutan merupakan suatu kondisi yang didambakan semua konsumen. Sebelum melakukan kegiatan operasional, perlu dipahami terlebih dahulu keadaan sistem distribusi air yang digunakan. Cakupan pengelolaan jaringan pipa yang sangat luas, sehingga pengelolaan secara konvensional menjadi sangat sulit [2].

Seiring perkembangan teknologi yang semakin berkembang, maka diperlukannya suatu alat untuk memudahkan dalam mendeteksi suatu aliran air pada sistem distribusi air. Dengan memanfaatkan Arduino Uno dan sensor getar dalam mendeteksi aliran air yang ada pada jaringan distribusi air. Hal ini berfungsi untuk mendeteksi adanya air yang mengalir pada pipa atau saluran yang dibaca oleh sensor. Manfaat dari adanya alat ini memberikan kemudahan dalam melakukan pemeriksaan apakah adanya aliran air pada suatu pipa air atau adanya dugaan kebocoran ataupun sumbatan pada pipa.

Berdasarkan uraian diatas, peneliti mencoba membuat *prototype* untuk mempermudah dalam mendeteksi suatu aliran air pada pipa dengan melakukan pembacaan vibrasi oleh sensor getar pada suatu pipa air. Dengan melihat ada atau tidaknya vibrasi dari pipa air, dapat diketahui jika terdeteksi adanya vibrasi maka ada aliran air yang mengalir dalam pipa tersebut dan begitupun sebaliknya. Jadi, pengguna dapat mengetahui ada tidaknya aliran air pada pipa distribusi. Hal ini bertujuan efektivitas dalam mendeteksi *troubleshooting* pada suatu aliran air.

2. Metode Penelitian

Pendekatan yang digunakan dalam Sistem Pendeteksi Aliran Air Pada Pipa Berbasis Arduino Uno mencakup studi literatur dan perancangan sistem. Alur data dilanjutkan dengan perakitan alat, pengujian sistem, dan analisis data hasil uji. Tahap akhir adalah penyusunan dokumen laporan. Untuk visualisasi tahapan ditampilkan pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Flowchart Prosedur Penelitian

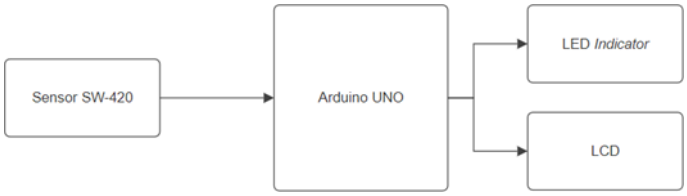
ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

2.1. Studi Literatur

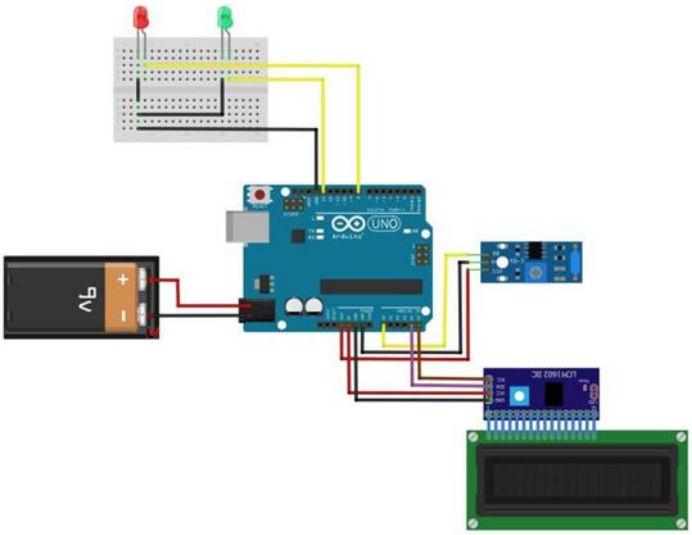
Pada tahap ini meliputi telaah pustaka dan observasi terkait dengan sistem monitoring aliran air berbasis arduino. Tahap ini juga akan diperoleh perancangan sistem terkait sistem monitoring aliran air yang akan dijadikan sebagai referensi pengembangan pada penelitian ini.

2.2. Perancangan Sistem

Pada tahap perancangan sistem dilakukan agar dapat mengukur getaran pipa aliran air dan dapat ditampilkan langsung melalui LCD yang digunakan. Adapun blok diagram dan skema rangkaian yang dibuat seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 2. Blok Diagram Sistem



Gambar 3. Skema Rangkaian

2.3. Perakitan Alat

Pada tahap perakitan alat ini dilakukan dengan cara menghubungkan jalur penyambungan koneksi setiap alat dan komponen elektronika yang digunakan sesuai dengan perancangan sistem yang telah dibuat. Setalah itu, dilakukan pembuatan kode program melalui perangkat lunak Arduino IDE untuk memberikan perintah pada sistem agar sistem berjalan dengan semestinya. Pada tahap ini diperoleh kesatuan alat yang telah siap untuk digunakan mendeteksi aliran air pada pipa.

2.4. Pengujian Sistem

1. Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi dari penggunaan sensor getar SW-420 sebagai komponen input utama untuk mendeteksi getaran pada pipa *stainless stell* dengan ukuran 8 dan 6 inch yang memiliki ketebalan 2 mm.
2. Pengujian sistem juga dilakukan untuk mencari titik manakah yang menjadi titik terbaik untuk dilakukannya pembacaan aliran air berdasarkan getaran pada pipa, pengujian ini meliputi pendeteksian pada permukaan bawah dan permukaan atas pipa.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

3. Pengujian sistem untuk mengetahui berapa nilai frekuensi yang dapat dibaca oleh sensor getar juga perlu dilakukan guna menetukan batas frekuensi yang dapat dibaca oleh sensor getar SW-420.

2.5. Analisis Data

1. Tingkat akurasi penggunaan sensor SW-420 sebagai komponen input utama sistem dengan membandingkan hasil pembacaan dengan kondisi aktual pada pipa, kemudian dilakukan perhitungan persentase dari hasil pengujian guna mendapatkan nilai tingkat akurasi dari pengunaan sensor getar SW-420.
2. Penentuan titik terbaik pendeteksian sensor dari hasil pengujian, dilihat dari seberapa besar tingkat akurasi yang dihasilkan dari pengujian antara permukaan bawah pipa dan permukaan atas pipa.
3. Batas nilai frekuensi ditentukan dari hasil perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan rumus 2.1 berdasarkan keadaan aktual yang terjadi pada saat dilakukannya pengujian sistem.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian dilakukan untuk memastikan kinerja alat bekerja dengan baik dan sesuai dengan yang diharapkan. Proses deteksi dilakukan masing-masing 30 kali dengan menempelkan sensor getar SW-420 ke pemukaan atas dan bawah pipa yang akan di deteksi. Pendeteksian dilakukan pada pipa *stainless steel* dengan ukuran 8 dan 6 inch dengan ketebalan pipa 2 mm untuk membandingkan hasil ke pekaan pembacaan yang dilakukan oleh sensor.

3.1. Pengujian Pada Pipa Stainless Steel 8 Inch

Tabel 1. Pengujian Pada Permukaan Atas Pipa *Stainless Steel* 8 *Inch*

No	Pembacaan Sensor Getar	Kondisi Aktual	LED Indikator	Keterangan
1	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
2	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
3	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
4	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
5	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
6	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
7	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
8	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
9	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
10	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
11	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
12	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

No	Pembacaan Sensor Getar	Kondisi Aktual	LED Indikator	Keterangan
13	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
14	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
15	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
16	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
17	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
18	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
19	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
20	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
21	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
22	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
23	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
24	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
25	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
26	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
27	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
28	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
29	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
30	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai

Tabel 2. Pengujian Pada Permukaan Bawah Pipa *Stainless Steel* 8 *Inch*

No	Pembacaan Sensor Getar	Kondisi Aktual	LED Indikator	Keterangan
1	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
2	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
3	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
4	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

5	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
6	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
7	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
8	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
9	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
10	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
11	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
12	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
13	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
14	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
15	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
16	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
17	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
18	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
19	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
20	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
21	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
22	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
23	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
24	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
25	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
26	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
27	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
28	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
29	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
30	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

3.2. Pengujian Pada Pipa Stainless Steel 6 Inch

Tabel 3. Pengujian Pada permukaan Atas pipa *Stainless Steel* 6 *Inch*

No	Pembacaan Sensor Getar	Kondisi Aktual	LED Indikator	Keterangan
1	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
2	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
3	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
4	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
5	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
6	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
7	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
8	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
9	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
10	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
11	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
12	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
13	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
14	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
15	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
16	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
17	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
18	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
19	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
20	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
21	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
22	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
23	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
24	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
25	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
26	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
27	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
28	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

No	Pembacaan Sensor Getar	Kondisi Aktual	LED Indikator	Keterangan
29	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
30	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai

Tabel 4. Pengujian Pada Permukaan Bawah Pipa *Stainless Steel* 6 *Inch*

No	Pembacaan Sensor Getar	Kondisi Aktual	LED Indikator	Keterangan
1	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
2	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
3	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
4	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
5	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
6	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
7	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
8	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
9	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
10	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
11	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
12	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
13	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
14	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
15	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
16	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
17	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
18	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
19	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
20	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
21	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
22	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
23	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
24	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

No	Pembacaan Sensor Getar	Kondisi Aktual	LED Indikator	Keterangan
25	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
26	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
27	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
28	0	Ada aliran	Merah	Tidak sesuai
29	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai
30	1	Ada aliran	Hijau	Sesuai

3.3. Pembahasan

Berdasarkan pengujian alat yang telah dikakukan, Pembacaan sensor menampilkan logika 1 jika terdeteksi getaran dan menampilkan logika 0 jika tidak terdeteksi getaran. Pendeteksian getaran terjadi akibat adanya aliran air yang bergerak dengan kecepatan tertentu sehingga menyebabkan adanya getaran pada pipa. Jika frekuensi getaran bernilai ≥1,5 Hz maka sensor akan berlogika 1 dan LCD menampilkan adanya getaran dan adanya aliran. Jika frekuensi getaran bernilai <1,5 Hz maka sensor akan berlogika 0 dan LCD menampilkan tidak adanya getaran dan tidak adanya aliran.

Berdasarkan hasil pengujian sensor getar SW-420 sebanyak 30 kali pada permukaan pipa besi *stainless steel*. Terdapat perbedaan nilai sensor pada pengujian permukaan bawah dan permukaan atas. Pada pengujian pipa *stainless steel* ukuran 8 dan 6 *inch* terdapat perbedaan antara hasil pengujian pada permukaan bawah dan permukaan atas. Pada pengujian permukaan atas, rata-rata nilai pembacaan dari sensor yaitu lebih banyak menampilkan hasil 0 atau tidak terdeteksinya getaran pada pipa. Sedangkan pada pengujian sensor di permukaan bawah pipa, nilai sensor lebih banyak menunjukan hasil 1 atau terdeteksinya getaran pada pipa.

Pada pengujian pipa *stainless steel* 8 *inch* permukaan atas nilai 0 ditampilkan sebanyak 27 kali, sedangkan nilai 1 ditampilkan sebanyak 3 kali. Berdasarkan hasil pengujian nilai yang paling banyak muncul adalah nilai 0 yang berarti tidak adanya getaran dan tidak adanya aliran air. Sedangkan pada permukaan bawah pipa, nilai 0 ditampilkan sebanyak 4 kali dan nilai 1 ditampilkan sebanyak 26 kali. Berdasarkan pengujian tersebut permukaan bawah pipa menunjukkan perbedaan nilai dibandingkan dengan permukaan atas pipa. Hasil ini menunjukkan bahwa pendeteksian lebih peka jika dilakukan pada permukaan bawah pipa dengan nilai persentase akurasi 86,7%.

Pada pengujian pipa *stainless steel* 6 *inch* permukaan atas nilai 0 ditampilkan sebanyak 25 kali, sedangkan nilai 1 ditampilkan sebanyak 5 kali. Berdasarkan hasil pengujian nilai yang paling banyak muncul adalah nilai 0 yang berarti tidak adanya getaran dan tidak adanya aliran air. Sedangkan pada permukaan bawah pipa, nilai 0 ditampilkan sebanyak 3 kali dan nilai 1 ditampilkan sebanyak 27 kali. Berdasarkan pengujian tersebut sama halnya dengan pengujian pada pipa *stainless steel* 8 *inch* pendeteksian lebih peka jika dilakukan pada permukaan bawah pipa dengan nilai persentase akurasi 90%.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian, akurasi penggunaan sensor getar SW-420 menunjukkan hasil yang cukup baik pada dua jenis pipa stainless steel yang berbeda. Pada pipa dengan diameter 8 inci, sensor mampu mendeteksi getaran dengan tingkat akurasi sebesar 86,7%, sedangkan pada

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

pipa berdiameter 6 inci akurasinya meningkat hingga 90%. Dari pengujian tersebut, diperoleh bahwa titik terbaik untuk melakukan pendeteksian getaran adalah pada permukaan bawah pipa, karena posisi ini memberikan hasil pembacaan sensor yang paling stabil dan akurat. Selain itu, batas minimum nilai frekuensi getaran yang dapat dideteksi oleh sensor SW-420 adalah 1,5 Hz, sehingga sensor ini efektif digunakan untuk mendeteksi getaran dengan frekuensi di atas nilai tersebut.

Referensi

[1] Ilma A. G. R., Amrulloh M. F., 2023. "Implementasi Sensor Water Flow Untuk Sistem Monitoring Pemakaian Debit Air HIPPAM Berbasis Android," Jurnal Krisnadana, vol. 3, no. 1, pp. 344–353, [Online].
[2] Sari D. A. I. P., Prihartono E., 2023. "Prototype Monitoring Debit Air pada Jaringan Pipa Berbasis Mikrokontroler," Informatics, Electrical and Electronics Engineering (Infotron), vol. 3, no. 2, pp. 56–64, [Online].
[3] Prasetya A. D., Haryanto, Wibisono K. A., 2020. "Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Pendeteksi Lokasi Kebocoran Pipa Berdasarkan Analisis Debit Air Berbasis IoT," Tahun, vol. 12, no. 1, pp. 39–47.
[4] Hatopan A., Ayu N., Indriani W., 2019. "Prototipe Pendeteksi Kebocoran Pada Pipa Air," Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro, vol. 4, pp. 336–340, [Online].
[5] Pamungkas R. H. S., Riskiono S. D., Putra Y. A., 2020. "Rancang Bangun Sistem Penyiraman Tanaman Sayur Berbasis Arduino Dengan Sensor Kelembaban Tanah," Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kendali dan Listrik, vol. 1, no. 1, pp. 23–32, [Online].
[6] Graha D. S., Fathoni R., Hasad A., Paronda A. H., 2018. "Sistem Proteksi Kebocoran Kran Dan Pencatatan Meteran Air Digital Pada PDAM Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno R3," JREC Journal of Electrical and Electronics, vol. 5, no. 1, pp. 21–31.
[7] Nurkholis, Iskandar, Prasetiawan E., 2022. "Rancang bangun sistem radar pintar pengontrol pengisian air berbasis mikrokontroler," INFOTECH : Jurnal Informatika & Teknologi, vol. 3, no. 2, pp. 104–115, doi: 10.37373/infotech.v3i2.389.
[8] Kuriando D., Noertjahyana A., Lim R., 2017. "Pendeteksi Volume Air pada Galon Berbasis Internet of Things dengan Menggunakan Arduino dan Android,"
[9] Deswiyan I. A., Solikhun, Sumarno, Poningsih, Andani S. R., 2021. "Rancang Bangun Alat Pendeteksi Ketinggian Air dan Alarm Pemberitahuan Antisipasi Datangnya Banjir Berbasis Arduino Uno," Jurnal Penelitian Inovatif, vol. 1, no. 2, pp. 155–164, doi: 10.54082/jupin.23.
[10] Munthe V. J. H., Hutabarat M. 2023. "Rancang Bangun Alat Ukur Kecepatan Aliran Air Menggunakan Water Flow Sensor Berbasis Arduino Uno," Jurnal Teknologi Informasi dan Industri, vol. 3, no. 1, pp. 84–91.
[11] Wicaksono F. A., Subekti S., Indriyanto K., 2020. "Analisis Pegaruh Penyumbatan Aliran Fluida Pada Pipa Dengan Metode Fast Fourier Transform," Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin, vol. 6, pp. 77–83.
[12] Lubis S., 2021. "Simulasi Getaran Pada Piringan Tunggal Akibat Perubahan Putaran," SiNTESa CERED Seminar Nasional Teknologi Edukasi dan Humaniora.
[13] EngineeringExcel, "How to Calculate Mass Flow Rate." Accessed: Jul. 12, 2024. [Online].

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

ID: 36

Perancangan Alat Pendeteksi Asma Berbasis Sensor Pulse Oximeter dan Electromyography

Design of an Asthma Detection Device Based on Pulse Oximeter and Electromyography Sensors

Rifqi Kumara Jati[1*], Althaf Putra Zulyan[2], Inna Ekawati[3], Annisa Firasanti[4]
[1,2,3,4]Universitas Islam 45 Bekasi, Bekasi, Indonesia
Jl. Cut Meutia No.83 Bekasi Timur, Kota Bekasi, 17113
rkumarajati@gmail.com[1*], althafputra28@gmail.com[2], inna.ekawati@unismabekasi.ac.id[3],
annisa_firasanti@unismabekasi.ac.id[4]

Abstrak – *Penanganan asma yang tidak optimal dapat berdampak serius, termasuk rawat inap berulang hingga risiko kematian. Saat ini, penilaian derajat keparahan asma seringkali bersifat subjektif, sehingga dibutuhkan metode yang lebih objektif. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah sistem skoring Modified Pediatric Asthma Severity Score (MPASS). Oleh karena itu, penelitian ini merancang suatu alat dan aplikasi yang mampu melakukan pemantauan kondisi anak dengan serangan asma secara real-time di ruang rawat inap menggunakan sistem skoring objektif. Tujuan dari pengembangan alat ini adalah untuk mempermudah tenaga kesehatan dalam memantau pasien, mendukung dokter dalam pengambilan keputusan klinis yang tepat, serta meningkatkan kualitas layanan kesehatan berbasis teknologi. Aplikasi ini diharapkan mampu menjadi solusi efektif dalam manajemen asma pada anak dan mempercepat proses penatalaksanaan yang sesuai dengan tingkat keparahan yang teridentifikasi.*

Kata Kunci*: Asma, MPASS, pemantauan, real-time, aplikasi kesehatan, ruang rawat inap.*

Abstract – *Suboptimal asthma management can have serious consequences, including repeated hospitalizations and even death. Currently, the assessment of asthma severity is often subjective, so a more objective method is needed. One method that can be used is the Modified Pediatric Asthma Severity Score (MPASS) scoring system. Therefore, this study designed a tool and application capable of monitoring the condition of children with asthma attacks in real-time in the inpatient ward using an objective scoring system. The purpose of developing this tool is to facilitate healthcare workers in monitoring patients, support doctors in making appropriate clinical decisions, and improve the quality of technology-based healthcare services. This application is expected to be an effective solution in managing asthma in children and accelerating the treatment process in accordance with the identified severity level.*

Keywords*: Asthma, MPASS, monitoring, real-time, health app, inpatient room.*

1. Pendahuluan

Asma merupakan penyakit kronis bersifat heterogen yang bisa menyerang siapa saja dari segala usia. Penyakit ini disebabkan oleh peradangan serta penyempitan otot di sekitar saluran pernapasan, yang mengakibatkan kesulitan bernapas. Gejala dan gambaran yang sering dijumpai meliputi *mengi*, batuk (terutama pada malam hari dan saat beraktivitas), *dispnea* dan sesak dada, obstruksi saluran napas yang bervariasi, serta *hyper responsive* bronkial.[1][2]

WHO dan *Global Asthma Network* (GAN), memperkirakan jumlah penderita asma akan meningkat hingga 400 juta jiwa pada tahun 2025, dan sekitar 250 ribu kematian yang terjadi disebabkan oleh asma. Berdasarkan data WHO pada 2019, prevalensi asma diperkirakan sekitar

235 juta penderita di seluruh dunia, yang mencakup 1% hingga 18% dari populasi global. Menurut *American College of Emergency Physicians*, asma menjadi penyebab sekitar 1,8 juta kunjungan ke ruang gawat darurat dan sekitar 4.000 kematian setiap tahun. Sementara itu, data dari Kementerian Kesehatan Indonesia, menjadikan asma sebagai salah satu penyakit yang paling banyak diderita oleh masyarakat Indonesia hingga akhir 2020, yakni sekitar 4,5% dari total populasi Indonesia (12 juta jiwa.[3]

Asma dapat menyerang di segala usia, dewasa maupun anak-anak. Asma umum terjadi pada anak-anak dengan derajat yang berbeda. Banyak anak dengan asma berat muncul pada usia sekolah (6-11 tahun) namun mereka melaporkan timbulnya gejala asma lebih awal pada masa kanak-kanak (usia 3 tahun) dibandingkan dengan asma ringan-sedang (usia 5 tahun). Beberapa anak menunjukkan gejala asma pada awal kehidupannya, 30% anak mendapatkan serangan asma pertama di usia <1 tahun, dan sekitar 50%-55% mendapat serangan asma pertama diusia <2 tahun. Beberapa penelitian menyatakan bahwa 80% hingga 90% terjadinya asma pertama ditemukan pada anak usia sebelum 4-5 tahun.[4]

Asma sering muncul secara klinis dalam bentuk serangan atau episode. Gejala yang timbul akibat peradangan yang terjadi menjadi dasar pengendalian tatalaksana asma. Tatalaksana ini dilakukan dengan tujuan tercapainya pengendalian asma yang menjadikan tumbuh kembang anak dapat optimal. Pada dasarnya asma tidak dapat disembuhkan, namun dapat dikendalikan. Meskipun demikian, banyak pasien memerlukan tindak lanjut medis dan pengobatan jangka panjang.[5]

Berdasarkan latar belakang tersebut, secara khusus penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan sistem diagnosis dan monitoring terintegrasi untuk mengukur derajat keparahan penyakit asma pada anak serta memberikan rekomendasi yang sesuai kepada dokter dan perawat untuk penanganan pasien yang dipersonalisasi.

Urgensi penelitian ini terletak terutama pada kebutuhan sistem diagnosis dan monitoring derajat penyakit asma yang ramah terhadap pasien anak. Hal ini disebabkan mengingat perangkat diagnosis yang selama ini menjadi pilihan terbaik untuk kepentingan tersebut, yakni spirometer, masih dianggap tidak menyenangkan bagi apsien anak. Oleh karena itu, dibutuhkan penelitian yang mampu mendesain dan mengembangkan perangkat diagnosis dan monitoring berbasis senso elektronik yang bukan hanya tidak menakutkan, tetapi juga menarik bagi pasien anak.

2. Metode Penelitian

2.1. Rancangan Alat

2.1.1. Sensor Pulse Oximeter

Sensor MAX30102 terdiri dari dua LED (Merah dan IR) serta sebuah fotodioda. Kedua LED ini digunakan untuk mengukur SpO2. Kedua LED tersebut memancarkan cahaya pada panjang gelombang yang berbeda, sekitar 660nm untuk LED merah dan sekitar 880nm untuk LED IR. Pada panjang gelombang tertentu ini, hemoglobin teroksigenasi dan tidak teroksigenasi memiliki properti penyerapan yang sangat berbeda.

2.1.2. Sensor Electromyography

Electromiography (EMG) adalah metode non-invasif untuk mengukur pola pernapasan berdasarkan gerak otot dinding dada dan diafragma saat bernapas . Sistem sensor pada EMG terdiri dari tiga buah elektroda permukaan, selanjutnya EMG dapat menunjukkan pola listrik otot saat istirahat maupun kontraksi.yang ditempatkan di sekitar dada dan perut. Saat otot berkontraksi, terbentuk potensial aksi listrik yang bisa ditangkap oleh elektroda. EMG merekam dan menampilkan sinyal listrik ini dalam bentuk grafik di monitor. EMG memudahkan

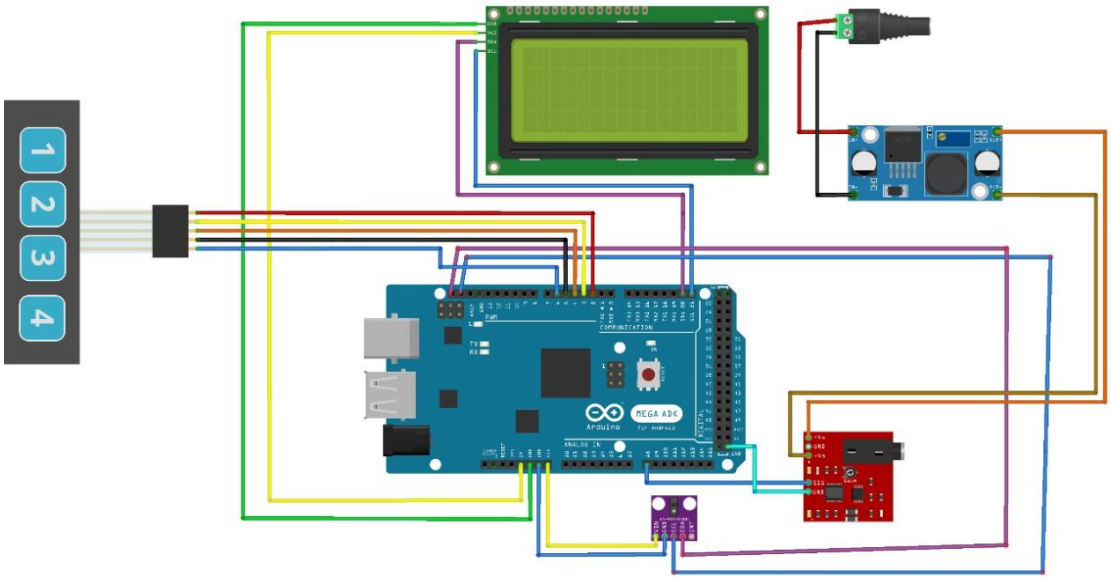
ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

pemantauan pernapasan yang memerlukan pengawasan non-invasif, karena mampu menangkap pergerakan dada dan perut, sehingga dapat memberikan gambaran yang lebih rinci tentang pola pernapasan pasien.

2.2. Prosedur Pembuatan Alat

Rancangan alat ini befungsi untuk monitoring saturasi oksigen, suara napas, laju dan ada tidaknya penggunaan otot bantu pernapasan pada pasien asma sehingga tenaga kesehatan dapat memantau kondisi pasien baik melalui monitor secara langsung ataupun pada smartphone berbasis IoT (Internet of Things) yang telah terhubung dengan monitor. Apabila pasien mengalami perburukan, alarm pada monitor dan aplikasi akan berbunyi dan dokter penanggungjawab pasien dapat langsung memberikan perintah atau feedback kepada tenaga kesehatan yang sedang bertugas di ruang rawat inap untuk memberikan tatalaksana yang tepat.

Langkah pertama yang dilakukan adalah menentukan alur kerja alat, kemudian merancang skema perangkat keras yang akan digunakan, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 1. Secara umum, alat ini terdiri dari dua sensor utama, yaitu sensor EMG *(electromyography)* yang berfungsi untuk mengukur pola pernapasan, dan sensor *Pulse Oximeter* yang digunakan untuk mendeteksi saturasi oksigen dan detak jantung. Setelah skema selesai, rangkaian dicetak pada papan PCB dan komponen disusun sesuai dengan desain tersebut.



Gambar 1. Diagram alat.

2.3. Tahap Pembuatan Program

Setelah seluruh komponen dirangkai pada project board, langkah selanjutnya adalah membuat program kendali menggunakan perangkat lunak Arduino IDE. Program tersebut kemudian diuji coba hingga berjalan dengan baik dan sesuai dengan kebutuhan sistem.

Tabel 1. Komponen-komponen pada alat.

No	Nama Komponen	Jumlah	Fungsi
1	EMG Sensor V3.0	1	Sensor Pola Pernapasan
2	Pulse Oximeter Sensor	1	Sensor Saturasi Oksigen
3	Arduino Mega	1	Pengoperasi data dan Program
4	Power Supply	1	Pemberi Tegangan

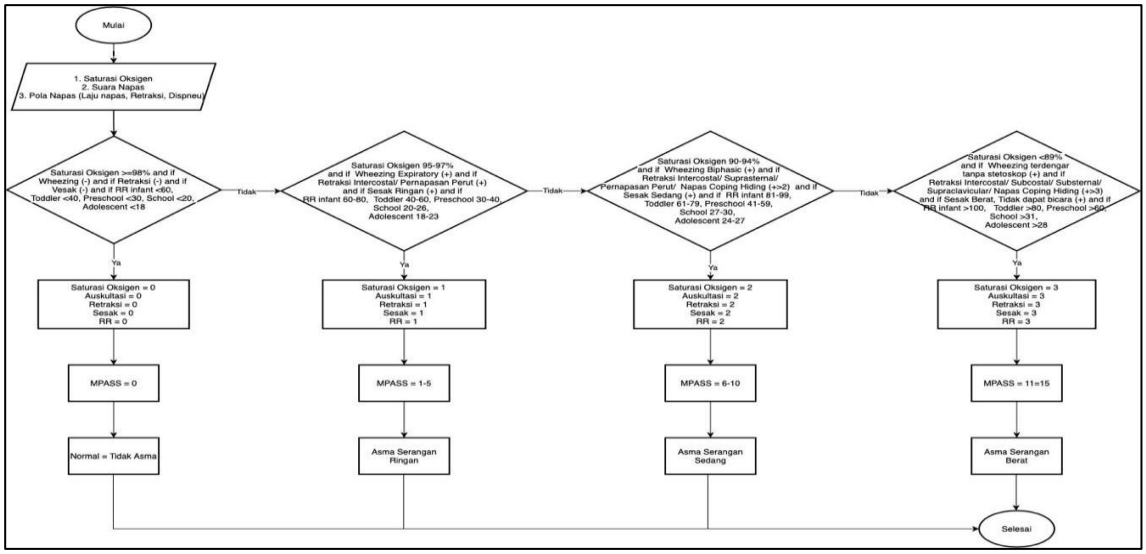
ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

No	Nama Komponen	Jumlah	Fungsi
5	Step Down	1	Sebagai Penurun Tegangan
6	Kabel Jumper	20	Penyambung Tegangan ke alat
7	Box Cover X6	1	Sebagai Cover Pelindung Alat
8	LCD 20x4 +i2c	1	Menampilkan Menu Pilihan
9	Keypad 4x1	1	Sebagai Kontrol Akses

2.4. Rancangan Perangkat Lunak

Akuisisi data citra pada alat monitor ini diambil menggunakan pulse oximetry untuk pengukuran saturasi oksigen dan *Electromiography* (EMG) untuk menentukan laju dan pola pernapasan yang dapat mengidentifikasikan ada tidaknya sesak dan kemungkinan penggunaan otot bantu pernapasan terutama pada otot intercostal dan substernal/ subcostal

2.5. Flow Chart Program



Gambar 2. Flow Chart Program.

Pada penelitian ini, digunakan rancangan alur penentuan derajat asma berdasarkan Modified Pediatric Asthma Severity Score (MPASS) yang digambarkan melalui flowchart penilaian. Proses penilaian diawali dengan pengukuran saturasi oksigen, pemeriksaan suara napas (wheezing), retraksi dinding dada, serta frekuensi napas (RR) sesuai dengan kelompok usia pasien anak.

Langkah pertama adalah menentukan kondisi awal pasien berdasarkan hasil pemeriksaan. Jika saturasi oksigen ≥96%, tanpa adanya wheezing, retraksi, maupun peningkatan frekuensi napas, maka pasien dinyatakan normal atau tidak mengalami asma dengan nilai MPASS = 0. Apabila saturasi oksigen berada pada rentang 95–97%, disertai wheezing pada fase ekspirasi, retraksi ringan, dan peningkatan frekuensi napas ringan sesuai usia, maka pasien dikategorikan mengalami asma serangan ringan dengan nilai MPASS antara 1–5.

Selanjutnya, jika saturasi oksigen berada pada 90–94%, dengan wheezing pada inspirasi dan ekspirasi, retraksi sedang (interkostal dan suprasternal), serta peningkatan frekuensi napas yang lebih tinggi dari normal, maka pasien dinilai mengalami asma serangan sedang dengan skor MPASS antara 6–10.

Terakhir, apabila saturasi oksigen kurang dari 89%, dengan wheezing berat (kadang tidak terdengar karena sumbatan saluran napas), retraksi berat (interkostal, suprasternal, dan

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

substernal), serta peningkatan frekuensi napas yang signifikan, maka pasien dikategorikan mengalami asma serangan berat dengan skor MPASS antara 11–15.

Hasil dari setiap tahapan pemeriksaan tersebut digunakan untuk menentukan tingkat keparahan serangan asma pada anak sehingga dapat menjadi dasar dalam pengambilan keputusan klinis dan pemberian penanganan yang sesuai.

3. Hasil dan Pembahasan

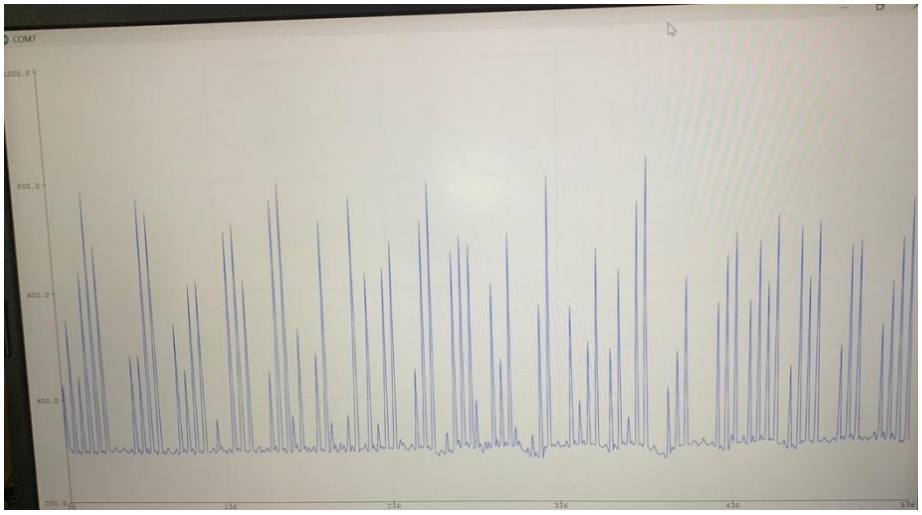
Perancangan alat berhasil diwujudkan dalam bentuk prototipe fungsional yang terdiri dari dua komponen utama, yaitu perangkat keras (hardware) untuk memantau parameter fisiologis pasien, dan aplikasi berbasis smartphone yang menampilkan hasil pemantauan serta memberikan rekomendasi penanganan berdasarkan sistem skoring *Modified Pediatric Asthma Severity Score* (MPASS).

Perangkat keras yang dirancang mampu merekam data klinis seperti frekuensi napas, adanya retraksi dinding dada, *wheezing* (mengi), dan kemampuan bicara pasien. Data tersebut dikirimkan secara real-time ke aplikasi melalui koneksi nirkabel. Aplikasi ini kemudian secara otomatis menghitung skor MPASS berdasarkan parameter yang terdeteksi dan mengklasifikasikan derajat keparahan serangan asma menjadi ringan, sedang, atau berat.



Gambar 6. Prototype alat SIGAP.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 7. Hasil grafik EMG.

Gambar di atas menunjukkan hasil pembacaan sinyal Electromyography (EMG) yang direkam selama 1 menit. Grafik tersebut menampilkan fluktuasi amplitudo sinyal EMG terhadap waktu. Setiap puncak (peak) pada grafik menunjukkan adanya aktivitas kontraksi otot, sedangkan bagian lembah (valley) atau area dengan nilai rendah menggambarkan keadaan relaksasi otot.

```
11:00:46.119 -> red=54257, ir=32323
11:00:46.212 -> red=54269, ir=32436
11:00:46.305 -> red=54350, ir=32601
11:00:46.352 -> red=54391, ir=32623
11:00:46.352 -> HR=166, HRValid=1, SPO2=97, SPO2Valid=1
```

Gambar 8. Hasil saturasi oksigen.

Data pada gambar di atas merupakan hasil pembacaan sensor pulse oximeter yang digunakan untuk mengukur saturasi oksigen (SpO_2). Pengambilan data dilakukan selama 4 detik dengan total 100 sampel pembacaan sinyal optik dari sensor. Sensor bekerja dengan prinsip photoplethysmography (PPG), yaitu dengan memancarkan cahaya inframerah (IR) dan cahaya merah (Red) ke jaringan tubuh, kemudian menghitung intensitas cahaya yang dipantulkan atau diteruskan oleh darah.

Dengan demikian, data tersebut menggambarkan bahwa selama periode pengambilan data, sensor pulse oximeter berfungsi dengan baik, menghasilkan pembacaan saturasi oksigen yang stabil pada 97% dan detak jantung sebesar 166 bpm, yang selanjutnya dapat digunakan untuk analisis tingkat keparahan asma berdasarkan parameter fisiologis pasien.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian, alat berhasil dibuat dan berfungsi sesuai dengan tujuan penelitian. Alat ini mampu memantau kondisi fisiologis pasien anak secara real-time melalui integrasi antara sensor Pulse Oximeter dan sensor Electromyography (EMG). Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor pulse oximeter dapat mendeteksi saturasi oksigen (SpO_2) dengan stabil pada nilai 97% dan detak jantung sebesar 166 bpm, sedangkan sensor EMG mampu merekam pola aktivitas otot pernapasan dengan baik selama proses pengukuran.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Data yang diperoleh dari kedua sensor diolah menggunakan sistem skoring Modified Pediatric Asthma Severity Score (MPASS) untuk menentukan tingkat keparahan serangan asma secara objektif, yang kemudian ditampilkan pada aplikasi berbasis smartphone. Dengan demikian, alat dapat membantu tenaga kesehatan dalam memantau kondisi pasien, mempercepat pengambilan keputusan klinis, serta meningkatkan efisiensi dan kualitas layanan di ruang rawat inap.

Secara keseluruhan, sistem ini memiliki potensi besar untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai perangkat pemantauan dan diagnosis dini asma berbasis teknologi yang ramah anak, portabel, dan mudah digunakan di lingkungan klinis maupun rumah sakit.

Referensi

[1] M. A. Grippi, *Fishman's Pulmonary Diseas and Disorder*. McGraw-Hill-New York, 2015.
[2] A. Bush, "Pathophysiological mechanisms of asthma," *Front Pediatr*, vol. 7, no. MAR, pp. 1–17, 2019, doi: 10.3389/fped.2019.00068.
[3] W. Paper, "Kementerian Kesehatan Republik Indonesia." Accessed: Oct. 23, 2025. [Online]. Available: h5ps://lms.kemkes.go.id/courses/f44dca18-89bd-47b6-8d66-aa1ae378c4ce
[4] R. R. Wang *et al.*, "Special Features of Atshma In Children," *Chest*, vol. 1, no. 87, 1985.
[5] J. P. Hollenbach and M. M. Cloutier, "Childhood Asthma Management and Environmental Triggers," *Pediatr Clin North Am*, vol. 62, no. 5, pp. 1199–1214, 2015, doi: 10.1016/j.pcl.2015.05.011.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

ID: 37

Alat Identifikasi Nominal Mata Uang Kertas Rupiah Bagi Penyandang Tunanetra

Rupiah Cash Nominals Identification Tool For The Blinds

Hidayat Nur Wahid [1], Althaf Putra Zulyan[2*], Muhammad Amin Bakri [3], Abdul Hafid Paronda[4]
[1,2,3,4]Universitas Islam 45 Bekasi
Jl. Cut Meutia No.83 Bekasi Timur, Kota Bekasi, 17113
nurwahidh50@gmail.com[1], althafputra28@gmail.com[2*], amin.bakri@unismabekasi.ac.id[3] ,
hafid_paronda@unismabekasi.ac.id[4]

Abstrak – *Uang merupakan alat yang digunakan untuk melakukan transaksi jual beli dan telah menjadi kebutuhan pokok bagi seluruh manusia di dunia, termasuk bagi penyandang disabilitas seperti tunanetra. Keterbatasan dalam penglihatan menyebabkan tunanetra hanya mengandalkan indra peraba dan pendengaran, sehingga mereka rentan mengalami kesalahan dalam mengidentifikasi nominal uang, seperti tertukar, salah ambil, atau tertipu saat melakukan transaksi. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan merancang alat bantu untuk memudahkan tunanetra dalam mengidentifikasi nilai nominal uang kertas. Alat ini menggunakan mikrokontroler Arduino Uno yang memproses data dari sensor warna TCS3200. Sensor ini membaca nilai RGB dari uang kertas, kemudian mencocokkannya dengan database nilai RGB yang telah ditentukan. Hasil identifikasi akan disampaikan melalui output suara menggunakan speaker, berupa penyebutan nominal uang dan perhitungan nominal uang. Hasil pengujian menunjukkan performa baik, dengan akurasi deteksi 85–100% untuk pecahan Rp1.000–Rp100.000. Alat dapat menghitung total nominal dengan tepat, memproses data secara stabil di mikrokontroler, dan menghasilkan keluaran suara yang akurat sesuai nominal terdeteksi.*

Kata Kunci*: Tunanetra, Identifikasi Mata Uang, Arduino Uno, Sensor TCS3200, Pembacaan Suara.*

.

Abstract – *Money is a tool used for buying and selling transactions and has become a basic necessity for all people around the world, including individuals with disabilities such as the blind. Limitations in vision cause the blind to rely solely on their sense of touch and hearing, making them prone to errors in identifying currency denominations, such as mixing them up, taking the wrong amount, or being deceived during transactions. Based on this issue, this study aims to design an assistive device to help the blind identify the value of paper currency. This device uses an Arduino Uno microcontroller to process data from the TCS3200 color sensor. The sensor reads the RGB values of the banknote and matches them with a predefined RGB value database. The identification result is delivered through a speaker output in the form of spoken denomination values and total calculations. Test results show good performance, with detection accuracy ranging from 85% to 100% for denominations from Rp1,000 to Rp100,000. The device can accurately calculate the total value, processes data stably in the microcontroller, and delivers accurate audio output corresponding to the detected denomination.*

Keywords*: Blind, Currency Identification, Arduino Uno, TCS3200 Sensor, Voice Output.*

1. Pendahuluan

Dengan beberapa penemuan baru, kemajuan teknologi semakin cepat. Penemuan ini dapat menawarkan solusi dan kemudahan untuk menyelesaikan masalah manusia, terutama masalah yang berkaitan dengan orang yang memiliki keterbatasan atau penyandang disabilitas. Tunanetra adalah salah satu jenis penyandang disabilitas. Tunanetra menghadapi masalah dalam kehidupan

sosial, terutama dalam hal jual beli. Pembeli dalam transaksi jual beli memberikan sejumlah uang sebagai imbalan atas barang atau jasa yang diberikan oleh penjual. Bagi penjual tunanetra, ini akan sulit karena mereka sulit mengidentifikasi berapa banyak uang yang diberikan oleh pembeli.

Pemerintah Indonesia mengeluarkan uang kertas rupiah, yang merupakan lembaran uang yang terbuat dari kertas dan digunakan oleh orang-orang di Indonesia, termasuk penyandang tunanetra [1]. Untuk mengidentifikasi nominal uang, tunanetra menghadapi sejumlah masalah. Salah satunya adalah perbedaan ukuran kertas antara berbagai nominal uang rupiah. Selain itu, faktor-faktor seperti jenis kertas yang mudah lusuh, penggunaan kode penghalang yang berbeda pada berbagai edisi, ketegasan kode penghalang yang kurang saat perabaan, dan penanda tambahan sering mengaburkan perhatian penyandang disabilitas netra saat mencari kode penghalang. Selain itu, warna dan gambar yang hampir identik dianggap kurang memudahkan penyandang disabilitas netra untuk membedakan uang kertas saat melakukan transaksi dalam waktu singkat [2].

Data Kementerian Kesehatan RI menunjukkan bahwa jumlah penyandang disabilitas tunanetra di Indonesia mencapai sekitar 1,5 persen dari total populasi. Jika jumlah penduduk Indonesia saat ini lebih dari 270 juta jiwa, maka jumlah penyandang tunanetra diperkirakan sekitar 4 juta jiwa, seperti yang dilaporkan Alfita yang mengutip data dari Ramli dan Gatra [3].

Dengan merancang sistem deteksi nominal uang lembar kertas untuk penyandang tunanetra berbasis kamera dengan *output* suara. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada jarak 5 cm, 10 cm, dan 20 cm sistem dapat mendeteksi nominal dengan akurasi 100% [4]. Salah satu kelemahan alat ini adalah ketergantungan pada kamera berbiaya tinggi untuk identifikasi, yang menyebabkan pembuatan menjadi kurang efisien secara biaya. Untuk merancang sistem identifikasi nominal uang rupiah bagi tunanetra dengan memanfaatkan metode *template matching* dengan bantuan MATLAB sebagai alat bantu dalam proses identifikasi, termasuk konversi warna gambar dari RGB ke grayscale dan proses pencocokan gambar [3]. Hasil yang didapat sistem dapat mengidentifikasi nilai mata uang dengan tingkat akurasi yang sangat baik mencapai 100%. Kekurangan dari alat ini ialah nominal hanya ditampilkan secara visual melalui *interface* matlab.

Penelitian [5] merancang alat deteksi nominal uang kertas rupiah & dollar bagi penyandang tunanetra berbasis arduino uno dengan hasil yang didapat alat dapat mendeteksi nominal mata uang kertas rupiah 1000, 2000, 5000, 10.000 , 20.000, 50.000, 100.000, namun alat ini tidak dapat melakukan perhitungan nominal uang dalam satu kali transaksi. Adapun penelitian [1] memerlukan kamera berbiaya tinggi untuk identifikasi. Penelitian [2] hanya menampilkan nominal secara visual melalui antarmuka MATLAB. Sementara sistem dalam Penelitian [3] belum mampu melakukan perhitungan jumlah total uang dalam satu kali transaksi.

Komponen yang sangat penting adalah identifikasi nominal mata uang menggunakan sensor TCS3200, menghitung jumlah nominal uang untuk setiap transaksi, dan memberikan informasi dalam bentuk keluaran suara yang dapat dimengerti oleh penyandang tunanetra. Sensor warna TCS 3200 digunakan untuk mengidentifikasi nilai RGB dari nominal uang emisi terbaru. Selanjutnya, mikrokontroler Arduino Uno akan memproses nilai RGB menggunakan algoritma yang dibuat. Ini akan memungkinkan mikrokontroler untuk mengenali jumlah uang, menghitung jumlah uang dalam satu transaksi, dan mengeluarkan informasi tentang jumlah uang tersebut melalui *speaker*.

Berdasarkan permasalahan tersebut, maka dibutuhkan alat untuk membantu penyandang tunanetra dalam mengenali dan menghitung nominal uang kertas rupiah secara otomatis dengan keluaran suara, sehingga mempermudah mereka dalam melakukan transaksi secara mandiri. Kelebihan dari penelitian ini adalah alat yang dikembangkan mampu menghitung nominal uang secara otomatis dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi dibandingkan penelitian sejenis.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

2. Metode Penelitian

2.1. Perancangan Sistem

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Islam 45 Bekasi. Alat dan bahan yang digunakan yaitu Sensor warna TCS3200 untuk mendeteksi dan membaca warna RGB pada uang, Arduino Uno, DFPlayer mini dan *speaker*.

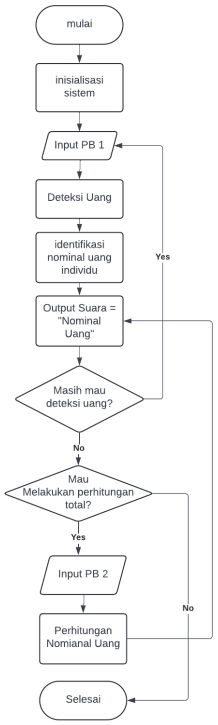


Gambar 1. Diagram Blok Sistem.

Prinsip kerja dari perangkat alat pendeteksi nominal uang, dimana uang akan diletakan didepan sensor warna TCS3200, kemudian user menekan tombol PB 1 sehingga kemudian sensor warna TCS3200 akan mendeteksi warna dari uang sehingga didapatkan keluaranya berupa keluaran digital yang berbentuk pulsa pulsa pembawa warna RGB. Data dari nilai warna RGB yang didapatkan akan diproses oleh Arduino Uno sesuai dengan program yang dirancang dan DFPlayer mini akan memproses data tersebut, kemudian keluaranya berupa suara akan diinformasikan melalui *speaker*.

2.2. Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang dirancang untuk sistem ini bertujuan untuk menggambarkan alur kerja sistem pendeteksi nominal uang secara terstruktur dan sistematis. Perangkat lunak ini dirancang untuk mengatur seluruh proses, mulai dari memulai sistem, membaca input dari tombol, mengidentifikasi warna uang oleh sensor, dan kemudian mengeluarkan suara untuk menghasilkan hasil identifikasi warna uang dan menghitung nominal uang total. Untuk membuat proses yang dijalankan oleh mikrokontroler Arduino Uno lebih mudah dipahami, aliran perancangan perangkat lunak ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir perangkat lunak.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Proses perangkat lunak sistem pendeteksi nominal uang berbasis Arduino Uno digambarkan pada diagram alir gambar 2 sistem dihidupkan, lalu pengguna menekan tombol PB1 untuk memulai pendeteksian uang. Sensor warna mengidentifikasi nominal uang, dan perangkat lunak mengeluarkan suara yang sesuai dengan nominal yang terdeteksi. Jika pengguna masih ingin menemukan uang lain, proses akan kembali ke tahap input PB1. Setelah menemukan semua uang, tombol PB2 dapat digunakan untuk menghitung total nominal seluruh uang yang telah dikenali. Setelah perhitungan total nominal selesai, sistem mengeluarkan suara sebagai hasilnya.

2.3. Perancangan Perangkat Keras

2.3.1. Sensor Warna TCS3200

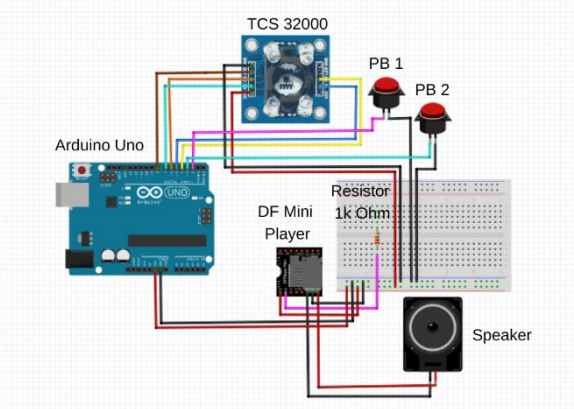
Perancangan sensor warna TCS3200 dilakukan dengan menghubungkan sensor Arduino Uno dengan kabel jumper. Ini berarti bahwa pin S0, S1, S2, S3, dan Out dari sensor TCS3200 dihubungkan dengan pin digital Arduino Uno 4, 5, 6, dan 7. Selain itu, dengan menghubungkan pin Vcc dan Gnd ke sumber tegangan 5V dari Arduino Uno, perancangan sensor warna TCS3200 dapat melihat nilai warna RGB sambil menentukan nominal uang.

2.3.2. Modul DFPlayer Mini

Untuk memastikan sistem dapat menghasilkan keluaran suara berdasarkan jumlah uang tertentu, modul DFPlayer Mini dirancang khusus. Modul DFPlayer Mini memainkan file audio berformat MP3 yang tersimpan pada kartu *microSD* dan dapat dikendalikan melalui komunikasi serial dengan mikrokontroler Arduino Uno. Dengan menggunakan informasi yang dihasilkan oleh pembacaan sensor warna TCS3200, DFPlayer Mini akan memutar file suara yang sesuai. Ini dapat termasuk menyebutkan sejumlah uang, seperti "Lima Ribu Rupiah" atau "Seratus Ribu Rupiah", ketika Arduino memberikan perintah. Pengguna tunanetra kemudian dapat mendengarkan keluaran suara melalui *speaker*. Dengan rancangan ini, sistem dapat secara otomatis memberikan informasi hasil deteksi secara audio, yang membuatnya lebih mudah digunakan dan lebih mudah diakses bagi penyandang disabilitas netra.

2.3.3. Rangkaian Keseluruhan

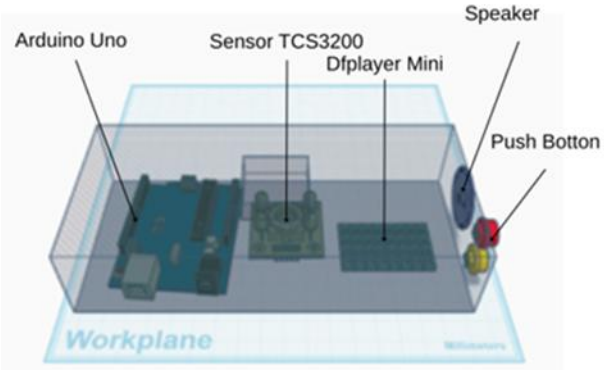
Penggabungan semua komponen penting yang digunakan pada alat yang dirancang untuk mendeteksi nominal uang kertas rupiah bagi penyandang tunanetra adalah tahap pertama dalam proses merancang rangkaian keseluruhan sistem. Agar dapat bekerja secara terintegrasi, setiap komponen dihubungkan sesuai dengan fungsinya dalam sistem. Gambar 2.3 menunjukkan gambar rangkaian sistem secara keseluruhan.



Gambar 2. Perancangan Rangkaian Keseluruhan

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Perancangan ukuran kotak alat terdiri dari kotak plastik hitam yang berisi rangkaian alat dan tempat untuk meletakkan sampel. Rangkaian alat Arduino Uno akan dipasang di dalam kotak. Di bagian bawah kotak hitam terletak rangkaian komponen Arduino Uno, sensor warna TCS3200, DFPlayer mini, dan tombol *input* mode. Jumper terhubung ke kotak hitam. Di bawah, *speaker* ditempatkan di bagian dinding kotak hitam seperti pada Gambar 3



Gambar 3. Skematik Alat.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Pengujian Nominal Uang Tunggal

Untuk mengetahui tingkat keberhasilan alat dalam mengenali nominal uang kertas secara individu. Setiap nominal diuji sebanyak 7 kali sesuai dengan mata uang di Indonesia saat ini. Untuk memperoleh nilai akurasi deteksi, Hasil pengujian disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Nominal Uang Tunggal.

No	Uang	Jumlah Lembar	Terdeteksi			Keberhasilan (%)
			Ya	Tidak		
				Tidak Terbaca	Salah Pembacaan	
1	Rp1.000	20	20	-	-	100
2	Rp2.000	20	17	-	3	85
3	Rp5.000	20	20	-	-	100
4	Rp10.000	20	20	-	-	100
5	Rp20.000	20	19	-	-	100
6	Rp50.000	20	18	1	1	90
7	Rp100.000	20	19	-	1	95

3.2. Hasil Pengujian Perhitungan Total Nominal

3.2.1. Pengujian Perhitungan Total Nominal Sama

Pengujian ini menunjukkan kemampuan alat untuk menjumlahkan uang dengan nominal yang sama dengan jumlah lembar yang berbeda (3, 6, dan 10 lembar) untuk setiap nominal. Hasil pengujian untuk setiap nominal ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perhitungan Total Sama.

No	Uang	Jumlah (Lembar)	Total Nominal Sebenarnya (Rp)	Hasil Deteksi Alat (Total Akumulasi Rp)	Hasil (Sesuai / Tidak Sesuai)
1	Rp1.000	3	3.000	3.000	Sesuai
		6	6.000	6.000	Sesuai
		10	10.000	10.000	Sesuai
2	Rp2.000	3	6.000	6.000	Sesuai

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

No	Uang	Jumlah (Lembar)	Total Nominal Sebenarnya (Rp)	Hasil Deteksi Alat (Total Akumulasi Rp)	Hasil (Sesuai / Tidak Sesuai)
		6	12.000	12.000	Sesuai
		10	20.000	18.000	Tidak Sesuai
		3	15.000	15.000	Sesuai
3	Rp5.000	6	30.000	30.000	Sesuai
		10	50.000	50.000	Sesuai
		3	30.000	30.000	Sesuai
4	Rp10.000	6	60.000	60.000	Sesuai
		10	100.000	100.000	Sesuai
		3	60.000	60.000	Sesuai
5	Rp20.000	6	120.000	120.000	Sesuai
		10	200.000	200.000	Sesuai
		3	150.000	100.000	Tidak Sesuai
6	Rp50.000	6	300.000	300.000	Sesuai
		10	500.000	500.000	Sesuai
		3	300.000	300.000	Sesuai
7	Rp100.000	6	600.000	600.000	Sesuai
		10	1.000.000	1.000.000	Sesuai

3.2.2. Pengujian Perhitungan Total Nominal Berbeda

Pengujian ini menunjukkan hasil alat dengan menjumlahkan kombinasi nominal uang yang berbeda dalam satu set pengujian. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengevaluasi akurasi alat dalam mengidentifikasi dan mengakumulasi total nominal dari berbagai pecahan uang secara bersamaan. Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian nominal uang yang berbeda.

Tabel 3. Perhitungan Total Nominal Berbeda.

No	Jumlah (Lembar)	Deskripsi Uang Sebenarnya	Total Nominal Sebenarnya (Rp)	Hasil Deteksi Alat (Total Akumulasi Rp)	Hasil (Sesuai / Tidak Sesuai)
1	3	1x Rp100.000 1x Rp50.000 1x Rp20.000	170.000	170.000	Sesuai
2	6	1x Rp50.000 1x Rp20.000 1x Rp10.000 1x Rp5.000 1x Rp2000 1x Rp1000	89.000	89.000	Sesuai
3	10	2x Rp50.000 2x Rp20.000 2x Rp10.000 2x Rp5000 1x Rp2000 1x Rp1000	173.000	173.000	Sesuai

3.3. Hasil Pengujian Keluaran Suara

3.3.1. Keluaran Suara Nominal Tunggal

Pada pengujian ini menampilkan hasil pengujian fungsi keluaran suara *speaker* alat saat mendeteksi nominal uang tunggal. Data ini menunjukkan apakah suara yang dihasilkan sesuai dengan nominal uang yang terdeteksi. Hasil pengujian nominal uang dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Keluaran Suara Nominal Tunggal.

No	Nominal Uang	Keluaran Suara (*Speaker*)	Hasil (Sesuai / Tidak Sesuai)
1	Rp1.000	Seribu Rupiah	Sesuai
2	Rp2.000	Dua Ribu Rupiah	Sesuai

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

3	Rp5.000	Lima Ribu Rupiah	Sesuai
4	Rp10.000	Sepuluh Ribu Rupiah	Sesuai
5	Rp20.000	Dua Puluh Ribu Rupiah	Sesuai
6	Rp50.000	Lima Puluh Ribu Rupiah	Sesuai
7	Rp100.000	Seratus Ribu Rupiah	Sesuai

3.3.2. Keluaran Suara Perhitungan Total Nominal Sama

Pengujian ini menguji rekaman keluaran suara *speaker* alat ketika melakukan penjumlahan uang dengan nominal yang sama. Data ini menunjukkan apakah alat mampu mengumumkan total nominal secara verbal. Tabel 5 menunjukkan hasil pengujian nominal uang.

Tabel 5. Keluaran Suara Nominal Berbeda.

No	Nominal Uang	Keluaran Suara (*Speaker*)	Hasil (Sesuai / Tidak Sesuai)
1	Rp3.000	Tiga Ribu Rupiah	Sesuai
2	Rp6.000	Enam Ribu Rupiah	Sesuai
3	Rp10.000	Sepuluh Ribu Rupiah	Sesuai
4	Rp6.000	Enam Ribu Rupiah	Sesuai
5	Rp12.000	Dua Belas Ribu Rupiah	Sesuai
6	Rp20.000	Dua Puluh Ribu Rupiah	Sesuai
7	Rp15.000	Lima Belas Ribu Rupiah	Sesuai
8	Rp30.000	Tiga Puluh Ribu Rupiah	Sesuai
9	Rp50.000	Lima Puluh Ribu Rupiah	Sesuai
10	Rp30.000	Tiga Puluh Ribu Rupiah	Sesuai
11	Rp60.000	Enam Puluh Ribu Rupiah	Sesuai
12	Rp100.000	Seratus Ribu Rupiah	Sesuai
13	Rp60.000	Enam Puluh Ribu Rupiah	Sesuai
14	Rp120.000	Seratus Dua Puluh Ribu Rupiah	Sesuai
15	Rp200.000	Dua Ratus Ribu Rupiah	Sesuai
16	Rp150.000	Seratus Lima Puluh Ribu Rupiah	Sesuai
17	Rp300.000	Tiga Ratus Ribu Rupiah	Sesuai
18	Rp500.000	Lima Ratus Ribu Rupiah	Sesuai
19	Rp300.000	Tiga Ratus Ribu Rupiah	Sesuai
20	Rp600.000	Enam Ratus Ribu Rupiah	Sesuai
21	Rp1.000.000	Satu Juta Rupiah	Sesuai

3.3.3. Keluaran Suara Perhitungan Total Nominal Berbeda

Pengujian ini menguji keluaran suara *speaker* alat saat melakukan penjumlahan uang dengan berbagai kombinasi nominal. Data menunjukkan bahwa alat konsisten mengumumkan total akumulasi nominal yang berbeda secara verbal. Tabel 6 menunjukkan hasil pengujian nominal uang.

Tabel 6. Keluaran Suara Nominal Sama.

No	Nominal Uang	Keluaran Suara (*Speaker*)	Hasil (Sesuai / Tidak Sesuai)
1	Rp170.000	Seratus Tujuh Puluh Ribu Rupiah	Sesuai
2	Rp89.000	Delapan Puluh Sembilan Ribu Rupiah	Sesuai
3	Rp173.000	Seratus Tujuh Puluh Tiga Ribu Rupiah	Sesuai

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

4. Kesimpulan

Sistem identifikasi nominal uang rupiah dengan *output* suara untuk penyandang tunanetra menunjukkan performa yang baik dari aspek, akurasi deteksi dan keluaran suara *speaker*, alat mampu mendeteksi pecahan uang dari Rp1.000 hingga Rp100.000 dengan tingkat keberhasilan yang tinggi, yaitu antara 85% hingga 100%, alat dapat menghitung total nominal uang secara akurat, baik untuk nominal uang yang sama maupun yang berbeda, logika pemrosesan dan penjumlahan data pada mikrokontroler berjalan stabil dan konsisten tanpa terjadi konflik nilai, fungsi keluaran suara bekerja dengan baik, mampu menyuarakan hasil deteksi secara tepat baik pada uang tunggal maupun total akumulasi, serta menunjukkan pemetaan yang tepat antara deteksi nominal dan file audio.

Referensi

[1] wahyu Ramdan, "Analisis Terhadap Penggunaan Uang Kertas Sebagai Bouquet Dalam Perspektif Hukum Islam Dan Undang-Undang Nomor 7 Tahun 2011 Tentang Mata Uang," 2021.

[2] H. Hafiar, Y. Setianti, P. Subekti, dan A. Sani, "Blind Code pada Uang Kertas Rupiah Pesan Komunikasi dan Komunikasi Pesan kepada Publik Disabilitas Netra," *J. Kawistara*, vol. 10, no. 3, hal. 328, 2020, doi: 10.22146/kawistara.48865.

[3] R. Alfita, A. F. Ibadillah, dan A. Prianto, "Identifikasi Nilai Nominal Uang Kertas Berdasarkan Warna Berbasis Image Processing Menggunakan Metode Template Matching," *J. Tek. Elektro dan Komput. TRIAC*, vol. 9, no. 1, hal. 28–32, 2022, doi: 10.21107/triac.v9i1.12487.

[4] M. A. Halla *et al.*, "SISTEM DETEKSI NOMINAL UANG KERTAS UNTUK," vol. 2, hal. 23–30, 2025.

[5] R. Albar dan A. Darmawan, "Alat Deteksi Nominal Uang Kertas Rupiah \& Dollar Bagi Penyandang Tunanetra Berbasasis Arduino Uno," *J. Informatics …*, vol. 7, no. 1, hal. 46–55, 2021, [Daring]. Tersedia pada: http://jurnal.uui.ac.id/index.php/jics/article/view/1388

[6] M. A. Efendi, "Sistem Pendeteksi Keaslian Uang Rupiah Untuk Tunanetra Dan Pedagang Kecil Berbasis Arduino," *J. Elektro Kontrol*, vol. 3, no. 2, hal. 55–64, 2023, doi: 10.24176/elkon.v3i2.10814.

[7] A. Bahri dan H. Harmadi, "Sistem Pendeteksi Keaslian dan Nominal Uang untuk Penyandang Tunanetra Menggunakan Sensor UV GYML 8511 dan TCS3200," *J. Fis. Unand*, vol. 12, no. 2, hal. 316–321, 2023, doi: 10.25077/jfu.12.2.316-321.2023.

[8] F. Effenberger dan G. Kiefer, "Stereochemistry of the Cycloaddition of Sulfonyl Isocyanates and N-Sulfinylsulfonamides to Enol Ethers," *Angew. Chemie Int. Ed. English*, vol. 6, no. 11, hal. 951–952, 1967, doi: 10.1002/anie.196709511.

[9] S. A. Qatrunnada, Y. Oktarina, T. Dewi, E. Ginting, dan P. Risma, "Sistem Kendali Pengisian Jus Otomatis Menggunakan Sensor Infrared Dan Waterflow Berbasis PLC," *J. Appl. Smart Electr. Netw. Syst.*, vol. 1, no. 01, hal. 1–5, 2020, doi: 10.52158/jasens.v1i01.26.

[10] M. Imran, "Peningkatan Pemberdayaan Penyandang Tunanetra melalui Perancangan Social Media Newsletter di Yayasan Sosial Tunanetra," *J. Komunitas J. Pengabdi. Kpd. Masy.*, vol. 6, no. 2, hal. 229–239, 2024, doi: 10.31334/jks.v6i2.3587.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

ID: 38

Aplikasi Computer Vision Untuk Deteksi Obyek Pada Pemantauan Ruang Parkir Otomatis Berbasis YOLO

Object Detection YOLO-Based Application For Parking Space Monitoring

Pras Seprianto[1], Muhammad Al Ghifari Syafdel[2*], Annisa Firasanti[3], Andi Hasad[4], Inna Ekawati[5]
[1,2,3,4] Department of Electrical Engineering, [5]Department of Informatics
Universitas Islam 45 Bekasi, Bekasi, Indonesia
prasseprianto31@gmail.com[1], ghifarisyafdel@gmail.com[2], annisa_firasanti@unismabekasi.ac.id[3],
andi_hasad@unismabekasi.ac.id[4], inna,ekawati@unismabekasi.ac.id[5]

Abstrak *– Pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor yang pesat di perkotaan menyebabkan ketidakseimbangan antara peningkatan jumlah kendaraan dengan ketersediaan lahan parkir, khususnya di daerah perkotaan. Kondisi tersebut menuntut penerapan solusi berbasis teknologi yang efisien, salah satunya melalui sistem pemantauan ruang parkir otomatis berbasis computer vision. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan performa algoritma deteksi objek YOLOv8 dengan menggunakan dua pustaka berbeda (pustaka N dan M) dalam mendeteksi objek mobil, serta menguji kemampuannya dalam membedakan objek mobil dengan objek lainnya. Metode yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode kuantitatif, dimana nilai akurasi dan performa yang dapat dihitung dengan rumus TP, FP, FN, Precision, Recall dan mAP@50. Data uji diperoleh dari rekaman video CCTV yang diekstraksi menjadi rangkaian citra, kemudian dianalisis menggunakan kedua pustaka tersebut. Video yang sudah direkam selanjutnya di ekstrak per gambar untuk melakukan pengujian manual supaya dapat mengetahui objek apa saja yang berhasil di deteksi oleh YOLOv8 secara detail dan mengetahui pustaka yang terbaik antara N dan M. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pustaka M memiliki nilai Precision, Recall, mAP@0.5, dan mAP@0.5:0.95 yang lebih tinggi dibandingkan pustaka N, menandakan akurasi deteksi objek yang lebih baik. Meskipun pustaka N memiliki keunggulan dalam kecepatan pemrosesan (lebih cepat 5,6 milidetik per gambar), pustaka M tetap berada dalam kisaran waktu pemrosesan yang efisien, yaitu rata-rata 10,2 milidetik. Pada pengujian tambahan terhadap video yang berisi objek selain mobil, pustaka M menunjukkan performa yang sangat baik dengan nilai Precision sebesar 1.0 dan Recall sebesar 0.993 untuk kelas mobil. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa implementasi YOLOv8 menggunakan pustaka M memiliki kemampuan yang unggul dalam mendeteksi serta membedakan objek mobil secara akurat dan konsisten, sehingga berpotensi diterapkan secara efektif dalam sistem pemantauan ruang parkir otomatis.*

Kata Kunci*: YOLOv8, Object Detection, Computer vision, Parking Monitoring.*

.

Abstract *– The rapid growth of motor vehicles in urban areas has led to an imbalance between the increasing number of vehicles and the availability of parking spaces, particularly in densely populated cities. This condition necessitates the implementation of efficient technology-based solutions, one of which is an automated parking space monitoring system based on computer vision. This study aims to analyze and compare the performance of the YOLOv8 object detection algorithm using two different libraries (Library N and Library M) in detecting car objects, as well as to evaluate their capability in distinguishing cars from other objects. A quantitative research method was employed, where accuracy and performance metrics were calculated using True Positive (TP), False Positive (FP), False Negative (FN), Precision, Recall, and mean Average Precision (mAP@0.5). The test data were obtained from CCTV recordings that were extracted into image sequences and analyzed using both libraries. The extracted frames were also examined manually to identify the specific objects detected by YOLOv8 in detail and determine which library performed best between N and M. The results indicate that Library M achieved higher values in Precision, Recall, mAP@0.5, and mAP@0.5:0.95 compared to Library N, demonstrating superior*

detection accuracy. Although Library N showed better processing speed (5.6 milliseconds faster per image), Library M remained within an efficient processing range, averaging 10.2 milliseconds per image. Further testing on videos containing non-car objects revealed that Library M maintained excellent performance, achieving a Precision of 1.0 and a Recall of 0.993 for the car class. In conclusion, the implementation of YOLOv8 using Library M exhibits superior capability in accurately and consistently detecting and distinguishing car objects, making it highly effective for use in automated parking space monitoring systems in urban environments.

***Keywords**: YOLOv8, Object Detection, Computer vision, Parking Monitoring.*

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi di era digital berlangsung dengan sangat pesat, terutama dalam bidang elektronik seperti *smartphone*, komputer, dan laptop. Kemajuan ini tidak hanya berpengaruh pada kehidupan sehari-hari manusia, tetapi juga mendorong perkembangan perangkat lunak yang semakin beragam. Pertumbuhan kendaraan bermotor yang begitu pesat menyebabkan kondisi yang tidak seimbang antara pertumbuhan kendaraan dengan lahan parkir yang tersedia, terlihat bahwa semakin menyempitnya fasilitas tersebut dan sering terjadi pada kota-kota yang sudah padat akan penduduknya serta tinggi kerapatan bangunannya[1]. Berbagai sistem berbasis perangkat lunak kini dikembangkan untuk membantu aktivitas manusia, termasuk dalam manajemen parkir kendaraan.

Salah satu tantangan dalam sistem parkiran adalah menentukan lahan parkir yang tersedia[2]. Area parkir umumnya menampung berbagai jenis kendaraan, baik kendaraan roda dua seperti sepeda dan motor, maupun kendaraan roda empat seperti mobil. Menurut Anastasia, ruang parkir yang tidak memadai dapat menciptakan kemacetan yang akan membuat pengguna fasilitas parkir frustrasi[3]. Saat ini, proses pemilihan lokasi parkir umumnya masih dilakukan secara manual melalui pengamatan langsung terhadap ketersediaan ruang parkir. Metode tersebut dinilai kurang efisien karena pengemudi harus mencari tempat kosong secara mandiri, sehingga berpotensi menimbulkan keterlambatan dan meningkatkan kepadatan lalu lintas di area parkir. Selain itu, pada beberapa sistem parkir berbayar, pengemudi diharuskan melakukan pembayaran sebelum memperoleh informasi mengenai ketersediaan tempat, yang dapat menimbulkan ketidaknyamanan dan menurunkan efektivitas sistem parkir.

Dengan berkembangnya teknologi *computer vision*, sistem otomatis berbasis kecerdasan buatan kini dapat diterapkan untuk melakukan identifikasi ruang parkir kosong secara berkelanjutan[4]. Teknologi *computer vision* memungkinkan mesin untuk mengenali dan menginterpretasikan kondisi lingkungan sekitarnya secara visual, serupa dengan kemampuan penglihatan manusia[5][6].

Salah satu pendekatan yang dapat diterapkan dalam sistem pemantauan ruang parkir adalah pemrograman berbasis Python yang dikombinasikan dengan model deteksi objek seperti *You Only Look Once* (YOLO). Bahasa pemrograman Python memiliki keunggulan dalam pemrosesan citra digital serta kemampuannya untuk terintegrasi dengan berbagai teknologi kecerdasan buatan, sehingga dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi kendaraan secara akurat di area parkir. Penerapan sistem berbasis *computer vision* ini memungkinkan proses pencarian tempat parkir dilakukan dengan lebih cepat dan efisien, memberikan kemudahan bagi pengguna, serta meningkatkan efektivitas pengelolaan lahan parkir[7]. Pendekatan berbasis pengolahan citra menggunakan algoritma deteksi objek seperti YOLO dinilai lebih efisien karena memungkinkan komputer mengenali kendaraan secara otomatis tanpa memerlukan pemasangan sensor fisik pada setiap slot parkir.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, penelitian ini mengusulkan pengembangan sistem pemantauan ruang parkir otomatis berbasis *computer vision* dengan metode YOLO untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam manajemen area parkir.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

2. Metode Penelitian

2.1. Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan tujuan untuk mengukur tingkat akurasi dan performa sistem deteksi objek pada ruang parkir menggunakan algoritma *You Only Look Once* (YOLO)[8]. Nilai performa dievaluasi melalui perhitungan *True Positive* (TP), *False Positive* (FP), *False Negative* (FN), *Precision*, *Recall*, dan mean *Average Precision* pada ambang batas 0,5 (mAP@50). Parameter-parameter tersebut digunakan sebagai indikator kuantitatif dalam menjawab rumusan masalah penelitian.

2.2. Pengumpulan Data

Pengambilan data dalam penelitian ini bertujuan untuk memperoleh informasi empiris dari lingkungan penelitian terkait kondisi aktual area parkir. Data yang dikumpulkan meliputi jumlah ruang parkir yang tersedia, jumlah kendaraan yang terdeteksi memasuki area parkir, serta jumlah kendaraan yang terparkir pada periode tertentu. Informasi tersebut digunakan untuk memberikan representasi yang akurat mengenai tingkat keterisian lahan parkir berdasarkan hasil deteksi sistem berbasis *computer vision*.

Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh melalui rekaman video dari kamera CCTV yang dipasang di area parkir. Kamera berfungsi merekam aktivitas kendaraan yang masuk dan keluar dari area tersebut. Video hasil perekaman kemudian diekstraksi menjadi kumpulan gambar (*frame extraction*) untuk memungkinkan pengujian manual dan analisis hasil deteksi secara lebih detail. Proses ini dilakukan untuk mengidentifikasi objek yang berhasil dideteksi oleh algoritma YOLOv8 serta menentukan varian model yang memberikan pustaka terbaik antara N dan M.

Selain itu, pengumpulan data lapangan juga mencakup informasi mengenai jumlah kendaraan yang masuk, jumlah ruang parkir yang tersedia, serta jumlah kendaraan yang terparkir. Data tersebut digunakan untuk mengevaluasi kesesuaian hasil deteksi sistem dengan kondisi aktual di lapangan.

Pengambilan data dalam penelitian ini bertujuan untuk mengumpulkan informasi dari lapangan atau objek penelitian, khususnya mengenai jumlah ruang parkir yang tersedia dan jumlah kendaraan yang terdeteksi memasuki area parkir. Selain itu, data yang dikumpulkan juga mencakup jumlah kendaraan yang terparkir di area tersebut, sehingga dapat memberikan gambaran yang akurat mengenai ruang parkir berdasarkan hasil deteksi sistem.

2.3. Kajian Pustaka

Kajian pustaka dilakukan dengan menelusuri literatur terkait penerapan algoritma YOLO dalam bidang *computer vision*. YOLO merupakan salah satu algoritma deteksi objek yang populer karena kemampuannya melakukan deteksi secara cepat dan akurat dalam waktu nyata (*real-time*). Sejak versi pertama (YOLOv1) hingga versi terbaru (YOLOv8), berbagai peningkatan signifikan telah dilakukan, baik dari segi arsitektur jaringan maupun efisiensi komputasi[9].

Berbagai penelitian sebelumnya menunjukkan penerapan YOLO di berbagai domain, seperti sistem keamanan, pengawasan lalu lintas, dan kendaraan otonom[9][10]. Kajian tersebut menjadi dasar dalam pemilihan metode YOLOv8 untuk pengembangan sistem deteksi kendaraan pada penelitian ini.

2.4. Perancangan Sistem

Sistem yang dikembangkan menggunakan pendekatan *computer vision* berbasis algoritma YOLO. Kamera CCTV yang dipasang di lokasi penelitian berfungsi sebagai sensor visual untuk merekam data video kendaraan[11]. Selanjutnya, data video dianalisis menggunakan algoritma

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

YOLO untuk mendeteksi objek kendaraan pada setiap *frame* video. Pendekatan ini memungkinkan sistem melakukan pemantauan ruang parkir secara otomatis dan efisien, serta mendukung pengelolaan area parkir yang lebih efektif. Selain itu, sistem mampu menyediakan informasi yang akurat dan real-time mengenai objek yang terdeteksi di dalam area pemantauan.

Proses pemrograman dan analisis dilakukan menggunakan lingkungan pengembangan PyCharm dengan bahasa pemrograman Python[12]. Sistem ini dirancang agar mampu mendeteksi keberadaan kendaraan secara otomatis tanpa memerlukan pemasangan sensor fisik pada setiap slot parkir.

2.5. Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi kinerja deteksi objek oleh algoritma YOLOv8. Dua varian model diuji, yaitu YOLOv8N (Nano) dan YOLOv8M (Medium), menggunakan data video dari CCTV yang sama. Tujuan pengujian ini adalah untuk membandingkan tingkat akurasi, kecepatan deteksi, serta kemampuan masing-masing model dalam mengenali objek kendaraan dan non-kendaraan.

Evaluasi dilakukan dengan menghitung parameter *Precision*, *Recall*, dan mAP@50 berdasarkan hasil deteksi yang diperoleh dari tiap model. Hasil pengujian digunakan untuk menentukan model dengan performa terbaik serta menilai kemampuan sistem dalam melakukan pemantauan ruang parkir secara otomatis dan *real-time*.

2.6. Analisis Data

Analisis data dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama adalah perbandingan hasil deteksi antara model YOLOv8N dan YOLOv8M untuk mengukur akurasi dan performa deteksi. Tahap kedua melibatkan evaluasi hasil pengujian guna menilai kemampuan sistem dalam membedakan antara objek kendaraan dan non-kendaraan. Analisis ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem mampu memberikan hasil yang konsisten, akurat, dan relevan terhadap kebutuhan pemantauan ruang parkir.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengukuran Akurasi Dan Performa Sistem

Penelitian ini diawali dengan proses pengambilan video menggunakan kamera CCTV beresolusi 640×480 piksel yang dipasang di area parkir. Video tersebut merekam aktivitas kendaraan di area pantauan dan selanjutnya digunakan sebagai data masukan (input data) untuk sistem deteksi objek berbasis algoritma YOLOv8. Tujuan utama dari tahap ini adalah untuk mendeteksi keberadaan kendaraan yang memasuki area parkir serta melakukan analisis perbandingan kinerja antara dua model YOLOv8, yaitu YOLOv8n (Nano) dan YOLOv8m (Medium), dalam mendeteksi objek kendaraan.

Rekaman video berdurasi satu menit kemudian diekstraksi menjadi 300 *frame* gambar statis, sesuai dengan laju video 30 *frame* per second (fps). Seluruh *frame* hasil ekstraksi digunakan sebagai dataset validasi untuk mengukur tingkat akurasi dan performa sistem deteksi objek. Pengujian dilakukan dengan menjalankan program validasi yang telah dikembangkan menggunakan kedua varian pustaka YOLOv8 tersebut.

Hasil pengujian selanjutnya digunakan untuk mengevaluasi kinerja masing-masing model berdasarkan parameter mean *Average Precision* (mAP), *Precision*, *Recall*, serta waktu pemrosesan per *frame*.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Tabel 1. Hasil Deteksi Objek Mobil

Kelas	TP		FP		FN	
	N	M	N	M	N	M
Mobil	875	900	0	0	25	0

Pengukuran akurasi dilakukan dengan menggunakan rumus *Precision*, *Recall* dan mAP sebagai berikut:

1. *Precision* (kecocokan bentuk objek)
   a. $\frac{TP}{TP+FP} = \frac{875}{875+0} = 1$ Pustaka N

   b. $\frac{\mathrm{TP}}{\mathrm{TP+FP}} = \frac{900}{900+0} = 1$ Pustaka M
2. *Recall* (kecocokan jumlah objek)
   a. $\frac{\mathrm{TP}}{\mathrm{TP+FN}} = \frac{875}{875+25} = 0.972$ Pustaka N

   b. $\frac{\mathrm{TP}}{\mathrm{TP+FN}} = \frac{900}{900+0} = 1$ Pustaka M

3. mAP@0.5 (rata-rata *presicion* dan *Recall*)
   a. *Recall x Precision* = 0.972 x 1 = 0.972 Pustaka N
   b. *Recall x Precision* = 1 x 1 = 1 Pustaka M
4. mAP@0.5:0.95 (rata-rata AP)
   a. mAP@0.5:0.95 = 0.972 – 0.05 = 0.922
   b. mAP@0.5:0.95= 1

Tabel 2. Hasil Pengukuran Akurasi

Kelas	Gambar	GT (Objek)	*Precision*		*Recall*		mAP@0.5		mAP@0.5:0.95	
			N	M	N	M	N	M	N	M
Mobil	300	900	1	1	0,972	1	0.972	1	0,93	1

Pengukuran performa dilakukan dengan menggunakan program performa antara pustaka N dan M mencatat waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk memproses setiap tangkapan gambar yang diolah, dan hasilnya ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 3. Hasil Pengukuran Performa

Pustaka	Pra-proses (md)	Proses (md)	Pasca-proses (md)
N	0,3	2,7	1,6
M	0,3	9,2	0,7

Waktu eksekusi digunakan sebagai indikator performa sistem, di mana semakin kecil nilai waktu yang dibutuhkan, maka semakin baik efisiensi program serta semakin rendah risiko keterlambatan dalam pemrosesan citra.

Pada tahap pra-proses, yang mencakup persiapan dan pemuatan data gambar, waktu yang dibutuhkan oleh pustaka YOLOv8n adalah 0,3 milidetik, sedangkan pustaka YOLOv8m juga memerlukan waktu 0,3 milidetik.

Pada tahap proses, yaitu saat sistem membaca dan menganalisis informasi objek dalam gambar, waktu eksekusi yang dicapai oleh pustaka YOLOv8n adalah 2,7 milidetik, sementara pustaka YOLOv8m membutuhkan waktu 9,2 milidetik.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Adapun pada tahap pasca-proses, yang meliputi pengumpulan hasil deteksi dan penyajian keluaran dalam bentuk jumlah objek serta skor kecocokan, pustaka YOLOv8n mencatat waktu 1,6 milidetik, sedangkan pustaka YOLOv8m membutuhkan waktu 0,7 milidetik.

3.2. Akurasi Klasifikasi YOLOv8M

Pengukuran akurasi klasifikasi dilakukan dengan menjalankan kembali program *computer vision* menggunakan video uji yang berbeda serta menerapkan pustaka dengan performa terbaik berdasarkan hasil pengujian sebelumnya, yaitu pustaka YOLOv8m. Pada tahap ini, sistem diuji untuk mendeteksi dua jenis objek, yaitu mobil dan orang, guna menilai kemampuan algoritma YOLOv8m dalam membedakan kedua objek tersebut.

Video uji berdurasi satu menit diproses melalui program deteksi, kemudian diekstraksi menjadi 300 *frame* gambar statis sebagai data uji. Hasil deteksi terhadap objek "mobil" dan "orang" ditampilkan sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil Deteksi Orang Dan Mobil

Kelas	TP	FP	FN
	M	M	M
Orang	64	6	24
Mobil	927	0	6

Pengukuran akurasi sistem dilakukan dengan menggunakan tiga metrik evaluasi utama, yaitu *Precision*, *Recall*, dan mean *Average Precision* (mAP), yang masing-masing dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

1. *Precision* (kecocokan objek)
   a. $\frac{TP}{TP+FP} = \frac{64}{64+6} = 0.914$ orang
   b. $\frac{TP}{TP+FP} = \frac{927}{927+0} = 1$ mobil
2. *Recall* (kecocokan jumlah objek)
   a. $\frac{\mathrm{TP}}{\mathrm{TP+FN}} = \frac{64}{64+24} = 0.727$ orang
   b. $\frac{\mathrm{TP}}{\mathrm{TP+FN}} = \frac{927}{927+6} = 0.993$ mobil
3. mAP@50 (rata-rata *presicion* dan *Recall*)
   a. *Recall x Precision* = 0.727 x 0.914 = 0.664 orang
   b. *Recall x Precision* =1 x 0.993 = 0.993 mobil
4. mAP@50:0.95 (rata-rata AP)
   a. mAP@0.5:0.95 = 0.664 – 0.05 = 0.594
   b. mAP@0.5:0.95 $= 0.993 - 0.05 =$ 0.943

Tabel 5. Hasil Pengukuran Akurasi Orang dan Mobil

Kelas	Gambar	Objek	*Precision*	*Recall*	mAP@0.5	mAp@0.5:0.95
Orang	70	88	0.914	0.727	0.664	0.594
Mobil	300	933	1	0. 993	0.933	0.943

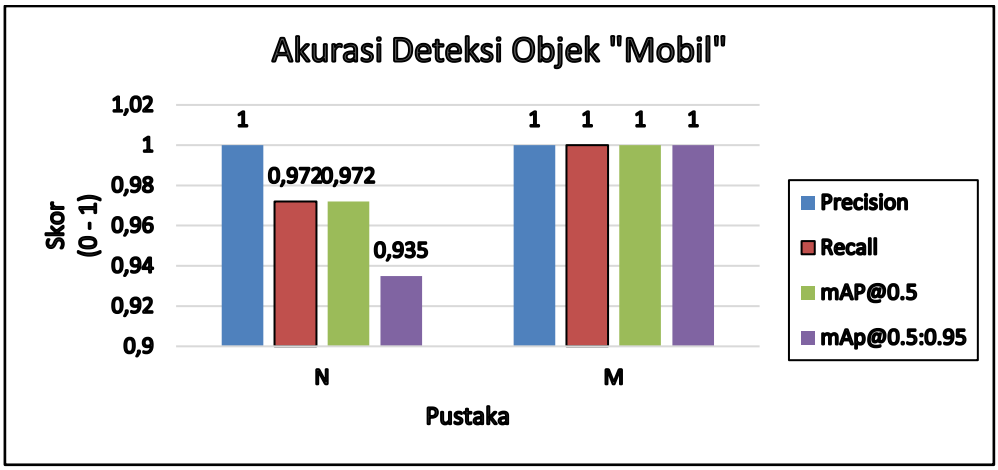
Berdasarkan Tabel 3.4, algoritma YOLOv8m menunjukkan performa yang sangat baik dalam membedakan antara objek mobil dan objek lainnya. Hal tersebut ditunjukkan oleh nilai *Precision* sebesar 1.000 dan *Recall* sebesar 0.993 pada kelas mobil, yang mengindikasikan bahwa model mampu mengenali objek mobil secara konsisten dan akurat.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Sebaliknya, performa deteksi pada kelas orang relatif lebih rendah, dengan nilai *Precision* sebesar 0.914 dan *Recall* sebesar 0.727, yang menunjukkan bahwa model masih mengalami kesulitan dalam mendeteksi objek manusia secara konsisten. Perbedaan ini juga terlihat pada nilai mean *Average Precision* (mAP), di mana kelas mobil memperoleh nilai 0.993 untuk mAP@0.5 dan 0.943 untuk mAP@0.5:0.95, sedangkan kelas orang hanya mencapai 0.664 dan 0.594.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa model YOLOv8m memiliki tingkat efektivitas yang sangat tinggi dalam mendeteksi objek mobil, namun masih memerlukan peningkatan dalam mendeteksi objek orang yang memiliki karakteristik visual lebih bervariasi dan kompleks.

3.3. Hasil Akurasi dan Performa Sistem



Gambar 1. Hasil Akurasi Deteksi Objek Mobil

Nilai skor memiliki rentang antara 0 hingga 1, yang merepresentasikan tingkat akurasi deteksi dari masing-masing pustaka. Semakin besar nilai skor dan semakin mendekati 1, maka hasil deteksi dianggap semakin akurat. Berdasarkan hasil pengukuran akurasi untuk jenis objek mobil, pustaka YOLOv8m (M) menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan pustaka YOLOv8n (N), ditunjukkan oleh nilai skor yang lebih tinggi pada berbagai metrik evaluasi.



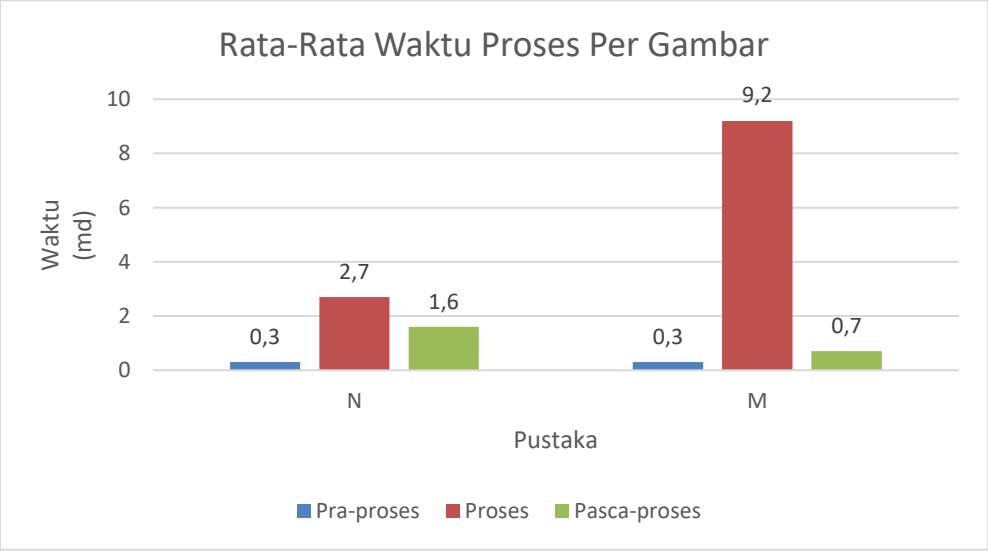
Gambar 2. Pustaka N Gagal Mendeteksi Objek Mobil

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 3. Pustaka M Berhasil Mendeteksi Objek Mobil

Kedua gambar di atas (Gambar 2 dan Gambar 3) memperlihatkan hasil deteksi objek mobil pada area parkir yang dilakukan oleh dua pustaka berbeda dari algoritma YOLOv8. Pada Gambar 2 pustaka YOLOv8n (N) hanya mampu mendeteksi dua mobil, sementara satu mobil di sisi kanan tidak teridentifikasi. Akibatnya, sistem mencatat dua dari dua belas ruang parkir dalam kondisi terisi. Sebaliknya, Gambar 3 menunjukkan bahwa pustaka YOLOv8m (M) berhasil mendeteksi ketiga mobil dengan akurasi tinggi, menghasilkan jumlah ruang parkir terisi sebanyak tiga dari dua belas. Perbedaan hasil tersebut menunjukkan bahwa pustaka YOLOv8m (M) memiliki efektivitas deteksi yang lebih baik dalam mengenali seluruh kendaraan di area parkir.



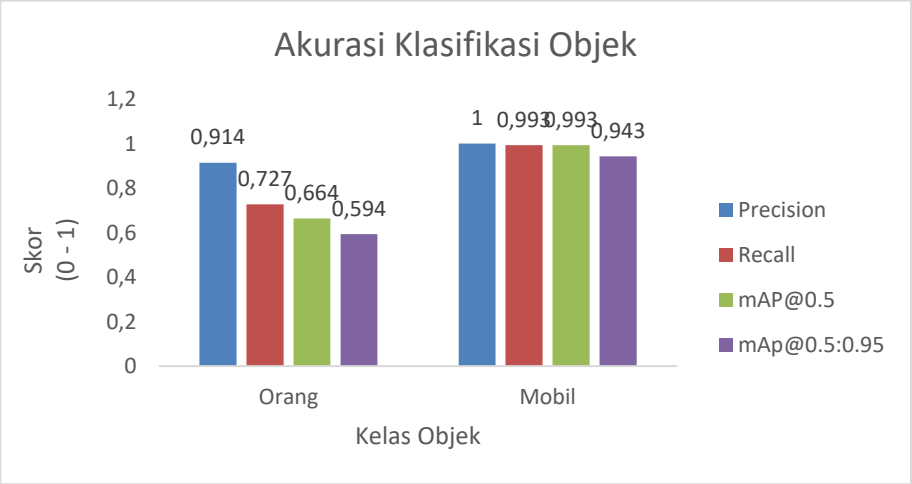
Gambar 4. Rata-Rata Waktu Proses Per Gambar

Waktu pemrosesan per gambar merepresentasikan tingkat kecepatan sistem dalam menjalankan proses deteksi pada program *computer vision*. Semakin kecil waktu yang dibutuhkan, maka semakin cepat dan efisien kinerja sistem tersebut. Kecepatan pemrosesan juga memengaruhi kemampuan sistem dalam mempertahankan akurasi deteksi, dengan mempertimbangkan batas waktu pemrosesan berdasarkan *frame* rate video yang digunakan. Pada video dengan kecepatan 30 *frame per second* (fps), sistem harus mampu memproses satu gambar dalam waktu maksimum 33 milidetik agar dapat berjalan secara *real-time*.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Berdasarkan hasil pengukuran (Gambar 4), pustaka YOLOv8n (N) memiliki rata-rata waktu pemrosesan sebesar 4,6 milidetik, sedangkan pustaka YOLOv8m (M) membutuhkan waktu rata-rata 10,2 milidetik. Dengan demikian, pustaka N terbukti lebih cepat dibandingkan pustaka M dengan selisih rata-rata sebesar 5,6 milidetik. Namun, mengacu pada batas waktu 33 milidetik per gambar, kedua pustaka masih berada dalam rentang pemrosesan yang layak untuk aplikasi deteksi *real-time*.

3.4. Hasil Akurasi Klasifikasi Objek



Gambar 5 Hasil Klasifikasi Objek

Grafik pada Gambar 5 memperlihatkan perbandingan nilai *Precision*, *Recall*, mAP@0.5, dan mAP@0.5:0.95 antara dua kelas objek, yaitu "orang" dan "mobil". Berdasarkan hasil tersebut, deteksi terhadap objek mobil menunjukkan performa yang jauh lebih unggul dibandingkan objek orang pada seluruh metrik evaluasi. Nilai *Precision* dan *Recall* untuk mobil masing-masing mencapai 1 dan 0,993, sedangkan untuk orang hanya sebesar 0,914 dan 0,727. Perbedaan yang signifikan juga terlihat pada nilai mAP, di mana kelas mobil memperoleh skor 0,993 (mAP@0.5) dan 0,943 (mAP@0.5:0.95), sementara kelas orang hanya mencapai 0,664 dan 0,594.

Hasil ini menunjukkan bahwa model YOLOv8M memiliki tingkat efektivitas dan konsistensi yang jauh lebih baik dalam mendeteksi objek mobil dibandingkan objek manusia, terutama dalam konteks lingkungan parkir yang menjadi fokus penelitian ini.



Gambar 6. Objek Mobil Terdeteksi

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Kemampuan akurasi deteksi objek memiliki pengaruh yang signifikan terhadap sistem perhitungan slot parkir. Kesalahan dalam proses klasifikasi dapat menyebabkan terjadinya ketidaksesuaian data, seperti slot kosong yang terdeteksi sebagai terisi atau sebaliknya. Kondisi tersebut dapat menurunkan akurasi keseluruhan sistem pemantauan parkir. Contoh hasil klasifikasi objek ditunjukkan pada Gambar 6, yang memperlihatkan bahwa meskipun terdapat lebih dari satu objek dalam satu *frame*, sistem tetap mampu menghitung jumlah slot parkir secara tepat tanpa mengalami gangguan pada proses deteksi.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penerapan algoritma YOLOv8 pada sistem pemantauan ruang parkir otomatis berbasis computer vision menunjukkan kinerja yang sangat baik dalam mendeteksi objek kendaraan. Hasil pengujian terhadap video area parkir memperlihatkan bahwa sistem mampu mendeteksi objek mobil sebanyak 900 kali dengan tingkat akurasi yang tinggi. Perbandingan antara pustaka YOLOv8N dan YOLOv8M menunjukkan bahwa YOLOv8M memiliki nilai Precision, Recall, mAP@0.5, dan mAP@0.5:0.95 yang lebih tinggi dibandingkan YOLOv8N, sehingga menghasilkan deteksi yang lebih akurat. Meskipun waktu pemrosesan per gambar pada pustaka YOLOv8M sedikit lebih lama, yaitu rata-rata 10,2 milidetik dibandingkan 4,6 milidetik pada YOLOv8N, keduanya masih berada dalam batas waktu proses video 30 fps, sehingga tetap layak untuk digunakan secara real-time.

Selain itu, hasil pengujian multikategori menggunakan pustaka YOLOv8M terhadap video yang berisi objek mobil dan orang menunjukkan bahwa model mampu mengenali mobil secara konsisten dan akurat, dengan nilai Precision sebesar 1 dan Recall sebesar 0.993. Keberadaan objek lain, seperti “orang”, tidak memengaruhi akurasi perhitungan jumlah slot parkir yang terisi, menandakan bahwa sistem mampu melakukan deteksi dan klasifikasi secara stabil. Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa algoritma YOLOv8M merupakan pilihan yang optimal untuk implementasi sistem deteksi objek pada pemantauan ruang parkir otomatis, karena memiliki keseimbangan antara akurasi tinggi dan performa pemrosesan yang efisien.

Referensi

[1] K. S. Salamah, “Rancang Bangun Kontrol Smart Parking Otomatis Berbasis Arduino,” vol. 10, no. 1, pp. 34–39, 2019.

[2] A. Muzaki *et al.*, “Deteksi Ketersediaan Lahan Parkir Dengan Menggunakan OpenCV,” vol. 3, pp. 237–244, 2024.

[3] T. U. Anastasia, A. Mufti, and A. Rahman, “Rancang Bangun Sistem Parkir Otomatis dan Informatif Berbasis Mikrokontroler ATmega2560,” vol. 2, no. 1, pp. 29–34, 2017.

[4] S. Si *et al.*, *COMPUTER VISION DAN PENGOLAHAN CITRA DIGITAL*. .

[5] G. Bradski and A. Kaehler, *No Title*. .

[6] A. Rachmaniar, D. Diana, M. Saefudin, and R. Parulian, “Application Of Computer Vision Detection Of Apples And Oranges Using Python Language,” vol. 6, no. 2, pp. 455–466, 2022, doi: 10.52362/jisicom.v6i2.946.

[7] I. Winetra, I. Prayudha, and N. Saptarini, “PERANCANGAN SISTEM PENDETEKSI TEMPAT PARKIR MOBIL MENGGUNAKAN METODE YOU ONLY LOOK ONCE (YOLO) DI POLITEKNIK NEGERI BALI,” *J. Teknol. Inf. dan Komput.*, vol. 10, 2025, doi: 10.36002/jutik.v10i4.3577.

[8] D. P. Vukovac, V. Kirinic, and B. Klicek, “A Comparison of Usability Evaluation Methods for e-Learning Systems,” *DAAAM Int. Sci. B. 2010*, pp. 271–288, 2010, doi:

10.2507/daaam.scibook.2010.27.

[9] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhadi, "You Only Look Once : Unified , Real-Time Object Detection."

[10] E. Tanuwijaya and C. Fatichah, "Penandaan Otomatis Tempat Parkir Menggunakan YOLO untuk Mendeteksi Ketersediaan Tempat Parkir Mobil pada Video CCTV 1," vol. 5, pp. 189–198, 2020.

[11] G. Ryani and C. Kurnia, "DALAM KONTRA TERORISME."

[12] L. Perkovic, *Introduction to Computing Using Python: An Application Development Focus*. Wiley, 2011.

[13] Paramita, C., Suprianto, C., & Putra, R. (2024). Comparative Analisis Of YOLOv5 and YOLOv8 Cigarete Detection in Social Media Content. Jurnal Teknik Informatika dan Komputer. Vol. 11, Hal. 343-345.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

ID: 39

Sistem Pengamanan Kendaraan Bermotor Berbasis Iot Menggunakan Nodemcu Esp8266 Dan Aplikasi Telegram

Vehicle Security System Based on IoT Using NodeMCU ESP8266 and Telegram Application

Aldi Wertanala[1], Fadila Okyan Nirwana[2], Seta Samsiana[3], Andi Hasad[4], Muhammad Ilyas Sikki[5]
[1,2,3,4,5] Universitas Islam 45 Bekasi
Jl. Cut Mutia No.83, Margahayu, Kec. Bekasi Timur, Kota Bekasi, Jawa Barat 17113, (021) 8808851
wertanala@gmail.com[1],okyannirwana@gmail.com[2*], seta@unismabekasi.ac.id[3],
andi_hasad@unismabekasi.ac.id[4], m.ilyassikki@unismabekasi.ac.id[5]

Abstrak – *Peningkatan penggunaan kendaraan bermotor dalam berbagai sektor seperti transportasi, logistik, dan jasa daring telah mendorong kebutuhan akan sistem keamanan kendaraan yang lebih efisien, aman, dan dapat dikendalikan dari jarak jauh. Sistem keamanan konvensional seperti kunci mekanis dan alarm suara dinilai belum mampu memberikan perlindungan optimal terhadap risiko pencurian kendaraan. Dengan perkembangan teknologi Internet of Things (IoT), sistem pengendalian dan pemantauan kendaraan kini dapat diintegrasikan secara digital dan dikendalikan melalui jaringan internet. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang, menciptakan, dan menerapkan sistem keamanan kendaraan bermotor berbasis IoT menggunakan NodeMCU ESP8266 dan aplikasi Telegram. Metode penelitian yang digunakan meliputi studi literatur, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, serta pengujian langsung di lapangan. NodeMCU ESP8266 berfungsi sebagai pengendali utama yang terhubung dengan sensor GPS, modul relay, dan aplikasi Telegram sebagai antarmuka pengguna. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini mampu bekerja secara real-time dengan tingkat akurasi dan respons yang baik, serta memiliki kestabilan performa di berbagai kondisi jaringan. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi solusi inovatif untuk meningkatkan keamanan kendaraan serta menjadi referensi bagi pengembangan sistem IoT serupa di masa mendatang.*

Kata Kunci*: Pengamanan Motor, Internet of Things (IoT), NodeMCU8266 and Smartphone Applications*

.

Abstract – *The increasing use of motor vehicles in various sectors such as transportation, logistics, and online services has created a growing demand for a more efficient, secure, and remotely controlled vehicle security system. Conventional security methods, including mechanical locks and sound alarms, are often inadequate to provide optimal protection against vehicle theft. With the advancement of Internet of Things (IoT) technology, vehicle monitoring and control systems can now be digitally integrated and managed through internet connectivity. Based on this background, this research aims to design, develop, and implement an IoT-based vehicle security system using NodeMCU ESP8266 and the Telegram application. The research methodology includes literature study, hardware and software design, and direct field testing. The NodeMCU ESP8266 functions as the main controller connected to a GPS module, relay components, and the Telegram application as a user interface. Experimental results show that the system operates in real time with good accuracy, fast response, and stable performance under various network conditions. This study is expected to provide an innovative solution for improving vehicle security and to serve as a reference for future development of IoT-based remote control systems.*

Keywords*: Safety, Internet of Things (IoT), NodeMCU8266 and Smartphone Applications*

1. Pendahuluan

Pada era saat ini aktivitas menggunakan kendaraan semakin meningkat seperti penggunaan kurir pengantar barang, ojek online, rental dan sebagainya. Kendaraan merupakan alat transportasi yang sangat penting untuk mempersingkat waktu saat melakukan perjalanan. Peningkatan kebutuhan kendaraan yang tidak diimbangi dengan kemampuan untuk memenuhi kebutuhannya berpotensi menyebabkan bertambahnya tindak kriminalitas antara lain dalam bentuk pencurian kendaraan khususnya sepeda motor [1].

Sejauh ini untuk keamanan motor kebanyakan masih menggunakan keamanan tambahan berupa fisik seperti pengunci cakram, gembok, rantai dan sebagainya yang pada umumnya sangat mudah bagi pelaku kejahatan untuk dapat menembus keamanan kendaraan motor. Produsen motor juga telah memasang alarm yang menggunakan suara sebagai indikator sebagai sistem keamanan standar. Alarm ini menghasilkan suara melalui Speaker yang terpasang pada kendaraan yang berfungsi untuk memberikan peringatan kepada pemilik kendaraan dan lingkungan sekitar bahwa alarm aktif [2].

Terdapat beberapa penelitian terdahulu yang membahas tentang pendeteksi kendaraan jarak jauh yang berbasis NodeMCU, Pada penelitian sebelunya menurut Andi Boy Panroy tahun 2021 mengimplementasikan sebuah Sistem Keamanan Sepeda Motor berbasis IoT menggunakan modul WiFi NodeMCU ESP8266 yang dapat dikendalikan menggunakan aplikasi telegram dengan tujuan untuk mencegah terjadinya pencurian sepeda motor. Pada penelitian Ari Putra, pada tahun 2021 menjelaskan sebuah rancangan sistem yang di bangun dengan sistem keamanan kendaraan motor berbasis Internet Of Things (IoT) dengan alat utama NodeMCU dengan di sistem yang di bangun dengan sistem keamanan kendaraan motor berbasis Internet Of Things (IoT) dengan alat utama NodeMCU dengan di sambungkan Ke aplikasi telegram yang bisa di akses menggunakan Handphone di Playstore. Dan sepeda motor ini akan menerima getaran maka ban akan otomatis terkunci, kemudian notifikasi akan dikirim ke aplikasi telegram yang ada di Smart Phone, dan menggunakan sensor getar.

Dengan latar belakang tersebut, maka penulis tertarik untuk meneliti dengan judul "Sistem Pengamanan Kendaraan Bermotor Berbasis Iot Menggunakan Nodemcu Esp8266 Dan Aplikasi Telegram". Dalam konteks ini, NodeMCU ESP8266 menawarkan solusi inovatif dengan mengintegrasikan sensor GPS, dan Modul GSM, dan sistem pengiriman titik kordinat dari sensor GPS dikirimkan melalui SMS untuk meningkatkan efisiensi dalam pengendali kendaraan jarak jauh

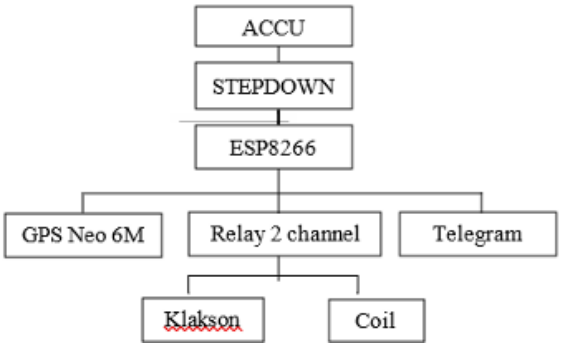
2. Metode Penelitian

Penelitian ini, tertuju pada objek yang akan diteliti yaitu untuk menciptakan sistem Kendali kendaraan jarak jauh berbasis NodeMCU yang dapat dikontrol dengan sensor GPS dan sensor GSM. Penelitian ini menggunakan perangkat keras seperti sensor, mikrokontroler dan koneksi Jaringan Seluler untuk mengumpulkan data dan mengirim data. Pada Relay untuk mematikan Kendaraan Bermotor.

2.1. Perancangan Sistem

Perancangan alat yang dilakukan bertujuan untuk mempermudah dalam penyelesaian Penelitian. Peneliti merancang sistem ini yang di buat dalam bentuk blok diagram. Pada gambar 3.4. merupakan skema perancangan untuk pengerjaan sistem pegendalian jarak jauh yang berbasis NodeMCU ESP 8266, Peneliti menggunakan ACCU untuk memberikan daya ke Step Down yang menghasilkan output 4,7 Volt, lalu Step Down Converter akan menyalurkannya ke seluruh sistem. ESP8266 akan mengatur sensor GPS Neo6, Mengendalikan Relay 2 channel, serta berkomunikasi dengan Telegram untuk menerima perintah jarak jauh.

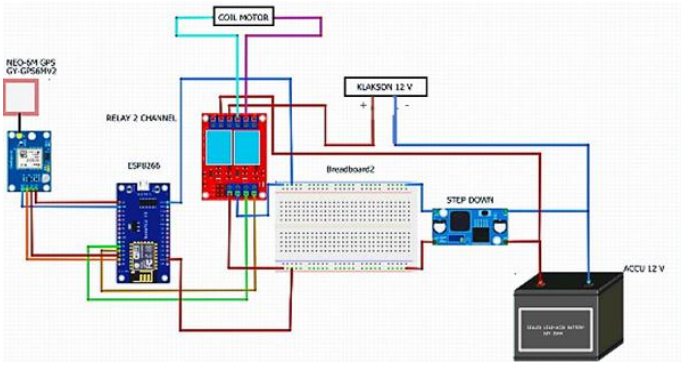
ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 1. Perancangan Sistem

2.2. Perancangan Perangkat Keras

Sistem kontrol kendaraan jarak jauh ini menggunakan modul GPS Neo 6M yang dikendalikan melalui aplikasi Telegram, sehingga memudahkan pelacakan kendaraan secara Real-Time. Setelah ESP 8266 menerima data yang dikirim, data tersebut akan diteruskan ke Telegram untuk mengontrol kendaraan jarak jauh. Dengan cara ini, kita dapat memperoleh koordinat dari modul GPS Neo 6M untuk mengetahui lokasi kendaraan. Dalam proses ini, Relay digunakan untuk 17 menghidupkan dan mematikan kendaraan yang terhubung dengan Coil Motor, memutuskan arus dari Coil Kebusi. Relay juga memungkinkan kita untuk mengaktifkan dan menonaktifkan klakson yang terhubung ke Relay. Fungsi dari akumulator (ACCU) adalah untuk memberikan tegangan 12V sebagai pasokan daya ke komponen yang terhubung, dan diperlukan Step-Down untuk menurunkan tegangan menjadi 4,7V. Hal ini diperlukan karena ESP dan Relay membutuhkan daya maksimum, dan 4,7V adalah angka yang aman untuk menghindari kerusakan.



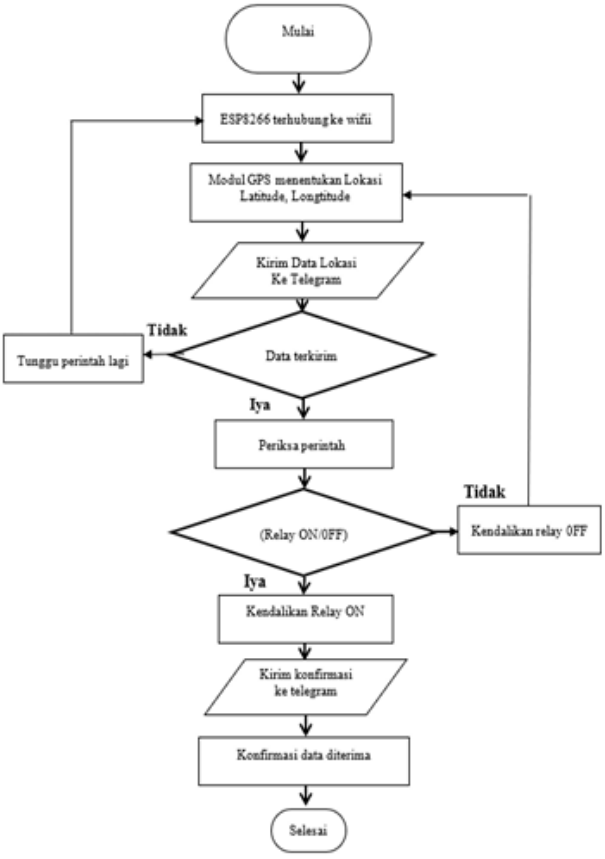
Gambar 2. Perancangan Perangkat Keras

2.3. Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak, sistem ini menggunakan aplikasi Arduino IDE untuk menulis, mengompilasi, dan mengunggah kode program ke mikrokontroler NodeMCU ESP8266. Program tersebut berfungsi untuk mengendalikan sensor dan perangkat seperti GPS serta modul relay, sekaligus berkomunikasi dengan aplikasi Telegram sebagai antarmuka pengguna jarak jauh. Setelah semua library sensor diinstal dan program dinyatakan bebas dari error, kode diunggah ke NodeMCU untuk menjalankan proses pengendalian sistem. NodeMCU ESP8266 berperan mengirimkan data lokasi (latitude dan longitude) yang diperoleh dari modul GPS ke aplikasi Telegram, kemudian mengirimkan pesan konfirmasi atau *feedback* setiap kali relay diaktifkan atau dimatikan sesuai perintah pengguna. Alur kerja sistem dimulai dari inisialisasi perangkat, pembacaan data sensor GPS, pengiriman data lokasi, hingga penerimaan perintah dari Telegram.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Jika perintah diterima, NodeMCU akan memeriksa jenis instruksi untuk menentukan status relay (ON/OFF). Apabila perintah adalah “ON”, maka relay akan diaktifkan; jika “OFF”, maka relay akan dimatikan. Setelah semua proses selesai, sistem akan mengirimkan konfirmasi ke Telegram dan menunggu perintah berikutnya. Perancangan ini memastikan komunikasi berjalan dua arah secara real-time, sehingga pengguna dapat memantau dan mengontrol kendaraan dari jarak jauh dengan mudah, cepat, dan efisien.



Gambar 3. Perancangan Perangkat Lunak

3. Hasil dan Pembahasan

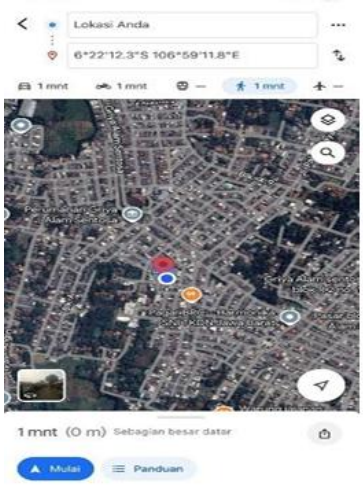
Hasil perancangan ini merupakan suatu hasil dan pembahasan dari perancangan sistem, selain itu perancangan ini akan mengetahui pengujian sensor dengan cara kerja dan fungsi di setiap masing-masing komponen yang digunakan. Langkah - langkah untuk mengoperasikan alat ini yaitu, Dengan Menguji sensor GPS untuk menentukan titik lokasi motor, yang nantinya akan ditampilkan di serial monitor dan aplikasi Telegram. Selain itu, Modul Relay digunakan untuk mematikan kendaraan, serta Speaker yang digunakan berfungsi untuk memberikan alarm atau Tanda lokasi motor berada.

3.1. Hasil Pengujian

3.1.1. Pengujian Akurasi Lokasi

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan di beberapa lokasi, GPS Tracker menunjukkan tingkat akurasi yang cukup baik sesuai dengan nilai latitude dan longtitude. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem GPS Tracker dapat memberikan informasi lokasi yang cukup akurat untuk kebutuhan pelacakan.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 4 tampilan lokasi pengujian selisih jarak

Tabel 1. Hasil pengujian selisih jarak

notasi	perintah	Latitude	Longitude	Selisih jarak	Selisih waktu
/1	Lokasi	-6.37008	106.9866	0 m	00.00.05
/1	Lokasi	-6.27228	107.0299	0 m	00.03.43
/1	Lokasi	-6.37203	106.989	0 m	00.03.04
/1	Lokasi	-6.37022	106.9866	0 m	00.03.17
/1	Lokasi	-6.37006	106.9865	0 m	00.03.57

Rata-rata respon *2,65* detik

3.1.2. Pengujian Kestabilan Sistem

Selama pengujian kestabilan, sistem GPS Tracker mampu bertahan hingga lebih dari 24 jam sinyal operasi tanpa ada gangguan signifikan. Data yang diterima tetap konsisten, dan tidak ditemukan kehilangan GPS yang mengganggu pelacakan.

Tabel 2. Hasil selisih respon waktu pengujian /2 matikan motor

Notasi	Perintah	Jam	Respon	Selisih Waktu
/ 2	Matikan motor	11.51	11.51	00.03,35 detik
/ 2	Matikan motor	20.37	20.37	00.03,42 detik
/ 2	Matikan motor	20.39	20.39	00.03,14 detik
/ 2	Matikan motor	20.39	20.39	00.02,05 detik
/ 2	Matikan motor	20.40	20.40	00.03,57 detik

Rata-rata respon 3,92 detik

Tabel 5. Hasil selisih respon waktu pengujian /5 matikan klakson

Notasi	Perintah	Jam	Respon	Selisih Waktu
/ 5	Matikan klakson	14.14	14.14	00.02,29 detik
/ 5	Matikan klakson	11.51	11.51	00.03,35 detik
/ 5	Matikan klakson	11.54	11.54	00.06,42 detik
/ 5	Matikan klakson	11.53	11.53	00.00,05 detik
/ 5	Matikan klakson	11.56	11.56	00.05,97 detik

Rata-rata selisih waktu 3,61 detik

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Berdasarkan hasil pengujian, sistem menunjukkan tingkat akurasi dan kestabilan yang baik dalam merespons perintah dari aplikasi Telegram. Pada pengujian notasi /1 (lokasi motor), rata-rata waktu respon tercatat 2,65 detik, dengan hasil GPS yang akurat sesuai nilai *latitude* dan *longitude*. Pengujian /2 (matikan motor) memiliki rata-rata respon 3,92 detik, /3 (hidupkan motor) sebesar 1 menit 3 detik, /4 (hidupkan klakson) sebesar 3,71 detik, dan /5 (matikan klakson) sebesar 3,61 detik. Rata-rata respon sistem berkisar 3 detik, kecuali pada perintah /3 yang mengalami keterlambatan akibat jaringan internet yang kurang stabil. Secara keseluruhan, sistem mampu memberikan umpan balik secara real-time dan stabil selama pengujian. Selain itu, ketika menerima perintah di luar notasi yang ditentukan, seperti "/6", sistem secara otomatis menampilkan pesan "PERINTAH TIDAK DIKENAL", menunjukkan bahwa sistem memiliki logika validasi perintah yang berfungsi dengan baik.

3.2. Tampilan Menu Pada Telegram



Gambar 5. Tampilan Telegram Ketika sudah Membuat Bot

Pada gambar 5 tampilan aplikasi Telegram setelah login digunakan untuk memantau dan mengendalikan perangkat IoT. Antarmukanya dirancang sederhana dan mudah dimengerti oleh banyak orang, dengan beberapa elemen utama seperti saluran komunikasi yang berisi informasi data, posisi, dan status perangkat. Setelah membuat saluran di Telegram dan menghubungkan perangkat dengan bot Telegram, kita bisa mengirim dan menerima data melalui pesan yang diteruskan ke bot tersebut.

Setelah perangkat terhubung ke Telegram, data bisa ditampilkan atau dikirim melalui chat bot, yang kemudian bisa dilihat oleh pengguna. Data ini bisa berupa informasi status perangkat, lokasi (misalnya data dari GPS), atau data lainnya yang dikumpulkan oleh perangkat. Namun, sebelum memulai proses pengambilan dan pengiriman data, pastikan perangkat terhubung dengan jaringan Wi-Fi atau internet. Dengan koneksi yang stabil, data yang dihasilkan oleh perangkat dapat langsung ditampilkan dan diterima oleh pengguna melalui Telegram dengan cepat.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan mengenai sistem pengendalian kendaraan jarak jauh berbasis NodeMCU ESP8266, dapat disimpulkan bahwa sistem ini berhasil dirancang untuk memberikan keamanan tambahan pada kendaraan bermotor. Lapisan komunikasi menggunakan Telegram Bot berfungsi sebagai antarmuka berbasis chat yang memungkinkan pengguna mengontrol dan memantau kendaraan secara real-time. Modul GPS mampu mengirimkan data lokasi kendaraan dengan tingkat akurasi yang baik serta dapat diakses dari jarak jauh. Hasil pengujian menunjukkan bahwa waktu respon sistem bervariasi tergantung pada jenis perintah yang diberikan. Perintah untuk menampilkan lokasi kendaraan memiliki rata-rata waktu respon sebesar 2,65 detik, perintah mematikan motor 3,92 detik, dan perintah menghidupkan motor 1 menit 3 detik yang disebabkan oleh kondisi jaringan internet yang kurang stabil. Sementara itu, perintah untuk menghidupkan dan mematikan klakson menunjukkan waktu respon rata-rata sekitar 3 detik. Selain itu, sistem juga dilengkapi dengan fitur validasi perintah yang mampu memberikan pesan

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

otomatis “Maaf, perintah tidak dikenal” jika menerima input yang tidak sesuai, sehingga meningkatkan keandalan dan keamanan sistem secara keseluruhan.

Referensi

[1] Abayuni, Smart Tracking Motorcycle Berbasis Global Positioning System (GPS), Tesis, Universitas Komputer Indonesia (UNIKOM), 2016.

[2] M. Achsanudin and F. Rifai, Pemeliharaan Listrik Sepeda Motor untuk SMK/MAK Kelas XI, Jakarta: Gramedia Widiasarana Indonesia, 2021.

[3] Z. Baridwan, Intermediate Accounting, Yogyakarta: BPFE, 2004.

[4] S. Beta and S. Astuti, “Modul Timbangan Benda Digital,” Majalah Ilmiah Pengembangan Rekayasa dan Sosial, vol. 15, pp. 160–166, Nov. 2019. doi: http://dx.doi.org/10.32497/orbith.v15i3.1942.

[5] M. Butar-Butar and Y. T. Samuel, “Perancangan Sistem Kendali Kendaraan Bermotor Jarak Jauh Menggunakan NodeMCU ESP8266,” Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi, vol. 9, no. 1, 2019.

[6] N. H. Dewi, M. Rohmah, and S. Zahara, “Prototype Smart Home dengan Modul NodeMCU ESP8266 Berbasis Internet of Things (IoT),” Repositori Universitas Islam Majapahit, 2019.

[7] Gusmanto, B. W. Sanjaya, and E. D. Marindani, “Rancang Bangun Sistem Peringatan Dini dan Pelacakan pada Kendaraan Sepeda Motor Menggunakan Mikrokontroler Arduino Nano,” 2016.

[8] R. Hamdani, H. Puspita, and D. R. Wildan, “Pembuatan Sistem Pengamanan Kendaraan Bermotor Berbasis Radio Frequency Identification (RFID),” Jurnal Teknik Elektro, vol. 8, no. 2, 2019.

[9] JOTRIN, “PAM8610 Audio Stereo Amplifier Module,” JOTRIN.com, Nov. 23, 2023. [Online]. Available: https://www.jotrin.com/technology/details/pam8610-audio-stereo-amplifier-module

[10] M. A. Laili, Sumiati, and A. Triayudi, “Pendekatan NodeMCU dan Apps Blynk Berbasis Android untuk Sistem Monitoring Keamanan Kendaraan Motor,” Jurnal Sistem Informasi, vol. 9, no. 2, Sept. 2022.

[11] N. B. Laksono and Z. A. Supa, “Studi Performa Aki Merk GS Astra Ketika Proses Charge-Discharge Sel Aki Pb-PbO2 ” Jurnal Energi dan Listrik, vol. 9, no. 3, pp. 17–23, 2020.

[12] Nusyirwan and Alfarizi, “Fun Book: Rak Buku Otomatis Berbasis Arduino dan Bluetooth,” Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Kejuruan, vol. 12, pp. 94–206, 2019.doi: https://doi.org/10.20961/jiptek.v12i2.31140.

[13] Y. Somadinata, 1000+ Penemuan Menakjubkan di Dunia, Jakarta: Elex Media Komputindo, 2016.

[14] Telegram Messenger LLP, “Telegram (perangkat lunak),” Wikipedia Ensiklopedia Bebas, Jan 1, 2024. [Online]. Available: https://id.wikipedia.org/wiki/Telegram_(perangkat_lunak)

[15] M. Thoriq and F. Baskoro, “Rancang Bangun Sistem Keamanan Kendaraan Bermotor Berbasis Internet of Things dengan Modul NodeMCU V3 ESP8266,” Jurnal Teknik Elektro, vol. 9, no. 3, 2020.

[16] Y. Tjandi, “Prototype Alat Kendali Listrik Berbasis Relay Arduino,” Information Technology Education Journal, 2022

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

ID: 40

Sistem Pemantauan Botol Infus Pasien Berbasis IoT

IoT-Based Patient Infusion Bottle Monitoring System

Firman Choiri Okta[1], Muhammad Al Farizin[2], Seta Samsiana[3], Sugeng[4], Sri Marini[5]
[1, 2, 3, 4]Universitas Islam 45 Bekasi
Jalan Cut Mutia Raya No. 83, Margahayu, Kota Bekasi, 17113
firmanchoirio.fco@gmail.com[1], alfarizin28zx@gmail.com[2*], seta@unismabekasi.ac.id[3],
sugeng@unismabekasi.ac.id[4], srimarini@unismabekasi.ac.id[5]

Abstrak – *Pada sektor kesehatan, pemberian cairan melalui infus intravena merupakan salah satu prosedur vital dalam proses pemulihan pasien. Meskipun demikian, kegiatan pemantauan serta penggantian botol infus sering kali menjadi tantangan bagi pihak rumah sakit karena keterbatasan jumlah tenaga medis dan waktu kerja. Sistem pemantauan infus yang masih dilakukan secara manual kerap mengakibatkan keterlambatan dalam penanganan ketika cairan infus telah habis, yang pada akhirnya dapat meningkatkan risiko terbentuknya bekuan darah pada pasien. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini dilakukan untuk merancang dan mengembangkan perangkat pemantauan serta sistem peringatan otomatis terhadap kondisi botol infus pasien berbasis Internet of Things (IoT) yang menampilkan data secara waktu nyata melalui laman web. Metode penelitian yang digunakan meliputi studi literatur, perancangan sistem, perakitan perangkat, dan pengujian performa sistem. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat yang dikembangkan berupa tiang infus dengan sensor beban terintegrasi dan aplikasi web mampu memberikan informasi mengenai volume cairan infus secara langsung dari ruang perawat. Perbandingan hasil pengukuran antara sensor dan timbangan digital menunjukkan persentase galat sebesar 0,11% pada sensor beban A dan 0,14% pada sensor beban B. Sementara itu, hasil pengujian terhadap variasi kecepatan aliran infus menunjukkan perbedaan yang sangat kecil, dengan kisaran nilai antara -0,04% hingga -0,19%. Berdasarkan hasil tersebut, sistem yang dirancang terbukti memiliki tingkat akurasi dan efisiensi yang tinggi dalam memantau kondisi botol infus pasien.*

Kata Kunci*: Pemantauan, Infus, Load cell, IoT*

.

Abstract – *In the healthcare sector, administering fluids through intravenous infusion is one of the vital procedures in the patient recovery process. However, monitoring and replacing infusion bottles often pose a challenge for hospitals due to limited medical personnel and working hours. Manual infusion monitoring systems often result in delays in treatment when the infusion fluid has run out, which can ultimately increase the risk of blood clots in patients. Based on these issues, this study was conducted to design and develop a monitoring device and automatic warning system for patient infusion bottles based on the Internet of Things (IoT) that displays data in real time via a web page. The research methods used included literature studies, system design, device assembly, and system performance testing. The test results showed that the developed device, consisting of an infusion pole with an integrated load sensor and a web application, was able to provide information about the volume of infusion fluid directly from the nursing room. A comparison of the measurement results between the sensors and digital scales showed an error percentage of 0.11% for load sensor A and 0.14% for load sensor B. Meanwhile, the results of testing the variation in infusion flow rate showed very small differences, with values ranging from -0.04% to -0.19%. Based on these results, the designed system has been proven to have a high level of accuracy and efficiency in monitoring the condition of patient infusion bottles.*

Keywords*: Monitoring, Infusion, Load cell, IoT*

1. Pendahuluan

Pada bidang kesehatan, pemberian cairan melalui infus intravena merupakan salah satu prosedur penting dalam proses pemulihan pasien. Infus intravena berfungsi untuk menggantikan kehilangan cairan atau nutrisi dari tubuh dengan memasukkan cairan secara langsung ke dalam pembuluh vena melalui jarum. Proses ini membutuhkan pemantauan yang cermat agar cairan infus dapat diberikan secara optimal dan aman bagi pasien [1], [2].

Pemantauan botol infus masih menjadi tantangan di berbagai rumah sakit karena keterbatasan jumlah tenaga medis dan padatnya aktivitas pelayanan. Dalam praktiknya, perawat harus melakukan pengecekan secara berkala ke setiap ruangan untuk memastikan volume cairan infus pasien tetap mencukupi. Kondisi ini tidak efisien, karena selain memakan waktu, keterlambatan dalam penggantian botol infus dapat menimbulkan risiko serius bagi pasien, seperti terbentuknya bekuan darah akibat tekanan negatif pada selang infus ketika cairan telah habis [3], [4]. Bekuan darah yang tersedot kembali ke pembuluh vena berpotensi menyebabkan emboli pada paru-paru atau gangguan sirkulasi darah lainnya [5].

Hingga saat ini, sebagian besar sistem pemantauan infus di rumah sakit masih dilakukan secara manual tanpa dukungan teknologi otomatisasi. Beberapa penelitian seperti [6], [7] telah mengembangkan sistem pemantauan berbasis sensor, namun sebagian besar masih bersifat lokal dan belum terintegrasi dengan sistem pemantauan jarak jauh secara waktu nyata. Berdasarkan hal tersebut, diperlukan suatu inovasi yang dapat membantu tenaga medis dalam memantau kondisi infus pasien secara efisien dan akurat. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk merancang dan mengembangkan sistem pemantauan botol infus pasien berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mampu menampilkan data volume cairan secara waktu nyata melalui laman web. Sistem ini diharapkan dapat membantu tenaga medis dalam meminimalkan keterlambatan penggantian botol infus serta meningkatkan kualitas pelayanan di rumah sakit.

2. Metode Penelitian

Setelah dilakukan identifikasi terhadap permasalahan dan penetapan tujuan penelitian, langkah berikutnya adalah menentukan metode penelitian yang digunakan untuk merancang serta menguji sistem pemantauan botol infus pasien berbasis IoT. Metode penelitian ini disusun secara sistematis agar setiap tahapan, mulai dari proses perancangan perangkat keras, pengembangan perangkat lunak, hingga pengujian kinerja sistem, dapat dilakukan secara terukur dan menghasilkan data yang valid. Pada setiap tahap, penelitian ini menekankan aspek ketepatan rancangan, keakuratan pengambilan data, serta keandalan sistem yang dihasilkan agar hasil yang diperoleh dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Dengan penerapan metode yang terstruktur dan berorientasi pada keakuratan, diharapkan sistem yang dikembangkan mampu berfungsi secara optimal sesuai tujuan penelitian serta memberikan kontribusi nyata dalam peningkatan efektivitas pemantauan cairan infus pasien di lingkungan rumah sakit.

2.1. Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini digunakan sejumlah alat dan bahan yang berperan penting dalam proses perancangan, perakitan, dan pengujian sistem pemantauan botol infus pasien berbasis Internet of Things (IoT). Pemilihan komponen dilakukan secara selektif agar perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan mampu bekerja secara optimal, akurat, dan mudah diintegrasikan antara sistem elektronik dan aplikasi web. Berikut disajikan Tabel 1 yang memuat daftar alat penelitian serta Tabel 2 yang berisi daftar bahan yang digunakan untuk mendukung proses perancangan dan implementasi sistem pemantauan botol infus berbasis IoT.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Tabel 1. Alat Yang Digunakan

No	Nama Alat	Jumlah (Unit)
1	Laptop	1
2	Arduino IDE	1
3	*Visual Studio Code*	1
4	Fritzing	1
5	Solder	1
6	Atraktor	1
7	Obeng + dan -	1
8	Mistar	1
9	Tang Potong	1
10	Cutter	1
11	Cutter Akrilik	1
12	Tespen	1

Tabel 2. Bahan Yang Digunakan

No	Nama Bahan	Jumlah
1	Sensor Load Cell	2 Unit
2	Modul HX-711	2 Unit
3	NodeMCU ESP8266	1 Unit
4	Kabel MikroUSB	1 Unit
5	LCD 16x2 I2C	2 Unit
6	Frame LCD 16x2	2 Unit
7	Battery Shield 18650	1 Unit
8	Battery 18650	1 Unit
9	Bandul Kalibrasi 100gr	1 Unit
10	Isolasi Kabel Bakar	164 Pcs
11	Timah 10m	1 Gulungan
12	Lem Super Glue	1 Unit
13	Skrup Gantungan	2 Unit
14	Pin Header Female Single Row 1x40	1 Unit
15	Pin Header Female Double Row 2x40	2 Unit
16	Power Switch 2P	1 Unit
17	PCB Dot Matrix Single Layer	1 Unit
18	Kabel Pelangi 40 Pin	1 Meter
19	Kabel Jumper Male to Male	40 Pcs
20	Kabel Jumper Male to Female	40 Pcs
21	Connector XH2.54 4P	2 Unit
22	Akrilik	18 Unit
23	Mur, Baut, dan Ring	50 Pcs
24	Box Putih 230x150x85	1 Unit
25	Infus Asering 5000ml	1 Unit
26	Infus Set Dewasa	1 Unit

Seluruh alat dan bahan yang tercantum pada Tabel 1 dan 2 digunakan untuk mendukung proses perancangan serta pengujian sistem secara menyeluruh. Pemilihan setiap komponen dilakukan dengan mempertimbangkan aspek kompatibilitas, ketersediaan, dan kemampuan dalam menunjang kinerja sistem. Melalui pemilihan alat dan bahan yang tepat, sistem pemantauan botol infus pasien berbasis IoT diharapkan dapat berfungsi secara optimal serta menghasilkan data pengukuran yang akurat dan reliabel.

2.2. Perancangan Sistem

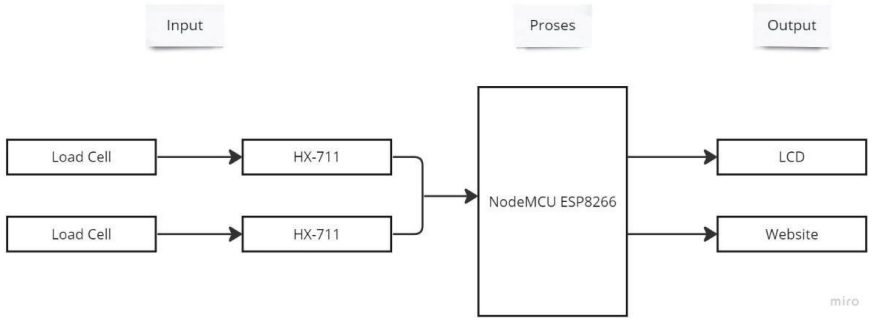
Perancangan sistem merupakan tahap krusial dalam penelitian ini karena menentukan cara integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak agar sistem dapat berfungsi sesuai dengan

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

tujuan yang telah ditetapkan. Pada tahap ini dilakukan perancangan struktur sistem yang mencakup dua komponen utama, yaitu perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*).

2.2.1. Perancangan Hardware

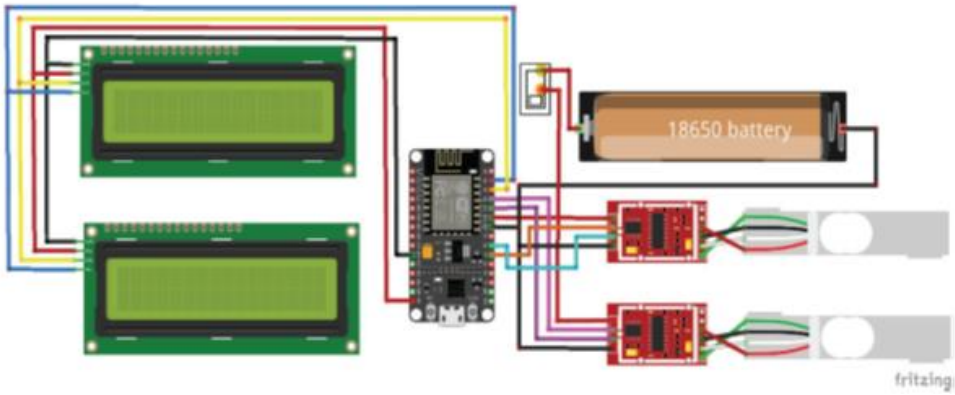
Perancangan perangkat keras merupakan tahap awal dalam pengembangan sistem pemantauan botol infus pasien berbasis IoT. Tahap ini mencakup penyusunan komponen elektronik yang saling terhubung untuk membentuk sistem yang berfungsi mendeteksi berat cairan infus, mengolah data, dan menampilkannya dalam bentuk informasi digital secara waktu nyata. Rancangan perangkat keras sistem ditunjukkan pada Gambar 1, yang memperlihatkan hubungan antara komponen input, proses, dan output dalam alur kerja sistem pemantauan.



Gambar 1. Blok Diagram Sistem Pemantauan Botol Infus

Diagram blok pada Gambar 1 menunjukkan komponen utama sistem pemantauan botol infus pasien berbasis IoT yang saling terhubung. Bagian input terdiri dari dua sensor load cell yang mengukur berat botol infus dan mengirimkan data ke modul HX-711 sebagai penghubung dengan mikrokontroler. Bagian proses menggunakan NodeMCU ESP8266 untuk mengolah data, mengatur koneksi Wi-Fi, dan mengirim informasi ke server atau website. Hasil pengolahan ditampilkan pada LCD sebagai tampilan lokal serta dapat dipantau secara *real-time* melalui website menggunakan komputer atau *smartphone*.

Untuk mendukung integrasi antar-komponen, sistem dirancang dengan skematik pengkabelan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skematik Pengkabelan Sistem Pemantauan Botol Infus

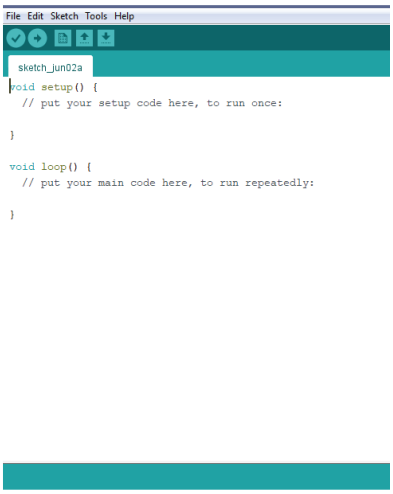
Rangkaian pada gambar 2 menunjukkan koneksi antara NodeMCU ESP8266, dua modul HX-711, dan dua sensor Load Cell, di mana pin data (DT) dan *clock* (SCK) masing-masing modul dihubungkan ke pin digital NodeMCU. Dua LCD 16x2 juga terhubung melalui antarmuka I2C (*Inter-Integrated Circuit*) menggunakan pin *Serial Data Line* (SDA) dan *Serial Clock Line* (SCL).

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Sistem mendapat suplai daya dari baterai 18650, yang memberikan keunggulan dalam portabilitas dan efisiensi energi. Dengan konfigurasi ini, sistem dapat membaca perubahan massa botol infus secara akurat, menampilkan hasil pengukuran pada LCD secara langsung, serta mengirimkan data ke server untuk ditampilkan di website. Desain perangkat keras ini menjadi dasar penting bagi kestabilan dan keandalan sistem pemantauan yang dikembangkan.

2.2.2. Perancangan Software

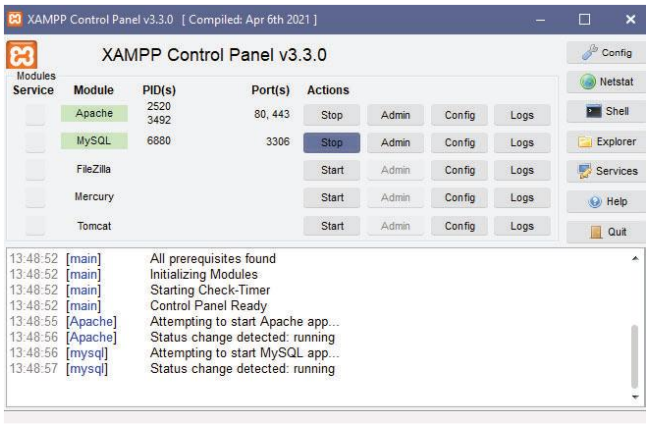
Perancangan perangkat lunak pada penelitian ini melibatkan dua aplikasi utama, yaitu Arduino IDE untuk pemrograman NodeMCU ESP8266 dan *Visual Studio Code* untuk pengembangan aplikasi website. Arduino IDE digunakan untuk mengatur logika dan fungsionalitas sistem, seperti pembacaan data dari sensor dan pengiriman data ke server. Pada tahap awal, dilakukan instalasi Arduino IDE serta pengaturan konfigurasi board dan port serial agar dapat terhubung dengan NodeMCU ESP8266 dengan baik. Langkah ini memastikan proses pemrograman mikrokontroler berjalan lancar dan sesuai dengan kebutuhan sistem. Rancangan alur pemrograman NodeMCU ESP8266 menggunakan Arduino IDE dapat dilihat pada Gambar 3, yang menunjukkan hubungan antara proses instalasi, konfigurasi board, serta pengunggahan program ke mikrokontroler sebagai inti kendali sistem.



Gambar 3. Tampilan Arduino IDE

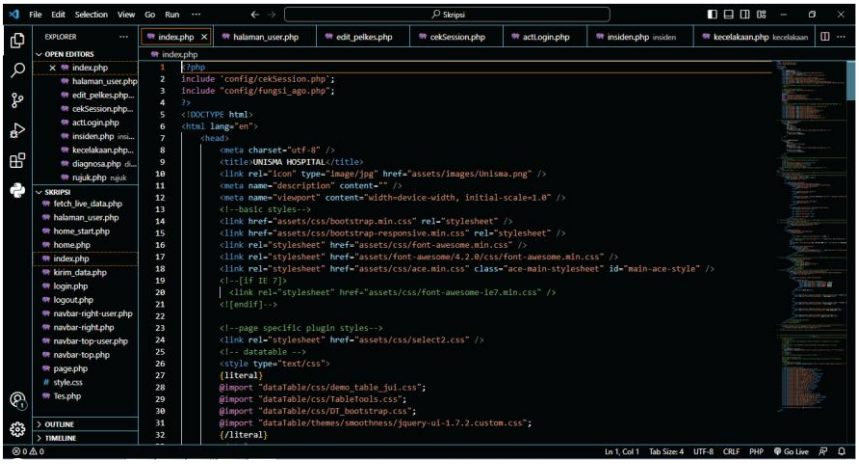
Selanjutnya, pengembangan aplikasi website dilakukan menggunakan *Visual Studio Code* sebagai editor kode utama dengan dukungan XAMPP sebagai server lokal, seperti ditunjukkan pada Gambar 4. XAMPP berperan penting karena menyediakan komponen *Apache* sebagai server web, MySQL sebagai sistem manajemen basis data, dan PHP sebagai bahasa pemrograman sisi server. Tahapan awal dalam proses ini adalah pembuatan database untuk menyimpan data hasil pemantauan infus sebelum sistem diimplementasikan dan dapat diakses secara global melalui jaringan internet.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 4. Tampilan XAMPP

Setelah database berhasil dibuat, tahap selanjutnya adalah menulis kode program menggunakan HTML, CSS, dan JavaScript di *Visual Studio Code*, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5. Ketiga bahasa pemrograman tersebut digunakan untuk membangun antarmuka web yang interaktif, responsif, dan informatif sehingga data volume cairan infus dapat ditampilkan secara waktu nyata. Melalui integrasi antara Arduino IDE dan *Visual Studio Code*, sistem pemantauan botol infus berbasis IoT yang dikembangkan dapat beroperasi secara sinkron, mulai dari pengambilan data sensor hingga penyajian informasi kepada pengguna melalui laman web yang mudah diakses melalui berbagai perangkat.



Gambar 5. Tampilan *Visual Studio Code*

3. Hasil dan Pembahasan

Pada bagian ini membahas hasil dari proses perancangan, pembuatan, dan pengujian sistem pemantauan botol infus pasien berbasis IoT. Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh komponen, baik perangkat keras maupun perangkat lunak, bekerja sesuai rancangan dan tujuan penelitian. Analisis difokuskan pada akurasi pembacaan sensor Load Cell, stabilitas sistem, tampilan data pada LCD, serta kemampuan NodeMCU ESP8266 dalam mengirim data secara waktu nyata ke website. Hasil pengujian dibandingkan dengan alat ukur digital untuk mengetahui tingkat ketelitian dan galat sistem. Berdasarkan hasil tersebut, sistem dinilai mampu membantu tenaga medis memantau kondisi cairan infus pasien secara otomatis, efisien, dan *real-time*.

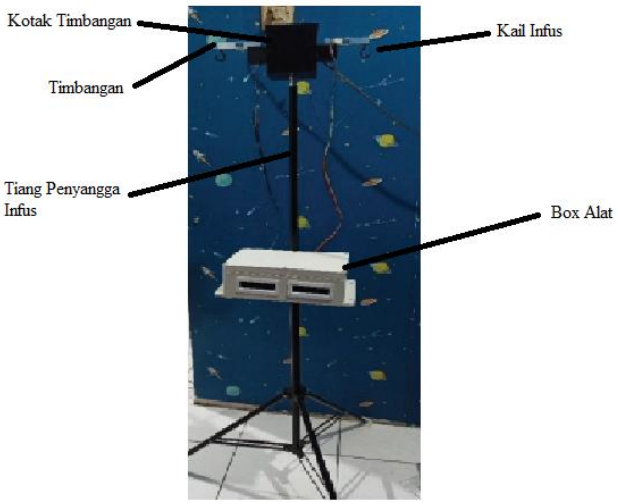
ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

3.1. Hasil Perancangan

Hasil dari proses perancangan sistem ini terbagi menjadi dua bagian utama, yaitu perancangan perangkat keras dan perangkat lunak. Pada bagian *hardware*, kegiatan yang dilakukan meliputi pembuatan kerangka alat serta pengkabelan komponen yang terhubung dengan mikrokontroler agar sistem dapat berfungsi dengan baik. Sementara itu, pada bagian *software*, dilakukan proses pemrograman mikrokontroler untuk mengendalikan seluruh komponen perangkat keras serta pengembangan aplikasi website yang digunakan sebagai antarmuka pemantauan data secara waktu nyata.

3.1.1. Hasil Perancangan Hardware

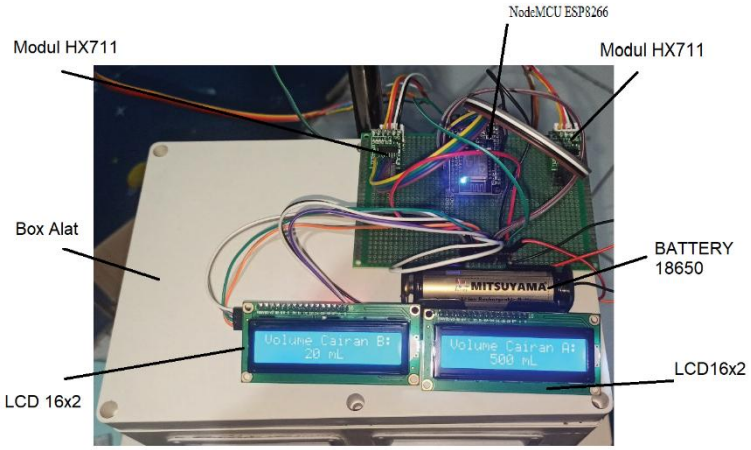
Sistem pemantauan botol infus pasien berbasis IoT telah berhasil dirancang dan diimplementasikan dengan baik. Perangkat yang dibuat mampu berfungsi sesuai dengan tujuan perancangan, yaitu melakukan pemantauan volume cairan infus secara otomatis. Tampilan hasil pembuatan kerangka alat ditunjukkan pada Gambar 6, yang memperlihatkan susunan komponen utama serta bentuk fisik sistem secara keseluruhan.



Gambar 6. Hasil Perancangan *Hardware*

Gambaran hasil pengkabelan komponen terhadap mikrokontroler ditunjukkan pada Gambar 7. Rangkaian ini menggunakan PCB Board berlubang sebagai media penyusunan dan penghubung antar komponen dengan bantuan solder dan timah solder. Pada papan PCB terpasang Pin Header Female sebagai dudukan untuk NodeMCU ESP8266, Modul HX711, serta koneksi pin menuju LCD. Selain itu, kabel jumper sepanjang 20 cm digunakan untuk menyalurkan arus dari NodeMCU ke komponen lain, sedangkan kabel pita dengan konektor XH 4 Pin dipasang untuk menghubungkan sensor Load Cell. Sistem ini mendapat daya dari rechargeable battery 18650, yang memungkinkan alat prototipe bekerja secara portabel tanpa ketergantungan pada sumber listrik tetap.

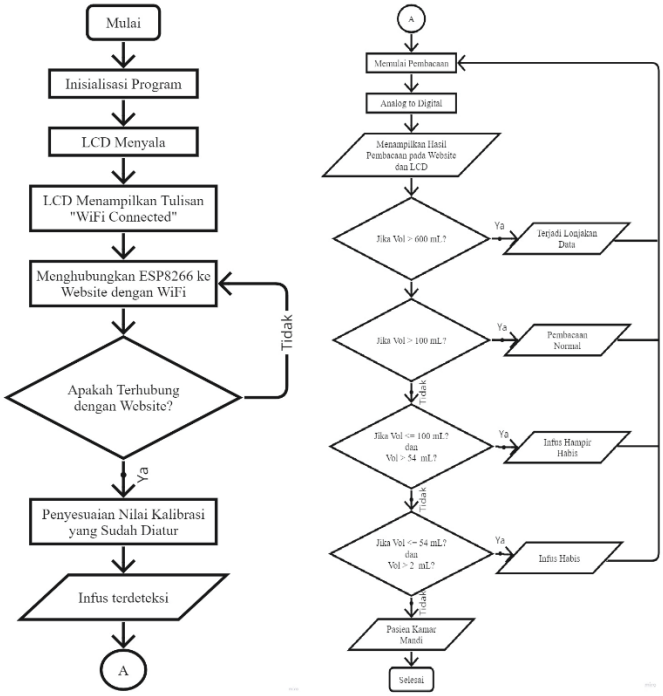
ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 7. Hasil Pengkabelan Komponen Elektrik

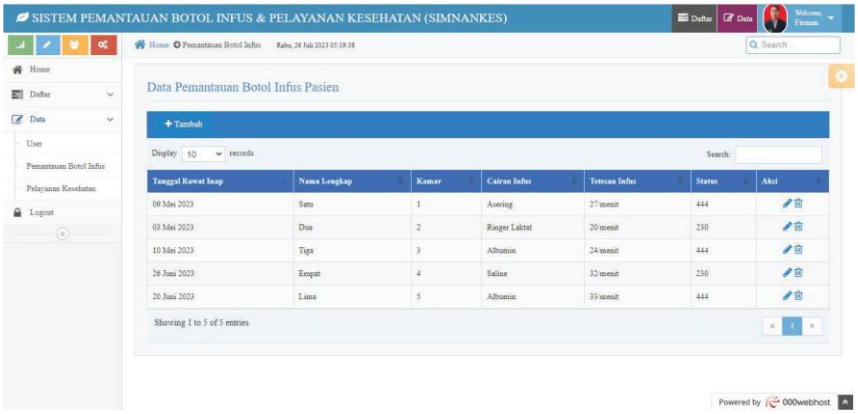
3.1.2. Hasil Perancangan Software

Hasil perancangan perangkat lunak pada sistem pemantauan botol infus pasien berbasis IoT ditunjukkan melalui tampilan antarmuka web yang menampilkan data berat cairan infus secara real-time melalui koneksi Wi-Fi, serta dijelaskan pada flowchart cara kerja sistem di Gambar 8. Program pada NodeMCU ESP8266 dibuat menggunakan Arduino IDE untuk membaca data dari dua sensor Load Cell, mengonversinya menjadi satuan gram, lalu mengirimkannya ke server melalui protokol HTTP. Data tersebut disimpan dalam database MySQL melalui XAMPP, sedangkan antarmuka web dikembangkan dengan HTML, CSS, PHP, dan JavaScript menggunakan Visual Studio Code yang dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 8. Diagram Alir Sistem Pemantauan

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 9. Tampilan Dashboard Admin

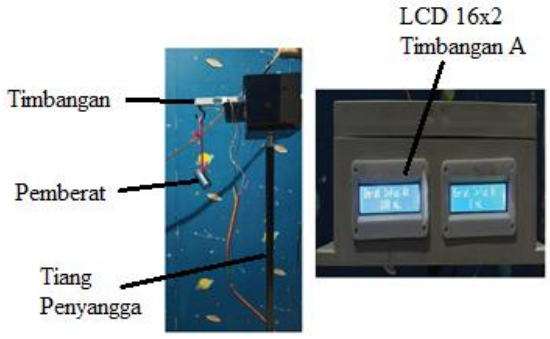
Penerapan sistem login terintegrasi pada website memberikan lapisan keamanan tambahan dengan memastikan hanya pengguna yang berwenang dapat mengakses fitur-fitur tertentu. Mekanisme ini berfungsi untuk menjaga keamanan dan integritas data, sekaligus memberikan pengaturan akses yang sesuai dengan peran masing-masing pengguna di lingkungan rumah sakit, sehingga sistem dapat digunakan secara lebih aman dan terkontrol.

3.2. Hasil Pengujian

Setelah tahap perancangan prototipe, perakitan komponen elektronik, dan pembuatan aplikasi website selesai, langkah berikutnya adalah melakukan pengujian menyeluruh menggunakan cairan infus secara langsung. Pengujian ini mencakup tiga bagian utama, yaitu pengujian ketepatan kalibrasi sensor, pengujian penurunan berat pada berbagai kecepatan tetesan infus (pelan, sedang, dan cepat) dalam rentang waktu 0 hingga 180 menit, serta pengujian notifikasi pada website untuk memastikan sistem dapat memberikan peringatan secara akurat dan waktu nyata.

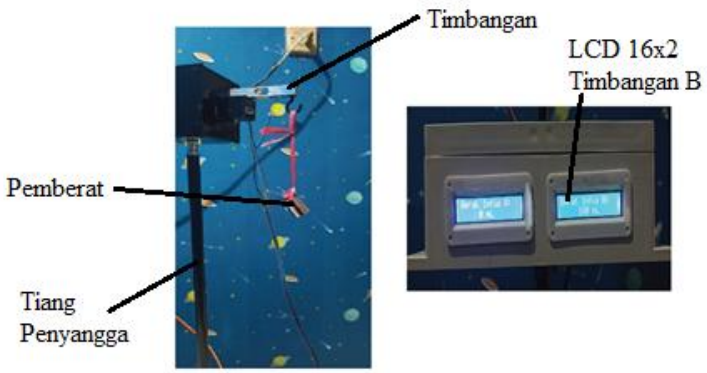
3.2.1. Pengujian Ketetapan Kalibrasi

Pengujian ketepatan kalibrasi dilakukan untuk memastikan sistem mampu menghasilkan pembacaan yang akurat sesuai dengan standar kalibrasi yang telah ditetapkan. Proses pengujian ini dilakukan berdasarkan program kalibrasi awal dengan cara memasang batu kalibrasi seberat 100 gram pada masing-masing sensor Load Cell. Hasil lengkap pengujian ketepatan kalibrasi kedua sensor tersebut dapat dilihat pada Gambar 10 dan Gambar 11.



Gambar 10. Kalibrasi Pada Load Cell A

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

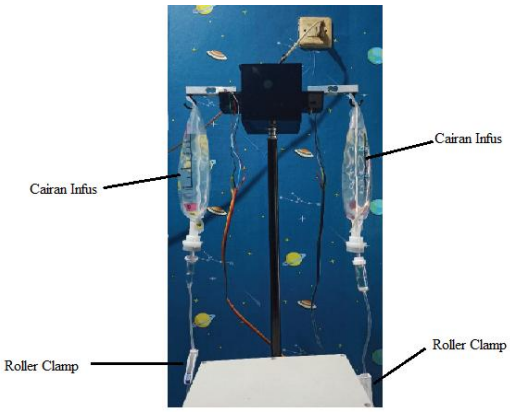


Gambar 11. Kalibrasi Pada Load Cell B

Pada pengujian ketepatan kalibrasi ini, digunakan batu kalibrasi seberat 100 gram sebagai acuan untuk memverifikasi keakuratan pembacaan dari setiap sensor Load Cell. Melalui pengukuran nilai faktor kalibrasi pada masing-masing sensor, dapat diketahui tingkat ketepatan dan konsistensi hasil pembacaan sistem. Hasil pengujian yang ditampilkan pada gambar 10 dan 11, memberikan gambaran visual mengenai tingkat keakuratan kalibrasi yang dicapai oleh setiap Load Cell, sehingga dapat dipastikan bahwa sistem bekerja sesuai dengan standar yang telah ditetapkan.

3.2.2. Hasil Pengujian Terhadap Pengukuran Aliran Tetesan Botol Infus

Setelah proses kalibrasi selesai, dilakukan pengujian pengukuran berat berdasarkan kecepatan tetesan infus menggunakan program utama sistem. Pengujian mencakup tiga kategori kecepatan, yaitu pelan, sedang, dan cepat, dengan durasi 0 sampai 180 menit untuk kecepatan pelan serta 0 sampai 60 menit untuk kecepatan sedang dan cepat. Tujuannya adalah menilai kinerja sensor Load Cell dalam mendeteksi perubahan berat cairan pada berbagai kecepatan aliran. Pengaturan tetesan dilakukan melalui *roller clamp* pada set infus, seperti ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12 Pengaturan Tetesan

Data hasil pengukuran berat cairan infus berdasarkan variasi kecepatan tetesan disajikan pada Tabel 3, Tabel 4, dan Tabel 5, yang menunjukkan perubahan berat infus pada masing-masing kategori kecepatan.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Tabel 3. Data Pengukuran Berat Berdasarkan Kecepatan Aliran Infus Pelan

Waktu	Infus A			Toleransi (%)	Infus B			Toleransi (%)
	Pengujian 1	Pengujian 2	Pengujian 3		Pengujian 1	Pengujian 2	Pengujian 3	
0	100	100	100	0	100	100	100	0
10	97.2	97	97.1	-0.21	98.8	98.6	98.6	-0.2
20	94.4	94.2	94.2	-0.21	95.6	95.4	95.4	-0.21
30	90.8	91	90.8	-0.22	92.4	92.4	92.6	0.22
40	87.6	87.4	87.6	-0.23	89.2	89.4	89.2	0.22
50	84.2	84	84.2	-0.24	86.4	86.4	86.2	-0.23
60	81.2	81.4	81.4	-0.23	83.4	83.6	83.2	-0.23
70	78.4	78.6	78.4	-0.26	80.8	80.8	80.6	-0.26
80	75.8	75.8	75.6	-0.26	78	78	78	-0.26
90	73.2	73.2	73.2	-0.26	75.6	75.6	75.6	-0.26
100	69.4	69.4	69.3	-0.29	72.3	72.4	72.4	-0.26
110	66.3	66.4	66.4	-0.32	69.4	69.6	69.6	-0.26
120	63.2	63.4	63.4	-0.34	66.4	66.8	66.6	-0.26
130	60.4	60.6	60.6	-0.32	63.4	63.4	63.2	0
140	57.2	57.4	57.4	-0.37	60.4	60.6	60.6	0
150	53.6	53.8	53.8	-0.37	57.2	57.4	57.4	0.35
160	50.4	50.2	50.2	0	54.2	54.2	54.4	0
170	47.4	47.2	47.2	0	51.4	51.4	51.4	0
180	44.2	44.4	44.4	0.45	47.8	47.8	47.6	0
Rata-Rata Toleransi				-0.04	Rata-Rata Toleransi			-0.06

Tabel 4. Data Pengukuran Berat Berdasarkan Kecepatan Aliran Infus Sedang

Waktu	Infus A			Toleransi (%)	Infus B			Toleransi (%)
	Pengujian 1	Pengujian 2	Pengujian 3		Pengujian 1	Pengujian 2	Pengujian 3	
0	100	100	100	0	100	100	100	0
10	78.2	78	78.2	-0.26	79.8	79.6	79.8	-0.25
20	56.4	56.4	56.2	0	58	58.2	58.2	0.34
30	34.6	34.4	34.8	-0.58	36.2	36	36.2	-0.55
40	12.8	13	12.8	0.16	14.4	14.4	14.2	0
50	0	0	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0	0	0
Rata-Rata Toleransi				-0.12	Rata-Rata Toleransi			-0.07

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Tabel 5. Data Pengukuran Berat Berdasarkan Kecepatan Aliran Infus Cepat

Waktu	Infus A			Toleransi (%)	Infus B			Toleransi (%)
	Pengujian 1	Pengujian 2	Pengujian 3		Pengujian 1	Pengujian 2	Pengujian 3	
0	100	100	100	0	100	100	100	0
10	65.8	65.6	65.8	-0.26	67.4	67.2	67.4	-0.30
20	31.6	31.4	31.6	0	33.2	33.2	33.2	0
30	0	0	34.8	-0.58	0	0	0	0
40	0	0	0	0.16	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0	0	0
Rata-Rata Toleransi				-0.19	Rata-Rata Toleransi			-0.04

Berdasarkan hasil pengujian terhadap tiga variasi kecepatan aliran infus pelan, sedang, dan cepat diperoleh data sebagai berikut. Pada aliran pelan, infus A dan B masing-masing memiliki volume awal 500 ml (100%). Setelah 180 menit, volume infus A berkurang menjadi 221 ml (44,2%), sedangkan infus B menjadi 239 ml (47,8%). Rata-rata toleransi pengujian tiga kali menunjukkan nilai -0,04% untuk infus A dan -0,06% untuk infus B. Pada aliran sedang, volume awal infus A dan B juga sebesar 500 ml (100%). Setelah 60 menit, kedua infus habis (0 ml). Hasil rata-rata tiga kali percobaan menunjukkan toleransi sebesar -0,12% untuk infus A dan -0,07% untuk infus B. Sementara itu, pada aliran cepat, volume awal infus A dan B sama, yaitu 500 ml (100%). Setelah 10 menit, volume infus A turun menjadi 329 ml (65,8%) dan infus B menjadi 337 ml (67,4%). Setelah 60 menit, kedua infus habis. Rata-rata toleransi hasil tiga kali pengujian adalah -0,19% untuk infus A dan -0,04% untuk infus B.

3.2.3. Hasil Pengujian Terhadap Notifikasi Website

Pengujian terhadap fitur notifikasi pada website dilakukan untuk memastikan bahwa sistem mampu mengirimkan pesan pemberitahuan secara tepat waktu dan sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 13. Pengujian ini berfungsi untuk menjamin keandalan sistem dalam menyampaikan informasi penting kepada perawat atau admin mengenai kondisi botol infus, termasuk perubahan volume cairan maupun peristiwa lain yang berkaitan dengan pemantauan infus secara *real-time*.



Gambar 13. Hasil Pengujian Notifikasi Website

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

3.3. Analisa dan Pembahasan

Setelah rangkaian pengujian selesai dilakukan, tahap selanjutnya adalah melakukan analisis dan pembahasan hasil. Proses analisis ini mencakup perbandingan antara hasil pengujian dengan standar yang telah ditetapkan, identifikasi terhadap kemungkinan penyebab ketidaksesuaian, serta penelaahan terhadap berbagai faktor yang dapat memengaruhi kinerja sistem. Tujuan utama dari analisis ini adalah untuk menilai sejauh mana sistem mampu memenuhi spesifikasi, kebutuhan, dan tujuan yang telah dirancang sebelumnya.

3.3.1. Analisa Hasil Pengujian Terhadap Pengukuran Berat Botol Infus

Pada tahap analisis ini, dilakukan proses perbandingan antara hasil pengukuran yang diperoleh dari sensor Load Cell dengan hasil pengukuran menggunakan timbangan berakurasi 1 gram dan berkapasitas 10 kilogram. Pengambilan data dilakukan pada setiap penurunan berat sebesar 50 ml untuk Infus A dan Infus B. Selanjutnya, data hasil pembacaan sensor dibandingkan dengan hasil pengukuran dari timbangan tersebut untuk menilai tingkat akurasi dan konsistensi sensor. Gambaran perbandingan hasil pengukuran tersebut dapat dilihat pada Gambar 14 dan 15.



Gambar 14. Hasil Timbangan Tanpa Load Cell



Gambar 15. Hasil Timbangan Menggunakan Load Cell A Dan B

Data hasil pengukuran yang telah diperoleh dapat dilihat pada tabel 6, yang disusun berdasarkan ilustrasi perbandingan pengukuran yang telah disajikan pada bagian sebelumnya.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Tabel 6. Perbandingan Timbangan Digital Dengan Load Cell

Skala (ml)	Timbangan Digital (ml)	Infus A (ml)	Selisih (ml)	Error (%)	Infus B (ml)	Selisih (ml)	Error (%)
500	500	500	0	0	501	1	0.2
450	450	451	1	0.2	451	1	0.2
400	400	400	0	0	400	0	0
350	350	350	0	0	351	1	0.3
300	300	301	1	0.3	300	0	0
250	250	250	0	0	250	0	0
200	200	201	1	0.5	200	0	0
150	150	150	0	0	151	1	0.6
100	100	100	0	0	100	0	0
	Rata-rata		0.33	0.11		0.44	0.14

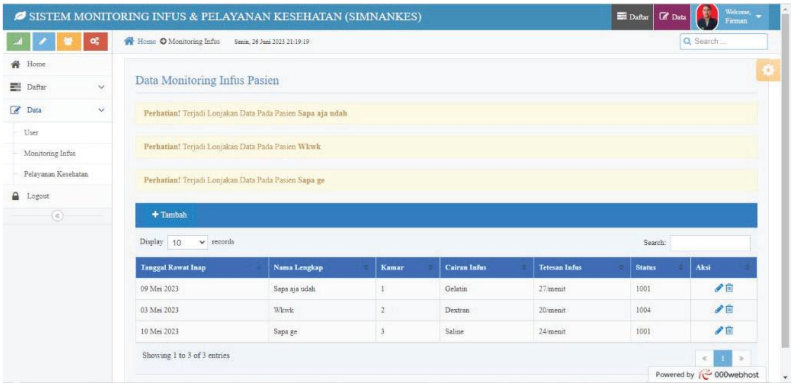
Pada Tabel 6 menunjukkan bahwa sensor Load Cell pada Infus A dan Infus B memiliki tingkat ketepatan pengukuran yang tergolong baik. Hasil pengukuran yang diperoleh dari sensor menunjukkan tingkat akurasi yang hampir setara dengan timbangan berakurasi 1 gram dan berkapasitas 10 kilogram. Nilai rata-rata error yang diperoleh pada Infus A sebesar 0,11%, sedangkan pada Infus B sebesar 0,14%. Dengan demikian, perbandingan hasil pengukuran antara sensor Load Cell dan timbangan menunjukkan selisih yang sangat kecil, menandakan bahwa perbedaan hasil yang muncul tidak signifikan dan masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima.

Berdasarkan hasil perbandingan dengan penelitian sebelumnya, terdapat perbedaan tingkat akurasi pengukuran. Pada penelitian [8], diperoleh nilai error sebesar 1,11%. Sementara itu, pada penelitian ini, tingkat error yang dihasilkan jauh lebih rendah, yakni sebesar 0,11% untuk Infus A dan 0,14% untuk Infus B. Perbedaan ini menunjukkan adanya peningkatan akurasi sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini dibandingkan dengan penelitian terdahulu. Pada penelitian [9], diperoleh tingkat error masing-masing sebesar 1,04% dan 1,14%. Berdasarkan hasil perbandingan tersebut, dapat disimpulkan bahwa sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini menunjukkan tingkat akurasi yang lebih tinggi dibandingkan penelitian sebelumnya, sehingga dapat dinilai lebih andal dalam melakukan pemantauan volume cairan infus secara presisi.

3.3.2. Analisa Hasil Pembacaan Pengukuran

Pada tahap analisis ini, diterapkan konsep batas wajar terhadap hasil pengukuran untuk mencegah terjadinya anomali data atau lonjakan nilai yang berada di luar rentang yang diizinkan. Batas wajar tersebut ditetapkan sebesar 600 ml. Apabila hasil pengukuran melebihi nilai tersebut, sistem akan secara otomatis menampilkan peringatan berupa pesan “Terjadi Lonjakan Data” pada layar LCD maupun pada tampilan website. Peringatan ini berfungsi sebagai indikator bahwa data yang sedang ditampilkan tidak berada dalam kondisi normal, serta menunjukkan kemungkinan adanya kesalahan atau gangguan dalam proses pengukuran. Ilustrasi dari kondisi ini dapat dilihat pada Gambar 16 dan 17.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 16. Notifikasi Pada Website Saat Terjadi Lonjakan Data



Gambar 17. Lonjakan Data pada Timbangan A dan B

3.3.3. Analisa Terhadap Pengukuran Ketika Terdapat Gangguan

Analisis ini dilakukan dengan tujuan untuk mengidentifikasi serta mengevaluasi respons sistem ketika terjadi gangguan pada proses pengukuran berat botol infus. Gangguan yang dimaksud meliputi perubahan mendadak pada kecepatan tetesan cairan maupun gangguan mekanis yang terjadi pada perangkat. Berdasarkan Gambar 18, pengujian dilakukan dengan memberikan gangguan pada selang infus, sedangkan pada Gambar 19, analisis dilakukan dengan menimbulkan gangguan pada tiang infus. Pengujian ini bertujuan untuk menilai sejauh mana sistem mampu mendeteksi dan merespons kondisi abnormal yang dapat memengaruhi akurasi hasil pengukuran.



Gambar 18. Gangguan Pada Selang Infus

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 19. Gangguan Pada Tiang Infus

Ketika terjadi gangguan signifikan pada selang infus, sistem mendeteksi adanya penurunan berat botol infus sekitar 3 gram. Namun, setelah gangguan tersebut berhenti, nilai pengukuran kembali ke kondisi semula. Kondisi serupa juga teramati ketika tiang infus mengalami pergerakan bebas; saat tiang melewati permukaan yang tidak rata, hasil pengukuran sempat menurun sekitar 3 gram, tetapi kembali stabil setelah tiang berada di jalur yang mulus. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu menyesuaikan diri terhadap gangguan mekanis sementara tanpa menimbulkan perubahan signifikan terhadap akurasi pengukuran secara keseluruhan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian, sistem pemantauan botol infus berbasis IoT berhasil dirancang dan berfungsi dengan baik. Hasil perbandingan antara sensor dan timbangan digital menunjukkan tingkat akurasi tinggi dengan error sebesar 0,11% pada Load Cell A dan 0,14% pada Load Cell B. Pengujian pada berbagai kecepatan aliran infus menunjukkan toleransi yang masih dalam batas wajar, dan sistem mampu mengirimkan data serta menampilkan notifikasi secara tepat waktu. Saat terjadi gangguan mekanis, berat infus sempat menurun sekitar 3 ml namun kembali normal setelah gangguan berakhir, menandakan stabilitas sistem yang baik. Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan penambahan fitur pemantauan multi-infus, kontrol tetesan, perekaman data otomatis, pengujian langsung pada pasien, peningkatan stabilitas Load Cell, serta penggunaan VPN guna menjaga keandalan koneksi dan integritas data.

Referensi

[1] M. Safitri, H. Da Fonseca, and E. Loniza, “Short text message based infusion fluid level monitoring system,” *J. Robot. Control*, vol. 2, no. 2, pp. 60–64, 2021, doi: 10.18196/jrc.2253.

[2] G. M. Eastwood *et al.*, “Intravenous fluid administration and monitoring for adult ward patients in a teaching hospital,” *Nurs. Health Sci.*, vol. 14, no. 2, pp. 265–271, Jun. 2012, doi: 10.1111/j.1442-2018.2012.00689.x.

[3] T. Afrianda and A. Asman, “Design And Implementation of Intravenous Infusion Monitoring System Based on Wireless Sensor Network with Smartphone Display,” *J. Exp. Appl. Phys.*, vol. 2, no. 1, pp. 106–117, 2024. Available: https://doi.org/10.24036/jeap.v2i1.

[4] R. Yulianto and Sumarno, “Design of Intravenous Fluid Monitoring in Inpatients Based on Internet of Things (IoT),” *Procedia Eng. Life Sci.*, vol. 2, no. 2, 2022, doi: 10.21070/pels.v2i2.1221.

[5] H. Meng, F. Chen, L.-H. He, and J.-H. Wan, “The effects of using a micro-infusion pump without accompanying fluid at a low flow rate on patients undergoing cardiac surgery,” *Transpl. Immunol.*, vol. 73, p. 101611, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.trim.2022.101611.

[6] K. E. Swedarma, I. K. Saputra, F. Tri Mulyani Hastuti, and D. Irfan Mudhoep, “Infusion Fluid Monitoring System Using Arduino Microcontroller and Internet of Think (IoT) to Increase Work Efficiency of Nurses in Hospital,” *Nurs. Heal. Sci. J.*, vol. 3, no. 2, pp. 175–183, 2023, doi: 10.53713/nhsj.v3i2.204.

[7] F. MSN, A. Muhajar, A. Chobir, and A. U. Rahayu, “Sistem Kendali dan Monitoring Infus Berbasis

Internet of Things," *J. Appl. Electr. Eng.*, vol. 6, no. 1, pp. 10–16, 2022, doi: 10.30871/jaee.v6i1.4017.

[8] G. Priyandoko, "Rancang Bangun Sistem Portable Monitoring Infus Berbasis Internet of Things," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 3, no. 2, pp. 56–61, 2021, doi: 10.37905/jjeee.v3i2.10508.

[9] K. N. T. Yayer, W. A. Weliamto, R. Sitepu, and H. Pranjoto, "Monitoring Dan Penghentian Cairan Infus Menggunakan Timbangan Infus Digital Dengan Memanfaatkan Web Server," *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, vol. 11, no. 1, pp. 55–64, 2020, doi: 10.24176/simet.v11i1.3601.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

ID: 41

Sistem Rekomendasi Buku Wawasan Keislaman dengan Pendekatan Collaborative Filtering Pada Komunitas Hijrah

Islamic Insight Book Recommendation System Using Collaborative Filtering Approach for the Hijrah Community

Retno Nugroho Whidhiasih[1*], Malikus Sumadyo[2], Diyah Yuli Sugiarti[3], Anggie Ayu Astria Latuperissa[4], Fikri Ardiansyah[5]
[1,2,3,5] Universitas Islam 45 Bekasi
Jl. Cut Meutia No. 83 Bekasi 17113, Telp. (021) 8808851
[4] Bina Sarana Informatika
Jl. Kaliabang Tengah No. 8 Bekasi
retno.nw@gmail.com[1*], malikus.sumadyo@gmail.com[2], diyah.ys11@gmail.com[3], Anggie.Latuperissa@gmail.com[4], fikriardiansyah523@gmail.com[5]

Abstrak – *Fenomena hijrah di kalangan generasi muda Muslim Indonesia menunjukkan peningkatan yang signifikan, di mana literasi keagamaan memiliki peran penting dalam membentuk pemahaman dan praktik keislaman. Namun, anggota komunitas hijrah mengalami kesulitan dalam memilih buku keislaman yang relevan akibat melimpahnya informasi yang tersedia. Permasalahan ini diperburuk oleh rendahnya tingkat literasi nasional, yang tercermin dari hasil PISA tahun 2022 dengan skor membaca 358,6, matematika 365,5, dan sains 383, yang berada di bawah rata-rata negara OECD. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya sistem rekomendasi yang adaptif untuk membantu pembaca menemukan buku Islami yang sesuai dengan minat dan kebutuhan mereka. Penelitian ini bertujuan untuk membangun dan mengimplementasikan sistem rekomendasi buku wawasan keislaman dengan menggunakan pendekatan Collaborative Filtering. Metode yang digunakan meliputi penerapan model User-Based Collaborative Filtering dengan dua metrik kesamaan, yaitu Pearson Correlation dan Cosine Similarity. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model User-Based dengan Pearson Correlation memberikan kinerja paling stabil dan optimal terhadap dataset komunitas hijrah, dengan prediksi nilai rata-rata 4,0 untuk lima buku teratas yang direkomendasikan. Sebaliknya, model Item-Based tidak menghasilkan prediksi yang valid karena tingkat sparsity yang tinggi pada dimensi item. Penelitian ini menyimpulkan bahwa model User-Based Collaborative Filtering lebih sesuai untuk dataset komunitas berskala kecil dan dapat memberikan rekomendasi buku Islami yang lebih relevan bagi anggota komunitas hijrah.*

Kata Kunci*: Literasi islam, Sistem Rekomendasi, Collaborative Filtering, user-based, Pearson Correlation.*

Abstract – *The hijrah phenomenon among Indonesia's young Muslim generation has shown a significant increase, in which religious literacy plays an important role in shaping Islamic understanding and practice. However, members of the hijrah community have faced difficulties in selecting relevant Islamic books due to the abundance of available information. This issue was worsened by Indonesia's low literacy level, as reflected in the 2022 PISA results, with reading, mathematics, and science scores of 358.6, 365.5, and 383 respectively, which remain below the OECD average. These conditions indicated the need for an adaptive recommendation system to help readers find Islamic books that match their interests and needs.This study aimed to develop and implement an Islamic insight book recommendation system using the Collaborative Filtering approach. The method involved applying a User-Based Collaborative Filtering model with two similarity metrics, namely Pearson Correlation and Cosine Similarity. The results showed that the User-Based model using Pearson Correlation provided the most stable and optimal performance for the hijrah community dataset, producing an average predicted rating of 4.0 for the top five recommended books. In*

contrast, the Item-Based model failed to generate valid predictions due to the high level of sparsity in the item dimension.This study concludes that the User-Based Collaborative Filtering model is more suitable for small-scale community datasets and provides more relevant Islamic book recommendations for members of the hijrah community.

***Keywords**: islamic insight, recommendation system, Collaborative Filtering, user-based, Pearson Correlation.*

1. Pendahuluan

Fenomena hijrah di kalangan generasi muda Muslim Indonesia dalam beberapa tahun terakhir telah berkembang menjadi gerakan sosial dan spiritual yang signifikan. Gerakan ini tidak hanya menandai perubahan gaya hidup, tetapi juga mendorong peningkatan kesadaran untuk memperdalam pemahaman agama serta mengamalkan nilai-nilai Islam secara menyeluruh. Dalam konteks tersebut, literasi keagamaan memiliki peran yang sangat penting, karena menjadi fondasi bagi proses pembelajaran, penguatan identitas religius, dan transformasi moral individu. Salah satu sarana utama dalam proses peningkatan literasi keagamaan adalah buku-buku Islami yang berfungsi sebagai media pembelajaran, inspirasi, dan pengembangan wawasan spiritual bagi para anggota komunitas hijrah.

Namun, di tengah melimpahnya informasi dan pesatnya perkembangan industri penerbitan, banyak individu menghadapi kesulitan dalam menentukan buku yang benar-benar relevan, otentik, dan sesuai dengan kebutuhan spiritual mereka. Fenomena *information overload* membuat proses pemilihan bahan bacaan menjadi tidak efisien, sementara keterbatasan waktu dan sumber informasi yang kredibel turut memperparah masalah tersebut. Kondisi ini terjadi dalam konteks rendahnya tingkat literasi nasional, di mana hasil *Programme for International Student Assessment* (PISA) tahun 2022 menunjukkan bahwa skor membaca, matematika, dan sains siswa Indonesia masing-masing sebesar 359, 366, dan 383, jauh di bawah rata-rata negara-negara OECD [1]. Rendahnya minat baca masyarakat Indonesia yang hanya sekitar 0,001% [2] semakin memperburuk situasi ini, menunjukkan bahwa fondasi literasi nasional masih lemah dan membutuhkan pendekatan yang kreatif serta kontekstual untuk ditingkatkan.

Dalam situasi tersebut, pemanfaatan teknologi informasi menjadi peluang strategis untuk menjembatani keterbatasan literasi dan membantu individu dalam menavigasi informasi secara efektif. Salah satu inovasi yang relevan adalah sistem rekomendasi (*recommender system*), yang telah banyak digunakan pada berbagai bidang seperti e-commerce, media digital, dan platform pendidikan. Sistem rekomendasi bekerja dengan mempelajari pola perilaku atau preferensi pengguna untuk memberikan saran yang relevan dan personal. Beberapa pendekatan telah dikembangkan, antara lain *Content-Based Filtering*, *Knowledge-Based Filtering*, dan *Collaborative Filtering*. Di antara ketiganya, *Collaborative Filtering* merupakan metode yang paling banyak digunakan karena kesederhanaannya serta kemampuannya dalam mengenali kesamaan pola antar pengguna atau antar item.

Penelitian-penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa algoritma K-Nearest Neighbors Basic (KNNBasic) dalam *Collaborative Filtering* memiliki keunggulan dalam hal interpretabilitas dan performa yang stabil pada dataset berukuran kecil hingga menengah. Menurut [3], metode ini masih dijadikan baseline pembanding dalam pengujian model-model canggih seperti *Neural Collaborative Filtering* (NCF) atau *Graph Neural Networks* (GNNs) karena kestabilannya dan kemampuannya menghasilkan prediksi yang mudah dijelaskan. Berdasarkan kajian tersebut, penelitian ini menawarkan kebaruan ilmiah dalam penerapan algoritma KNNBasic pada domain literasi keislaman, khususnya untuk komunitas hijrah yang memiliki karakteristik sosial, preferensi bacaan, dan kebutuhan spiritual yang unik.

Rumusan masalah dalam penelitian ini meliputi tiga hal utama, yaitu bagaimana membangun dan mengimplementasikan model *Collaborative Filtering* berbasis algoritma KNNBasic untuk

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

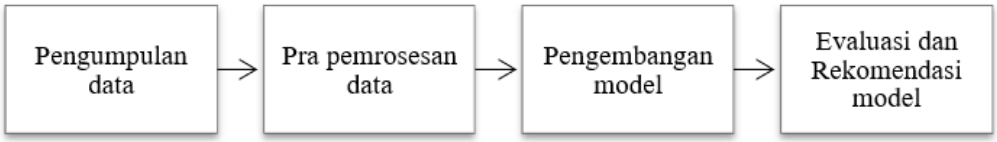
menghasilkan sistem rekomendasi buku wawasan keislaman yang sesuai dengan karakteristik dan kebutuhan literasi komunitas hijrah; bagaimana mengevaluasi kinerja model rekomendasi menggunakan metrik *Root Mean Squared Error* (RMSE) dan *Mean Absolute Error* (MAE) guna menilai tingkat akurasi prediksi; serta bagaimana sistem yang dibangun dapat memberikan rekomendasi buku yang bersifat personal berdasarkan kesamaan minat dan preferensi pengguna.

Berdasarkan perumusan masalah tersebut, penelitian ini bertujuan untuk membangun dan mengimplementasikan sistem rekomendasi buku wawasan keislaman menggunakan algoritma KNNBasic dengan pendekatan *Collaborative Filtering*, mengevaluasi performa dan akurasi model yang dikembangkan menggunakan metrik RMSE dan MAE, serta menghasilkan rekomendasi buku yang bersifat personal dan relevan bagi anggota komunitas hijrah. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi praktis bagi peningkatan literasi keagamaan di kalangan generasi muda Muslim serta menjadi dasar pengembangan sistem rekomendasi berbasis nilai keislaman yang lebih kontekstual di masa mendatang.

2. Metode Penelitian

2.1. Desain Penelitian

Penelitian ini dirancang dengan pendekatan eksperimen kuantitatif yang bertujuan untuk membangun, mengimplementasikan, dan mengevaluasi sistem rekomendasi buku wawasan keislaman berbasis Collaborative Filtering (CF) dengan algoritma K-Nearest Neighbors Basic (KNNBasic). Desain penelitian ini mengikuti alur kerja sistematis yang terdiri dari empat tahap utama, yaitu: pengumpulan data, pra-pemrosesan data, pengembangan model serta evaluasi dan rekomendasi model [3]. Tahapan penelitian ini diilustrasikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan penelitian

2.2. Dataset dan Pengumpulan Data

Dataset yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data primer yang diperoleh melalui survei daring menggunakan Google Forms dari anggota komunitas hijrah. Data ini merepresentasikan preferensi pengguna terhadap buku-buku wawasan keislaman dalam bentuk rating. Setiap nilai rating menunjukkan tingkat ketertarikan atau penilaian pengguna terhadap buku tertentu dalam skala 1–5, di mana nilai yang lebih tinggi mencerminkan tingkat kesukaan yang lebih besar. Sementara itu, nilai 0 menandakan bahwa pengguna belum memberikan rating pada buku tersebut (belum membaca atau belum menilai).

Fenomena kesulitan dalam memilih buku yang relevan di tengah melimpahnya informasi digital selaras dengan konsep *information overload*, yang menekankan pentingnya sistem rekomendasi dalam membantu pengguna memfilter informasi yang sesuai dengan kebutuhan [4].

2.3. Pra-Pemrosesan Data

Pra-pemrosesan data bertujuan untuk mengubah data mentah yang terkumpul menjadi format yang siap untuk digunakan dalam algoritma CF. Langkah utama dilakukan adalah validasi dan pembersihan data, pembentukan matriks utilitas, penanganan sparsity dan normalisasi data.

2.3.1. Validasi dan Pembersihan Data

Validasi dan pembersihan data dilakukan untuk memastikan rating yang digunakan dalam pemodelan valid dan bebas dari bias statistik. Langkah ini penting karena kualitas data masukan

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

sangat memengaruhi hasil prediksi dalam sistem rekomendasi [5]. Data mentah dalam penelitian ini memiliki struktur matriks *user-item* dengan skala *rating* 1 hingga 5, serta kode numerik 6.

2.3.2. Pembentukan Matriks Utilitas

Pembentukan matriks utilitas merupakan tahap penting dalam sistem rekomendasi untuk mengorganisasi data rating pengguna terhadap berbagai item ke dalam format yang terstruktur dan dapat dianalisis oleh algoritma. CF bergantung pada pola interaksi dalam matriks pengguna–item untuk menemukan kemiripan perilaku antar pengguna [3]. Data rating mentah, misalnya Responden 1 memberikan rating 4 untuk Buku X, responden 2 memberikan rating 5 pada buku Y dst. Pembentukan matriks utilitas dilakukan dengan mengubah data rating yang terkumpul menjadi format matriks R dengan dimensi pengguna × item, di mana setiap sel $R_{u,i}$ menyimpan nilai rating pengguna u terhadap item I, yang berarti dalam setiap sel dalam tabel tersebut akan ditempatkan nilai rating yang diberikan oleh responden tertentu (u) untuk item tertentu (i). Baris matriks merepresentasikan pengguna, sedangkan kolom merepresentasikan item. Sel yang belum memiliki rating biasanya dibiarkan kosong atau diisi dengan nilai khusus sebagai penanda *missing value*. Matriks utilitas ini menjadi dasar bagi algoritma *Collaborative Filtering* untuk menghitung kesamaan antar pengguna atau antar item, untuk memprediksi preferensi yang belum diberikan, dan menghasilkan rekomendasi yang relevan.

2.3.3. Penanganan Sparsity

Dalam penanganan *sparsity*, dilakukan analisis terhadap kepadatan matriks. Matriks yang terlalu jarang dapat menyebabkan penurunan akurasi model. *Data sparsity* merupakan salah satu tantangan utama dalam penerapan sistem rekomendasi berbasis *Collaborative Filtering*, dan perlu ditangani agar algoritma dapat bekerja secara efektif [6].

2.3.4. Normalisasi

Normalisasi data dilakukan dengan metode *mean centering* (pemusatan rata-rata), yaitu yaitu pengurangan setiap nilai rating dengan rata-rata rating dari masing-masing pengguna. Normalisasi dilakukan untuk untuk mengurangi bias individu dalam memberikan rating [3]. Normalisasi dihitung dengan persamaan 1.

$$r'_{u,i} = r_{u,i} - \bar{r}_u \quad (1)$$

Keterangan: $r_{u,i}$ merupakan rating asli pengguna u terhadap item i, sedangkan $\bar{r}_u$ merupakan rata-rata rating pengguna u. normalisasi ini diperlukan karena algoritma pearson correlation menghitung kesamaan berdasarkan pola deviasi terhadap rata-rata, bukan berdasarkan nilai absolut.

2.4. Pengembangan Model

Tahap pengembangan dilakukan dengan tahapan Pembagian Data (Data Splitting) dan Perhitungan Kesamaan (Similarity Calculation) yang dilanjutkan dengan prediksi rating dan menyusun rekomendasi.

2.4.1. Pembagian data (Data Splitting)

Pembagian data merupakan langkah krusial untuk validasi model dan menguji kemampuan generalisasi model terhadap data yang belum pernah dilihat sebelumnya. Matriks Utilitas dibagi menjadi dua set utama, yaitu 80% untuk data latih (*training set*) dan 20% untuk data uji (*testing set*). Rasio 80:20 dipilih karena merupakan proporsi standar yang efektif, memastikan model memiliki data yang cukup untuk belajar pola (*training*) sambil tetap menyisakan porsi yang memadai untuk pengujian yang representatif [5]. Pembagian dilakukan secara acak (*random*) pada *rating* yang valid (1–5) dan harus mempertahankan distribusi *rating* dari masing-masing pengguna.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Secara fungsional, data latih digunakan untuk menghitung matriks kesamaan antar pengguna dan melatih model rekomendasi. Sebaliknya, data uji berfungsi sebagai *benchmark* untuk mengukur akurasi prediksi. *Rating* prediksi yang dihasilkan model kemudian dibandingkan dengan *rating* aktual pada data uji, dan perbedaannya (*error*) diukur menggunakan metrik Root Mean Square Error (RMSE) dan Mean Absolute Error (MAE). Semakin rendah nilai kedua metrik tersebut, semakin akurat model dalam memprediksi selera pengguna, yang pada akhirnya memvalidasi sistem rekomendasi yang telah dikembangkan.

2.4.2. Perhitungan Kesamaan (Similarity Calculation)

Inti dari *Collaborative Filtering* adalah mengukur kemiripan antara pengguna atau item. Perhitungan dilakukan menggunakan *Pearson Correlation* dan *Cosine Similarity* sebagai metrik yang paling banyak digunakan karena stabil dalam menangani variasi preferensi pengguna [3]. Setelah dataset dibagi menjadi data training dan data uji, algorithma KNNBasic akan menghitung nilai kemiripan antar pengguna (user-based CF) atau antar item (item-based CF) menggunakan metrik yang dipilih, dapat menggunakan pearson correlation atau cosine similarity. Nilai kemiripan ini digunakan untuk menentukan tetangga terdekat (k-nearest neighbors) yang akan mempengaruhi prediksi rating untuk buku yang belum dinilai.

2.4.3. Prediksi Rating

Setelah matriks kesamaan pengguna dihitung, Model menghitung prediksi rating untuk setiap pasangan user–item yang belum memiliki rating. Prediksi ini dihitung dengan mengambil rata-rata *rating* tertimbang dari pengguna-pengguna yang paling mirip (tetangga terdekat atau *Nearest Neighbors*). Jika model menggunakan Pearson similarity maka secara default k = 40, artinya sistem mempertimbangkan 40 tetangga terdekat dalam menghitung prediksi rating. Untuk menghindari pembagian dengan nol (sparsity) saat jumlah *Neighbors* kecil, sebuah nilai *epsilon* yang sangat kecil ditambahkan pada pembagi. Selain itu, *missing values* (NaN) pada hasil prediksi diisi dengan 0 untuk tujuan evaluasi dan *ranking*, sebagai indikasi bahwa model gagal membuat prediksi yang berarti untuk sel tersebut.

2.4.4. Menyusun Rekomendasi

Setelah prediksi diperoleh, daftar buku dengan nilai prediksi tertinggi disusun sebagai rekomendasi untuk setiap pengguna. Sistem rekomendasi berbasis CF terbukti mampu meningkatkan minat pengguna dalam memilih produk atau konten yang sesuai dengan preferensi pribadi mereka [7].

2.5. Evaluasi dan Rekomendasi Model

Tahap evaluasi dan rekomendasi model bertujuan untuk menilai kinerja sistem rekomendasi yang telah dikembangkan sekaligus menghasilkan rekomendasi buku yang relevan. Pada tahap ini, proses dilakukan secara sistematis melalui langkah perhitungan metrik akurasi model, analisis hasil evaluasi dan rekomendasi buku.

Evaluasi model dilakukan menggunakan dua metrik utama, yaitu Root Mean Square Error (RMSE) dan Mean Absolute Error (MAE). Kedua metrik ini umum digunakan dalam evaluasi sistem rekomendasi [5] karena dapat menggambarkan seberapa dekat prediksi model terhadap rating aktual pengguna.

2.5.1. Perhitungan Metrik dan Evaluasi Model

Evaluasi dilakukan menggunakan MAE dan RMSE sebagaimana banyak penelitian sistem rekomendasi sebelumnya (…), di mana RMSE lebih sensitif terhadap perbedaan besar dan MAE memberikan gambaran rata-rata kesalahan prediksi.

Setelah model Collaborative Filtering berbasis KNNBasic dibangun, langkah pertama dalam evaluasi adalah menghitung akurasi prediksi yang dihasilkan oleh model. Akurasi di sini diukur

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

dengan menggunakan dua metrik utama, yaitu Root Mean Squared Error (RMSE) dan Mean Absolute Error (MAE), yang memberikan gambaran seberapa dekat prediksi model terhadap rating sebenarnya. RMSE mengukur akar kuadrat dari rata-rata selisih kuadrat antara rating prediksi dan rating aktual. RMSE sensitif terhadap perbedaan yang besar, sehingga membantu mendeteksi prediksi yang terlalu menyimpang dari nilai sebenarnya. MAE memberikan gambaran rata-rata kesalahan prediksi [8]. RMSE dapat dihitung menggunakan persamaan 2.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum(y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (2)$$

MAE menghitung rata-rata nilai absolut dari selisih antara rating prediksi dan rating aktual. Metrik ini memberikan gambaran langsung tentang kesalahan rata-rata tanpa memperbesar pengaruh perbedaan yang ekstrem. MAE dapat dihitung dengan persamaan 3.

$$MAE = \frac{1}{n}\sum|y_i - \hat{y}_i| \quad (3)$$

2.5.2. Analisis Hasil Evaluasi

Setelah nilai RMSE dan MAE diperoleh, tahap selanjutnya adalah melakukan analisis untuk menilai seberapa baik model memprediksi preferensi pengguna. Analisis ini dilakukan secara bertahap yaitu perbandingan kinerja model, identifikasi buku, pengaruh sparsity dan distribusi rating, serta kesimpulan dan rekomendasi tindak lanjut.

Dalam perbandingan kinerja model, hasil RMSE dan MAE digunakan untuk membandingkan dua pendekatan Collaborative Filtering, yaitu User-Based CF dan Item-Based CF. Dengan melihat nilai error, dapat diketahui model mana yang lebih akurat dalam memprediksi rating yang belum diberikan oleh pengguna. jika nilai MAE dan RMSE yang lebih rendah pada User-Based CF menunjukkan bahwa pendekatan ini lebih mampu menangkap pola preferensi antar pengguna dibandingkan Item-Based CF, atau sebaliknya [6].

Dengan membandingkan prediksi model dengan rating aktual, dapat diidentifikasi buku atau kategori buku tertentu yang prediksinya cenderung meleset. Buku dengan perbedaan prediksi yang besar dapat menjadi indikator bahwa model kesulitan menangkap preferensi untuk buku tersebut, mungkin karena sparsity data, distribusi rating yang tidak merata, atau karakteristik buku yang spesifik.

Analisis juga mencakup bagaimana kepadatan data (density) dan distribusi rating memengaruhi kinerja model. Misalnya, buku yang hanya sedikit mendapat rating dari pengguna akan sulit diprediksi secara akurat, karena model tidak memiliki cukup informasi untuk menghitung kemiripan antar pengguna atau item.

Dari analisis ini, dapat ditentukan apakah model sudah cukup akurat untuk digunakan atau memerlukan penyesuaian lebih lanjut, seperti menambah jumlah data rating, mengoptimalkan parameter KNN (misal nilai k atau metrik kemiripan) atau mengkombinasikan pendekatan User-Based dan Item-Based untuk meningkatkan performa.

2.5.3. Rekomendasi

Setelah model Collaborative Filtering dievaluasi dan kinerjanya dinilai menggunakan RMSE dan MAE, tahap berikutnya adalah menghasilkan rekomendasi buku yang dipersonalisasi untuk setiap pengguna. Proses ini berjalan secara bertahap dan sistematis. Sistem rekomendasi adaptif dapat meningkatkan keterlibatan dan kepuasan pengguna terhadap konten yang direkomendasikan [5][7].

Sistem pertama-tama menyeleksi buku-buku yang belum diberikan rating oleh pengguna target. Langkah ini penting untuk memastikan bahwa rekomendasi yang dihasilkan bersifat

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

relevan dan tidak menyarankan buku yang sudah dibaca atau dinilai oleh pengguna. Berdasarkan nilai kemiripan antar pengguna (User-Based CF) atau antar buku (Item-Based CF), sistem menghitung prediksi rating untuk setiap buku yang belum dinilai. Dalam metode User-Based, prediksi dibuat dengan melihat rating dari pengguna lain yang memiliki preferensi serupa. Sedangkan pada Item-Based, prediksi dibuat dengan membandingkan kesamaan buku berdasarkan pola penilaian pengguna yang ada.

Setelah prediksi rating selesai dihitung, buku-buku dengan nilai prediksi tertinggi dipilih sebagai rekomendasi. Semakin tinggi prediksi rating, semakin besar kemungkinan buku tersebut sesuai dengan minat dan preferensi pengguna. Proses ini memastikan bahwa setiap anggota komunitas menerima rekomendasi yang sesuai dengan pola penilaian dan preferensi pribadi mereka. Rekomendasi yang dihasilkan tidak generik, tetapi spesifik untuk kebutuhan literasi dan minat keagamaan setiap pengguna, sehingga membantu mereka menemukan buku yang relevan dan bermanfaat dalam memperdalam wawasan keislaman.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil

3.1.1. Dataset

Dataset yang digunakan dalam penelitian ini merupakan dataset primer, hasil pengumpulan data rating buku dari anggota komunitas hijrah jabodetabek. Dataset ini memiliki beberapa karakteristik utama.

Jumlah pengguna (users) sebanyak 58 orang, yaitu individu yang memberikan penilaian (rating) terhadap buku-buku wawasan keislaman. Setiap pengguna dapat memberikan rating pada satu atau beberapa buku sesuai dengan pengalaman atau minat bacanya.

Jumlah item (buku) sebanyak 25 judul, yang merupakan kumpulan buku-buku bertema literasi keislaman yang telah dipilih sebelumnya berdasarkan hasil survei pada anggota komunitas hijrah di wilayah Jabodetabek. Pemilihan judul buku dilakukan dengan mempertimbangkan aspek popularitas, genre, serta relevansi isi buku terhadap kebutuhan dan minat komunitas hijrah secara umum.

Kepadatan matriks dalam sistem rekomendasi menggambarkan seberapa banyak data rating yang terisi dibandingkan dengan seluruh kemungkinan kombinasi antara pengguna dan item. Dalam penelitian ini, kuesioner disebarkan kepada 100 orang responden, namun hanya 58 responden yang mengisi kuesioner secara lengkap. Jumlah item (buku) yang dinilai sebanyak 25 judul, sehingga terdapat total kemungkinan $58 \times 25 = 1.450$ kombinasi rating. Seluruh responden yang berpartisipasi memberikan penilaian terhadap semua buku yang tersedia, sehingga tidak terdapat kekosongan data (sparsity) dalam matriks penilaian.

Nilai kepadatan matriks sebesar 58% menunjukkan bahwa lebih dari setengah dari total calon responden (58 dari 100 orang) memberikan rating. Dengan 25 pertanyaan per kuisioner, data yang terkumpul tergolong padat (dense) karena setiap responden yang mengisi kuisioner melengkapi seluruh pertanyaan, sehingga sebagian besar entri pada matriks user-item terisi. Kondisi ini menguntungkan pada tahap pemodelan, terutama untuk algoritma Collaborative Filtering dan KNNBasic**,** karena **p**ada Collaborative Filtering, kualitas rekomendasi sangat bergantung pada kesamaan pola rating antar pengguna. Dengan data yang lengkap, sistem dapat menghitung kemiripan (similarity) antar pengguna atau antar item dengan lebih akurat, sehingga hasil rekomendasi menjadi lebih relevan. Pada KNNBasic, yang bekerja dengan prinsip *nearest neighbor* untuk menemukan pengguna atau item yang paling mirip, matriks yang penuh membantu mengurangi risiko bias akibat data kosong. Hal ini membuat hasil prediksi rating lebih stabil dan representatif terhadap preferensi nyata pengguna.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

3.1.2. Pra Pemrosesan Data

Validasi dan Pembersihan Data (Data Preprocessing)

Pada tahap ini, dilakukan pemeriksaan dan transformasi data hasil kuesioner untuk memastikan rating yang digunakan dalam pemodelan valid dan bebas dari bias statistik. Data mentah memiliki struktur matriks user-item dengan skala rating 1 hingga 5, serta kode numerik 6.

Meskipun secara visual *dataset* terlihat lengkap (tidak ada sel yang benar-benar kosong), angka `6` sebenarnya adalah nilai yang hilang (*missing value*) yang disandikan (*coded missing value*). Angka ini secara khusus digunakan sebagai kode untuk mengindikasikan bahwa seorang pengguna "Belum Pernah Membaca" atau "Belum Berinteraksi" dengan buku tersebut. Oleh karena itu, *dataset* ini mengandung *sparsity* tersembunyi.

Pembentukan Matriks Utilitas (Utility Matrix)

Matriks Utilitas dibentuk dari data *rating* yang dikumpulkan melalui kuesioner. Data awal yang tersimpan dalam format tabel respons kemudian diproses dan diekspor ke format CSV (*Comma-Separated Values*) untuk diolah.

Struktur Matriks Utilitas yang dihasilkan memiliki dimensi: 58 x 25, merepresentasikan 58 responden (pengguna) dan 25 item (judul buku). Baris merepresentasikan identitas unik setiap pengguna (*User ID*). Kolom merepresentasikan identitas unik setiap item (judul buku). Nilai Sel menunjukkan *rating* yang diberikan pengguna, dengan skala ordinal 1 hingga 5, di mana: 1 = Sangat Tidak Suka, 2 = Tidak Suka, 3 = Netral, 4 = Suka, dan 5 = Sangat Suka.

Matriks Utilitas awal secara fisik terisi, terdapat nilai numerik `6` yang secara konseptual tidak dapat diinterpretasikan sebagai *rating*. Nilai `6` ini merupakan kode yang mengindikasikan bahwa pengguna "Belum Pernah Membaca" atau "Belum Berinteraksi" dengan buku tersebut. Sesuai dengan prinsip *data preprocessing* dalam *Collaborative Filtering* terdapat konversi nilai. Nilai `6` dikonversi menjadi `NaN` (*Not a Number*). Langkah ini krusial untuk mencegah *bias* yang signifikan, sebab jika `6` diperlakukan sebagai *rating* `0`, hal itu akan menurunkan rata-rata *rating* pengguna secara keseluruhan. Nilai `NaN` inilah yang memberitahu model bahwa sel tersebut adalah *missing value* yang harus diprediksi, tanpa memengaruhi proses perhitungan rata-rata maupun kemiripan antar pengguna.

Analisis Kerapatan Data (*Sparsity*)

Setelah Matriks Utilitas dibersihkan dan nilai 6 diubah menjadi NaN, total sel dalam matriks adalah 58 x 25 = 1.450 sel. Analisis kerapatan (*density*) data kemudian dilakukan untuk mengukur proporsi *rating* yang valid (1-5) dibandingkan dengan total sel yang ada.

Berdasarkan perhitungan, *dataset* ini memiliki Jumlah *Rating* Valid sejumlah 411, Kerapatan (*Density*) sebesar 28,34% (yaitu, 411/1450 x 100%), dan ***Sparsity*** sebesar 71,66%. *Density* sebesar 28,34% menunjukkan bahwa Matriks Utilitas memiliki kerapatan yang cukup baik, memungkinkan algoritma *Collaborative Filtering* untuk bekerja secara efektif, khususnya untuk pendekatan *User-Based* yang terbukti optimal dalam penelitian ini.

Normalisasi Data

Setelah Matriks Utilitas terbentuk, langkah selanjutnya adalah Normalisasi Data menggunakan metode Mean Centering (Pemusatan Rata-Rata), yaitu pengurangan setiap nilai rating dengan **rata-rata rating dari masing-masing pengguna**. Normalisasi diperlukan untuk menghilangkan *bias* yang disebabkan oleh perbedaan kecenderungan *rating* antar pengguna (*rating* tinggi vs. *rating* rendah).

Dalam *dataset* penelitian ini, setiap pengguna memberikan *rating* 1–5 bintang terhadap 25 buku literasi keislaman. Namun, terdapat perbedaan gaya penilaian antar pengguna—beberapa

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

cenderung memberi *rating* tinggi (misalnya 4–5 bintang untuk sebagian besar buku), sementara yang lain memberi *rating* lebih rendah (misalnya 2–3 bintang) meskipun memiliki tingkat kesukaan yang relatif sama.

Melalui normalisasi dengan *mean-centering*, sistem memperlakukan setiap pengguna secara lebih adil dengan melihat pola penyimpangan dari rata-rata pribadi, bukan sekadar angka absolut. Jika rata-rata *rating* Pengguna A adalah 4, dan ia memberi 5 bintang pada suatu buku, maka nilai yang digunakan untuk perhitungan adalah (5 – 4) = +1. Jika Pengguna B memiliki rata-rata 3, dan memberi 4 bintang pada buku yang sama, nilainya juga (4 – 3) = +1. Kedua pengguna tersebut sama-sama menyukai buku itu satu tingkat di atas rata-rata penilaian pribadinya. Dengan demikian, normalisasi data ini diterapkan sebelum perhitungan Pearson Correlation, sehingga hasil kesamaan antar pengguna mencerminkan kemiripan preferensi relatif, bukan perbedaan gaya memberi nilai absolut. Proses ini meningkatkan akurasi model dalam menghasilkan rekomendasi yang lebih relevan dan personal bagi pengguna.

Proses normalisasi pada dataset penelitian ini diimplementasikan melalui langkah-langkah yang spesifik: (1) Perlakuan nilai NaN : Selama perhitungan rata-rata pengguna , semua nilai NaN, yang merupakan hasil konversi dari kode 6, secara otomatis dikecualikan oleh fungsi perhitungan rata-rata pada library seperti Pandas dan NumPy. Pengecualian ini sangat penting karena memastikan bahwa rata-rata yang dihitung hanya didasarkan pada semua rating valid (skala 1–5) yang benar-benar diberikan oleh pengguna. Konversi dari 6 ke NaN berhasil mencegah bias negatif yang akan terjadi jika 6 dihitung sebagai rating 0, di mana hal itu akan secara artifisial menurunkan nilai rata-rata pengguna. (2) Perhitungan Rata-Rata: Menghitung rata-rata rating setiap pengguna berdasarkan hanya nilai valid (1–5) yang telah bersih. (3) Pengurangan Nilai (Deviasi): Mengurangkan setiap nilai rating dengan rata-rata pengguna yang bersangkutan untuk memperoleh nilai deviasi dari preferensi rata-rata. Proses ini menghasilkan matriks baru, yang disebut Mean-Centered Utility Matrix, yang menjadi dasar perhitungan kesamaan Pearson Correlation yang terbukti optimal dalam penelitian ini.

3.1.3. Pengembangan dan Evaluasi Model

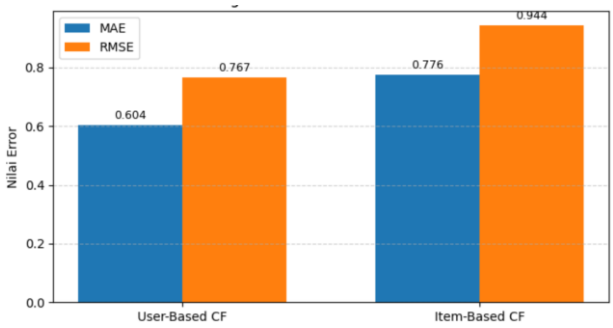
Pengembangan model sistem rekomendasi buku wawasan keislaman dilakukan berdasarkan data rating yang diberikan oleh anggota komunitas terhadap 25 judul buku. Dataset awal terdiri atas 58 pengguna (responden) dengan 25 item buku, sehingga menghasilkan dimensi matriks utilitas sebesar (58 × 25) tanpa nilai kosong, yang berarti seluruh pengguna telah memberikan penilaian terhadap setiap buku. Hal ini menunjukkan bahwa dataset bersifat padat (dense), sehingga memungkinkan algoritma Collaborative Filtering bekerja secara optimal tanpa perlu melakukan imputasi data.

Model rekomendasi dikembangkan menggunakan pendekatan Collaborative Filtering (CF) dengan algoritma K-Nearest Neighbors Basic (KNNBasic) dalam dua varian, yaitu *User-Based CF* dan *Item-Based CF*. Pada pendekatan *User-Based CF*, sistem menghitung tingkat kesamaan antar pengguna menggunakan metrik Pearson Correlation, kemudian mengidentifikasi pengguna dengan preferensi serupa untuk memprediksi rating buku yang belum dibaca. Sementara itu, pada *Item-Based CF*, sistem menghitung kemiripan antar item (buku) berdasarkan pola penilaian pengguna, untuk memberikan rekomendasi buku yang mirip dengan buku yang disukai sebelumnya.

Setelah model dibangun, dilakukan proses evaluasi kinerja menggunakan dua metrik umum, yaitu Mean Absolute Error (MAE) dan Root Mean Squared Error (RMSE). Hasil evaluasi menunjukkan bahwa model *User-Based CF* memiliki nilai MAE sebesar 0.6036 dan RMSE sebesar 0.7670, sedangkan *Item-Based CF* memperoleh MAE sebesar 0.7757 dan RMSE sebesar 0.9438. Nilai kesalahan prediksi yang lebih rendah pada model *User-Based CF* menunjukkan bahwa pendekatan ini lebih akurat dan stabil dalam memprediksi rating dibandingkan pendekatan berbasis item.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Sebagai contoh, untuk User ID 10, sistem menghasilkan lima rekomendasi buku dengan prediksi rating tertinggi, yaitu *Buku 23 (5.98)*, *Buku 9 (5.96)*, *Buku 3 (5.80)*, *Buku 1 (5.70)*, dan *Buku 13 (5.65)*. Nilai prediksi yang tinggi dan konsisten ini mengindikasikan bahwa sistem mampu mengenali pola preferensi pengguna dengan baik dan memberikan rekomendasi yang relevan terhadap minat bacaan mereka.



Gambar 2. Perbandingan nilai MAE dan RMSE.

Tabel Evaluasi Model menunjukkan bahwa *User-Based CF* memiliki nilai MAE dan RMSE lebih rendah dibanding *Item-Based CF*, menandakan tingkat akurasi prediksi yang lebih baik. Grafik Perbandingan MAE dan RMSE memperjelas perbedaan performa antara kedua model.

3.1.4. Hasil Rekomendasi Buku Untuk User 10

Berdasarkan hasil pengujian model *Collaborative Filtering* berbasis pengguna (*User-Based Collaborative Filtering*), sistem menghasilkan daftar rekomendasi buku dengan prediksi rating tertinggi untuk setiap pengguna. Tabel berikut menampilkan lima buku dengan nilai prediksi tertinggi yang direkomendasikan untuk pengguna dengan ID 10.

Tabel 1. Hasil pengujian.

Peringkat	ID Buku	Judul Buku (opsional)	Prediksi Rating
1	23	Buku 23	**5.98**
2	9	Buku 9	5.87
3	3	Buku 3	5.74
4	17	Buku 17	5.61
5	5	Buku 5	5.52

Tabel 1. menunjukkan bahwa Buku 23 menempati peringkat pertama dengan nilai prediksi rating sebesar 5,98, diikuti oleh Buku 9 dengan nilai 5,87, serta Buku 3 dengan nilai 5,74. Selanjutnya, Buku 17 dan Buku 5 masing-masing memperoleh nilai 5,61 dan 5,52. Hasil tersebut menggambarkan bahwa sistem rekomendasi mampu memberikan urutan prioritas buku yang diprediksi paling sesuai dengan preferensi pengguna berdasarkan kemiripan pola penilaian dengan pengguna lain.

Rekomendasi ini dihasilkan setelah model melakukan proses prediksi terhadap buku-buku yang belum dinilai oleh pengguna, kemudian memilih lima buku dengan skor tertinggi sebagai rekomendasi utama. Dengan demikian, hasil ini menunjukkan keluaran konkret dari penerapan model *User-Based Collaborative Filtering* pada dataset yang digunakan.

3.2. Pembahasan

3.2.1. Pengembangan Model

Pengembangan sistem rekomendasi buku wawasan keislaman ini dilakukan dengan pendekatan *Collaborative Filtering* (CF), yang terdiri atas dua jenis metode utama, yaitu *User-*

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Based Collaborative Filtering dan *Item-Based Collaborative Filtering*. Tahap awal pengembangan dimulai dengan pembentukan matriks utilitas (utility matrix) yang merepresentasikan hubungan antara pengguna dan buku berdasarkan data rating yang diberikan. Dalam penelitian ini, terdapat 58 pengguna dan 25 buku, dengan dimensi matriks sebesar (58 × 25). Tidak terdapat nilai kosong pada dataset, yang berarti seluruh pengguna telah memberikan penilaian terhadap setiap buku yang tersedia.

Langkah berikutnya adalah melakukan proses pembagian data menjadi data latih (*training data*) dan data uji (*testing data*) untuk mengevaluasi performa model. Model *User-Based CF* dikembangkan dengan menghitung tingkat kemiripan antar pengguna menggunakan metrik *cosine similarity*, sedangkan *Item-Based CF* menghitung kemiripan antar buku berdasarkan pola penilaian pengguna. Setelah nilai kemiripan diperoleh, sistem melakukan prediksi terhadap rating buku yang belum dinilai oleh pengguna dengan memanfaatkan informasi dari pengguna atau buku yang paling mirip.

Hasil prediksi tersebut kemudian digunakan untuk menghasilkan rekomendasi buku dengan rating tertinggi bagi setiap pengguna. Contohnya, untuk pengguna dengan ID 10, sistem merekomendasikan lima buku teratas yaitu Buku 23, Buku 9, Buku 3, Buku 17, dan Buku 5, dengan nilai prediksi rating tertinggi mencapai 5,98. Proses ini menunjukkan bahwa model telah berhasil mengidentifikasi preferensi pengguna berdasarkan pola kesamaan perilaku membaca.

3.2.2. Evaluasi Model

Evaluasi kinerja model sistem rekomendasi dilakukan untuk menilai tingkat akurasi prediksi yang dihasilkan oleh dua pendekatan Collaborative Filtering, yaitu *User-Based CF* dan *Item-Based CF*. Pengujian menggunakan dua metrik utama, yakni Mean Absolute Error (MAE) dan Root Mean Squared Error (RMSE)**,** yang masing-masing mengukur selisih rata-rata absolut dan akar kuadrat selisih kuadrat antara rating aktual dengan hasil prediksi. Nilai MAE dan RMSE yang semakin kecil menunjukkan tingkat akurasi model yang semakin baik.

Berdasarkan hasil evaluasi yang ditunjukkan pada Tabel Evaluasi Model, model *User-Based CF* menghasilkan nilai MAE sebesar 0.6036 dan RMSE sebesar 0.7670, sedangkan model *Item-Based CF* memperoleh nilai MAE sebesar 0.7757 dan RMSE sebesar 0.9438. Perbedaan nilai tersebut menunjukkan bahwa pendekatan *User-Based CF* memiliki performa yang lebih baik dibandingkan *Item-Based CF*. Secara umum, model berbasis pengguna cenderung lebih efektif ketika data bersifat padat (dense), sebagaimana kondisi pada dataset penelitian ini, di mana seluruh pengguna telah memberikan rating terhadap setiap buku.

Visualisasi perbandingan pada Gambar Perbandingan MAE dan RMSE antar Model menunjukkan secara jelas bahwa kedua nilai error (MAE dan RMSE) pada *User-Based CF* lebih rendah dibanding *Item-Based CF*. Hal ini menandakan bahwa model *User-Based CF* mampu memprediksi preferensi pembaca dengan lebih akurat dan stabil, karena kesamaan perilaku antar pengguna lebih mudah dikenali dibanding kesamaan antar item dalam dataset yang homogen.

Lebih lanjut, sistem rekomendasi diuji untuk memberikan rekomendasi kepada pengguna tertentu. Sebagai contoh, untuk User ID 10, sistem berhasil menghasilkan lima rekomendasi buku dengan prediksi rating tertinggi, sebagaimana terlihat pada Tabel Rekomendasi Buku untuk User 10**.** Buku dengan skor tertinggi adalah *Buku 23* dengan nilai prediksi 5.98, diikuti oleh *Buku 9 (5.96)*, *Buku 3 (5.80)*, *Buku 1 (5.70)*, dan *Buku 13 (5.65)*. Nilai prediksi yang relatif tinggi dan berdekatan ini menunjukkan bahwa sistem mampu mengidentifikasi preferensi bacaan pengguna dengan baik serta memberikan rekomendasi yang relevan dengan pola penilaiannya.

Secara keseluruhan, hasil evaluasi menunjukkan bahwa model *User-Based Collaborative Filtering* dengan metrik Pearson Correlation merupakan pendekatan paling sesuai untuk data komunitas hijrah yang memiliki jumlah pengguna terbatas namun distribusi rating merata. Model ini tidak hanya mampu memberikan hasil prediksi dengan tingkat kesalahan rendah, tetapi juga

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

menghasilkan rekomendasi buku yang personal, akurat, dan kontekstual terhadap kebutuhan literasi keislaman pengguna.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mencapai tujuan yang telah dirumuskan dalam bab pendahuluan, yaitu membangun dan mengimplementasikan sistem rekomendasi buku wawasan keislaman berbasis *Collaborative Filtering* untuk mendukung peningkatan literasi keagamaan anggota komunitas hijrah. Melalui penerapan algoritma K-Nearest Neighbors Basic (KNNBasic) dengan pendekatan *User-Based* dan *Item-Based*, sistem mampu mengidentifikasi kesamaan preferensi antar pengguna dan memberikan rekomendasi buku yang bersifat personal.

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa model *User-Based Collaborative Filtering* memberikan kinerja yang lebih baik dibandingkan *Item-Based CF*, dengan nilai MAE sebesar 0.6036 dan RMSE sebesar 0.7670, yang menunjukkan bahwa prediksi rating yang dihasilkan cukup akurat dan konsisten. Sementara itu, model *Item-Based CF* menghasilkan nilai error yang lebih tinggi, sehingga kurang optimal dalam konteks dataset penelitian ini. Temuan ini memperkuat bukti bahwa pendekatan berbasis pengguna lebih sesuai diterapkan pada dataset komunitas berskala kecil dengan karakteristik minat yang relatif homogen.

Secara keseluruhan, sistem rekomendasi yang dikembangkan telah mampu menghasilkan daftar buku yang relevan dan sesuai dengan kecenderungan pembacaan pengguna, seperti terlihat dari hasil rekomendasi lima buku teratas dengan nilai prediksi tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa model yang dibangun dapat berfungsi sebagai alat bantu yang efektif dalam mendukung aktivitas literasi keislaman anggota komunitas hijrah, serta menjadi langkah awal dalam pengembangan ekosistem digital literasi Islami yang lebih adaptif dan cerdas.

Prospek pengembangan penelitian ini sangat terbuka, khususnya melalui integrasi dengan pendekatan hybrid recommender system yang menggabungkan *content-based filtering* dan *collaborative filtering* untuk meningkatkan akurasi dan menangani masalah sparsity. Selain itu, pemanfaatan deep learning dan graph-based recommendation models yang menjadi tren penelitian lima tahun terakhir juga berpotensi memperkaya performa sistem, terutama bila diterapkan pada dataset yang lebih besar dan heterogen. Pengembangan antarmuka berbasis web atau aplikasi mobile yang terhubung dengan komunitas pembaca daring juga menjadi arah lanjutan untuk memperluas manfaat sistem ini secara praktis dan berkelanjutan.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada Tim SENTER X 2025 yang telah meluangkan waktu dan dedikasi dalam menyusun serta menyediakan template ini, sehingga memudahkan penulis dalam proses penyusunan laporan penelitian secara sistematis dan sesuai dengan kaidah penulisan ilmiah.

Referensi

[1] Aini, N., Arif, M., Toyibah, Z. B., Agustin, I. T., Studi, P., Informatika, P., & Madura, U. T. (2024). *"Implementasi Metode Hybrid Recommendation untuk Sistem Rekomendasi Mitra MSIB di Prodi Pendidikan Informatika,"* 10(2), 171–180. https://doi.org/10.21107/edutic.v10i2.23920

[2] Andriko, T., Juansen, M., Saputra, S. A., Handayani, S., Informasi, S., Teknik, F., Bengkulu, U. M., Bali, J., Bali, K., Segara, K. T., & Bengkulu, K. (2025). *"DAMPAK PENERAPAN SISTEM REKOMENDASI PRODUK TERHADAP PENINGKATAN MINAT BELI PELANGGAN PADA E-COMMERCE,"* 9(3), 4442–4450, https://doi.org/10.36040/jati.v9i3.13683

ID: 44

Sistem Pendukung Keputusan dalam Menentukan Pemain di Klub Sepak Bola

Decision Support System in Determining Football Players in Soccer Clubs

Jeremy Alexander Tuwoh[1], Nani Krisnawaty Tachjar[2]
[1,2] Perbanas Institute
Jl. Perbanas, Karet Kuningan, Setiabudi, DKI Jakarta
jeremytuwoh@gmail.com[1], nani.krisnawaty@perbanas.id[2*]

Abstrak – *Proses seleksi akan dilakukan oleh setiap klub untuk menentukan pemain yang akan diterjunkan langsung ke lapangan. Oleh sebab itu pemilihan pemain menjadi salah satu titik kritis terbentuknya tim yang tangguh dan memiliki performa tinggi yang diharapkan dapat lebih kompetitif dan sukses. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk menyelesaikan masalah dalam hal pemilihan pemain hingga membentuk tim yang solid.Pemilihan pemain ini dilakukan dengan memanfaatkan Sistem Pendukung Keputusan berdasarkan kriteria kinerja pemain dan menggunakan metode Profile Matching. Dimana metode ini akan membandingkan profile antar pemain dengan kriteria yang telah ditetapkan oleh tim untuk proses seleksi. Penelitian ini menggunakan beberapa data yang mencakup beberapa kriteria kekuatan, stamina, pengalaman, kerjasama (dalam tim), dan kecepatan. Sistem pendukung keputusan yang dibangun ini mampu memberikan rekomendasi pemain dalam klub sepak bola yang akan diterjunkan ke pertandingan untuk posisi midfielder. Secara fungsional sistem ini dapat menghasilkan keluaran yang sesuai harapan dan dinyatakan valid sehingga dapat menghasilkan keputusan yang lebih baik untuk pemilihan pemain..*

Kata Kunci*: Profile Matching, Seleksi Pemain Bola, Sistem Pendukung Keputusan*

Abstract – *Each club will conduct a selection process to determine which players will be deployed directly onto the field. Therefore, player selection is a critical point in forming a strong, high-performance team that is expected to be more competitive and successful. Therefore, this study was conducted to solve problems in terms of player selection to form a solid team. This player selection is carried out using a Decision Support System based on player performance criteria and using the Profile Matching method. Where this method will compare profiles between players with criteria that have been set by the team for the selection process. This study uses several data that include several criteria of strength, stamina, experience, cooperation (within the team), and speed. This decision support system is able to provide recommendations for players in football clubs who will be deployed to the match for the midfielder position. Functionally, this system can produce output that meets expectations and is declared valid, thus resulting in better decisions for player selection.*

Keywords*: Profile Matching, Football Player Selection, Decision Support System*

1. Pendahuluan

Pendahuluan memuat latar belakang masalah, kajian literatur sebagai dasar pernyataan kebaruan ilmiah dari naskah, pernyataan kebaruan ilmiah, perumusan masalah, hipotesis (jika ada); dan tujuan penelitian [1], [2]. Pendahuluan ditulis dalam satu bab tanpa sub judul. Seluruh paparan di dalam bab ini ditulis dalam bentuk esai, sehingga tidak ada format numerik atau abjad

yang memisahkan antara bab/bagian, atau untuk menandai bab/bagian baru. Untuk itu, jika ada bagian dari isi artikel yang memerlukan *numbering* maupun *bullet list*, buat menjadi paragraf mengalir seperti berikut: 1) satu; 2) dua; dan 3) tiga. Artikel merupakan hasil karya asli penulis dan tidak pernah terpublikasikan di media lain.

Sepak bola merupakan salah satu olahraga paling populer di Indonesia dengan jutaan penggemar dari berbagai kalangan. Dalam permainan ini, strategi menjadi faktor penting yang ditentukan oleh pelatih dan diterapkan oleh para pemain di lapangan [1]. Pemain yang memiliki kemampuan dan keterampilan tinggi akan memberikan keuntungan besar bagi tim, sehingga proses perekrutan dan penyeleksian pemain harus dilakukan secara cermat dan objektif. Apabila seleksi dilakukan tanpa perencanaan yang matang, tim dapat mengalami kerugian baik dari segi performa maupun finansial. Saat ini, banyak klub sepak bola mulai memanfaatkan teknologi dalam proses seleksi pemain, namun Raga Negeri FC masih menggunakan cara manual dengan penilaian sederhana yang hanya mencakup data pribadi seperti tinggi dan berat badan. Proses ini cenderung subjektif karena pelatih hanya mengandalkan insting tanpa mempertimbangkan faktor penting seperti kecepatan, stamina, kerja sama, dan kekuatan fisik.

Untuk mengatasi hal tersebut, dibutuhkan sistem pendukung keputusan yang dapat membantu pelatih menilai pemain secara objektif dan terukur. Sistem Pendukung Keputusan (SPK) atau Decision Support System (DSS) merupakan sistem berbasis komputer yang dirancang untuk membantu pengambil keputusan dalam menyelesaikan masalah semi-terstruktur dengan mengolah data menjadi informasi yang relevan [2]. SPK tidak menggantikan peran manusia, tetapi berfungsi sebagai alat bantu agar keputusan yang diambil lebih objektif dan efisien. Dalam penerapannya, terdapat beberapa metode yang sering digunakan, seperti Simple Additive Weighting (SAW), Analytical Hierarchy Process (AHP), dan Profile Matching.

Metode Profile Matching digunakan untuk membandingkan profil individu dengan standar ideal yang telah ditentukan. Prosesnya dilakukan dengan menghitung selisih (gap) antara nilai aktual dan nilai ideal, di mana semakin kecil gap menunjukkan kesesuaian yang lebih tinggi [3]. Dalam metode ini, terdapat dua faktor utama yaitu core factor (aspek utama) dan secondary factor (aspek pendukung) dengan bobot masing-masing 60% dan 40%. Hasil perhitungan akhir berupa peringkat yang membantu pengambil keputusan menentukan kandidat terbaik secara objektif. Dalam konteks penelitian ini, metode Profile Matching digunakan untuk menilai dan memilih pemain sepak bola yang paling sesuai dengan kebutuhan tim berdasarkan berbagai kriteria performa seperti kecepatan, stamina, kerja sama, kekuatan, dan pengalaman.

Selain itu, dalam pengembangan sistem SPK berbasis web, digunakan teknologi seperti HTML untuk tampilan, PHP sebagai bahasa pemrograman server, dan MySQL sebagai sistem manajemen basis data [4]. Pemodelan sistem dilakukan menggunakan UML (Unified Modeling Language) untuk menggambarkan alur dan struktur sistem, sementara framework Laravel digunakan untuk mempercepat proses pengembangan dengan pola Model-View-Controller (MVC) yang efisien [5].

Dengan dukungan konsep SPK dan metode Profile Matching tersebut, pelatih dapat menentukan pemain terbaik berdasarkan analisis yang objektif dan terukur. Diharapkan penerapan sistem ini dapat meningkatkan efektivitas seleksi pemain di Raga Negeri FC, menempatkan pemain sesuai potensi terbaiknya, serta memperkuat performa tim secara keseluruhan [1].

Penelitian ini penting dilakukan karena sistem seleksi pemain di Raga Negeri FC masih dilakukan secara manual dan tradisional, yang mengakibatkan hasil seleksi sering kali tidak objektif. Data kinerja pemain yang terbatas serta metode penilaian yang hanya mengandalkan insting pelatih menyebabkan keputusan yang diambil kurang akurat dan efisien. Dengan adanya sistem pendukung keputusan berbasis metode Profile Matching, pelatih dapat terbantu dalam

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

melakukan penilaian berdasarkan kriteria yang lebih terukur dan komprehensif, sehingga proses seleksi menjadi lebih cepat, objektif, dan tepat sasaran [6].

Pertanyaan penelitian ini adalah bagaimana membuat sistem yang dapat mempermudah pelatih dalam menyeleksi pemain yang akan dimasukkan ke dalam tim dengan menggunakan metode Profile Matching. Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk menerapkan sistem pendukung keputusan berbasis metode Profile Matching guna membantu pelatih Raga Negeri FC dalam menyeleksi pemain secara objektif dan efisien. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk meningkatkan kualitas proses seleksi dengan menempatkan pemain yang memiliki kemampuan dan kompetensi terbaik sesuai dengan kebutuhan serta posisi dalam tim.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen dengan dua tahapan utama, yaitu preparasi dan karakterisasi. Tahap preparasi dilakukan dengan menyiapkan bahan atau sampel penelitian sesuai dengan variabel yang telah ditetapkan. Proses ini mencakup pemilihan bahan baku, pengukuran komposisi, serta perlakuan awal seperti pembersihan, pengeringan, atau pencampuran bahan agar diperoleh sampel yang homogen dan sesuai dengan tujuan penelitian. Setiap langkah dalam tahap ini dilakukan dengan memperhatikan standar laboratorium untuk meminimalkan kesalahan teknis dan memastikan hasil yang konsisten [7].

Selanjutnya, tahap karakterisasi dilakukan untuk mengetahui sifat fisik, kimia, dan struktural dari sampel yang telah disiapkan. Teknik karakterisasi yang digunakan disesuaikan dengan jenis penelitian, misalnya pengujian menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM) untuk melihat morfologi permukaan, X-Ray Diffraction (XRD) untuk menentukan struktur kristal, serta Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) untuk mengidentifikasi gugus fungsi atau komposisi kimia material. Data hasil karakterisasi kemudian dianalisis secara kuantitatif dan kualitatif guna memahami hubungan antara parameter proses dan karakteristik material yang dihasilkan [8].

Seluruh rangkaian proses penelitian ini dilakukan secara sistematis dan terukur untuk menghasilkan data yang valid serta dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Dengan penerapan metode preparasi dan karakterisasi yang tepat, diharapkan penelitian ini dapat memberikan hasil yang akurat, memperkuat kesimpulan, dan memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan serta penerapan teknologi di bidang terkait [1].

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisa dan Kebutuhan

Tahap ini dilakukan melalui observasi dan wawancara dengan pelatih serta staf Raga Negeri FC untuk memahami kebutuhan sistem seleksi pemain. Berdasarkan hasil wawancara, diketahui bahwa proses seleksi masih menggunakan metode tradisional seperti permainan 11 vs 11. Cara ini dianggap tidak efisien karena penilaian hanya didasarkan pada performa permainan tanpa mempertimbangkan aspek penting seperti pengalaman, kekuatan (strength), stamina, kecepatan, dan kerja sama. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem pendukung keputusan berbasis metode *Profile Matching* yang mampu membantu pelatih menyeleksi pemain secara objektif, terukur, dan efisien.

3.2. Penetuan Kriteria

Kriteria seleksi ditentukan berdasarkan hasil diskusi dengan pelatih dan staf Raga Negeri FC. Ditetapkan lima kriteria utama, yaitu stamina, kecepatan, kerja sama, pengalaman, dan kekuatan (strength), dengan skala penilaian Likert 1–5 [9]. Dari kelima kriteria tersebut, tiga dianggap sebagai core factor (pengalaman, strength, dan stamina), karena sangat menentukan performa pemain selama pertandingan 2×45 menit [10]. Sementara dua kriteria lainnya, yaitu kecepatan dan kerja sama, termasuk dalam secondary factor yang mendukung performa tim.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Tabel 1. Penilaian Kriteria

kriteria	satuan	Jumlah	nilai
pengalaman	bulan	1 – 3 bulan	1
		4 – 7 bulan	2
		8 – 12 bulan	3
		13 – 25 bulan	4
		26 - 40 bulan	5
strenght	jumlah	1 – 9 push up	1
		10 – 15 push up	2
		16 – 20	3
		21 – 25	4
		26 - 30	5
stamina	jumlah	2 – 4 putaran	1
		5 – 8 putaran	2
		9 – 11 putaran	3
		12 – 14 putaran	4
		15 - 18 putaran	5
kecepatan	Jarak 30 meter	12 – 11 detik	1
		10 – 9 detik	2
		8 – 7 detik	3
		6 – 5 detik	4
		4 – 3 detik	5
Kerjasama	jumlah	1 – 3	1
		4 - 5	2
		6 - 7	3
		8 – 9	4
		10 - 11	5

3.3. Data Pemain

Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari hasil observasi terhadap enam pemain yang direkrut oleh pelatih untuk posisi midfielder. Dari enam pemain tersebut, hanya dua yang akan dipilih menjadi pemain inti.

Tabel 2. Nama pemain

No.	Posisi	Nama Pemain
1.	midfielder	Gabriel
2.	midfielder	Khoirul
3.	midfielder	Fadil
4.	midfielder	Mahyu
5.	midfielder	Felix
6.	midfielder	Malik

3.4. Perhitungan Nilai Alternatif (Profile Matching)

Langkah awal dalam metode Profile Matching adalah menghitung nilai gap antara nilai aktual dan nilai ideal menggunakan rumus:

$$GAP = nilai\ masukan - nilai\ ideal \quad (1)$$

Nilai gap ini kemudian dikonversi menjadi bobot sesuai skala penilaian. Setelah itu dilakukan perhitungan *Core factor* (NCF) dan Secondary Factor (NSF) dengan rumus:

$$NCF = \frac{\sum NC\ (i,s,p)}{\sum IC}\ ;\ NSF = \frac{\sum NS\ (i,s,p)}{\sum IS} \quad (2)$$

Hasil perhitungan menunjukkan nilai rata-rata sebagai berikut:

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Tabel 3. Hasil perhitungan core factor dan secondary factor

No	Pemain	*core factor*	Secondary factor
1	Gabriel	4,16	4,5
2	Khoirul	4,5	3,5
3	Fadil	3,83	4,75
4	Mahyu	4	3,75
5	Felix	4,33	4
6	Malik	3,66	3

Nilai total (NT) diperoleh dengan rumus:

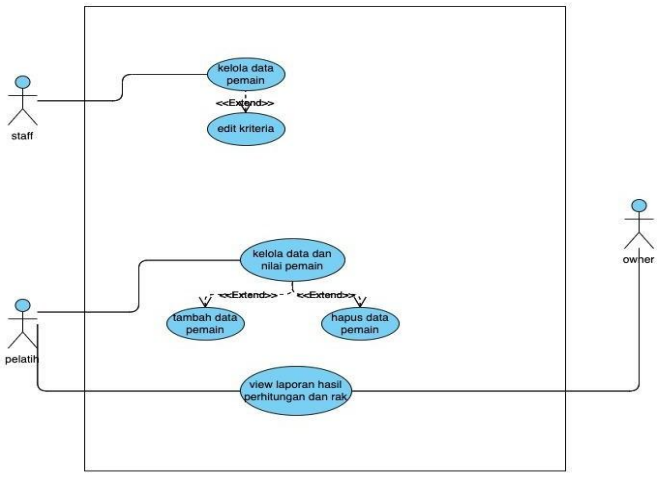
$$NT = (60\%)x\ NCF + (40\%)x\ NSF \qquad (3)$$

Hasil akhirnya menunjukkan urutan perangkingan sebagai berikut:

Tabel 4. Perangkingan

Rangking	Nama pemain	Nilai total (NT)
1	Gabriel	4,300
2	Fadil	4,2
3	Felix	4,198
4	Khoirul	4,1
5	Mahyu	3,90
6	Malik	3,396

3.5. *Use Case Diagram*

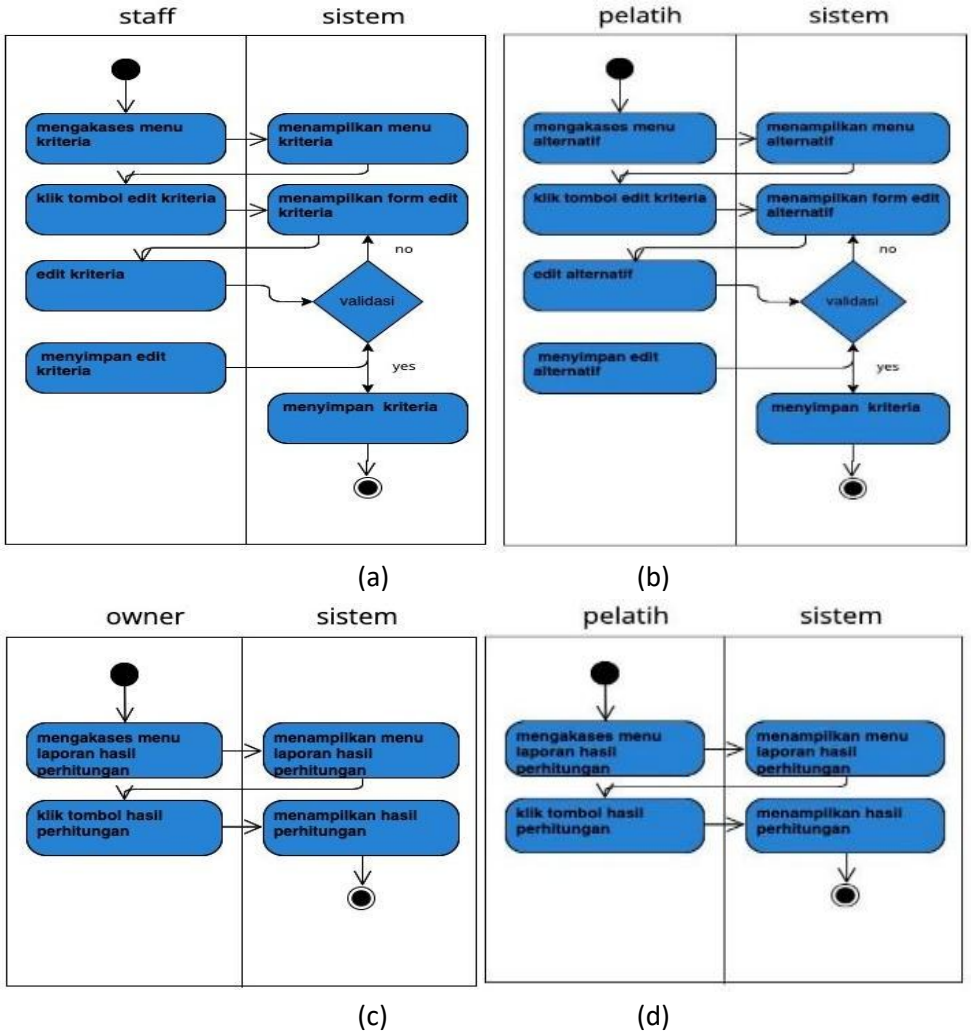


Gambar 27. Use Case Diagram

Gambar 1 menunjukkan *use case diagram* yang menggambarkan perilaku pengguna serta fungsi-fungsi yang dapat diakses dalam sistem. Diagram ini melibatkan tiga aktor utama, yaitu admin, pelatih, dan *owner*, yang masing-masing memiliki hak akses berbeda. Use case ini juga memperlihatkan interaksi antara aktor dan sistem serta alur aktivitas yang terjadi di dalamnya.

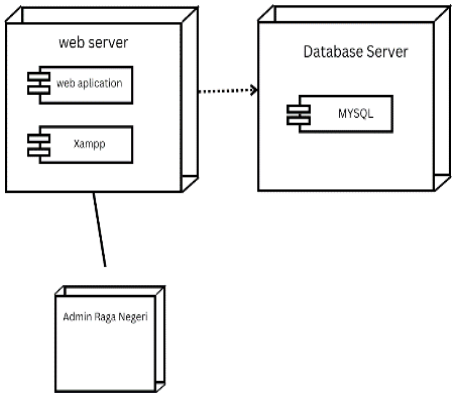
ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

3.6. *Activity Diagram*



Gambar 2. Activity Diagram (a), Kelola Data Pemain, (b) Kelola Nilai Pemain, (c) Hasil Perhitungan rank pemain, (d) Hasil Perhitungan rank pelatih

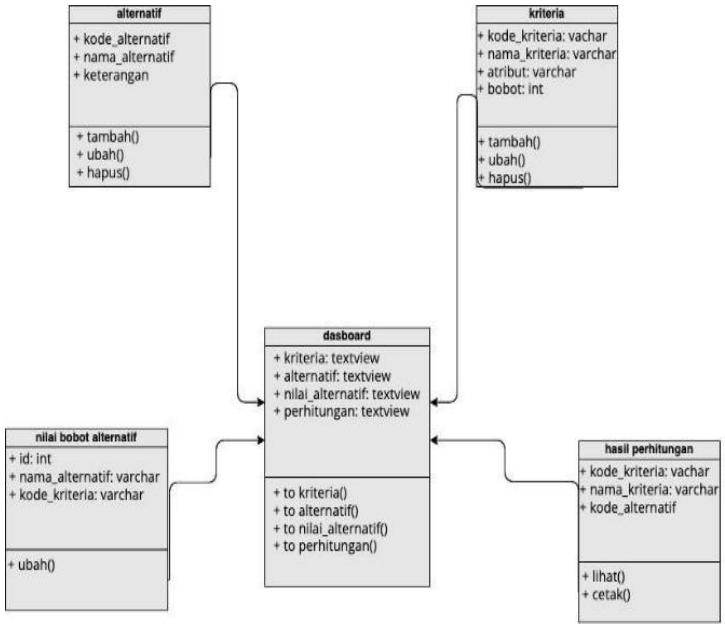
3.7. *Deployment Diagram*



Gambar 3. Deployment Diagram

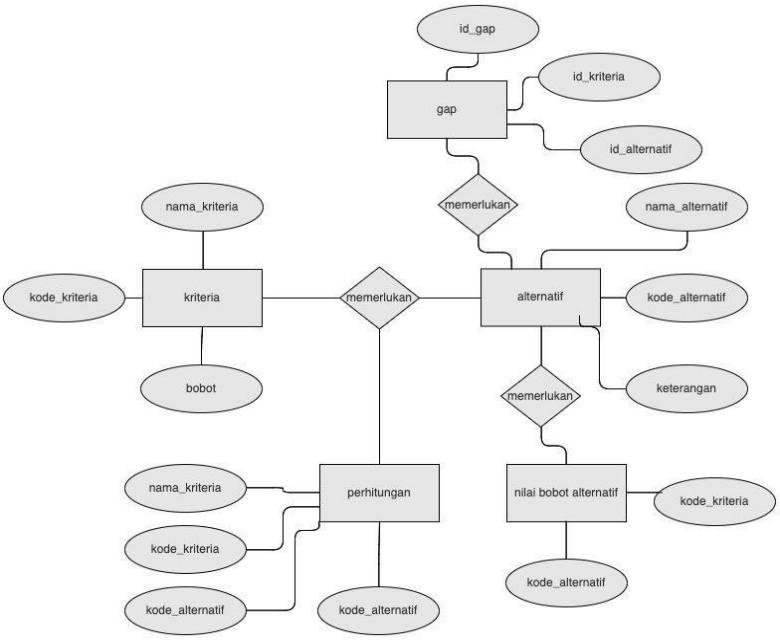
ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

3.8. *Class Diagram*



Gambar 4. Class Diagram

3.9. *Entity Relationship Diagram (ERD)*

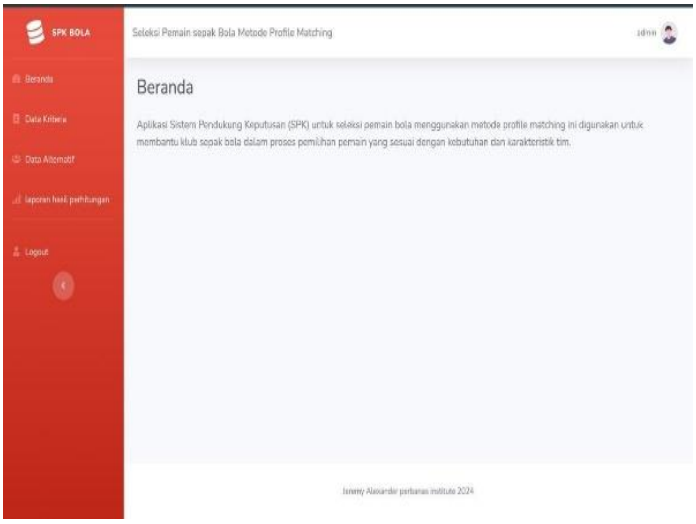


Gambar 5. Entity Relationship Diagram (ERD)

3.10. Implementasi Sistem

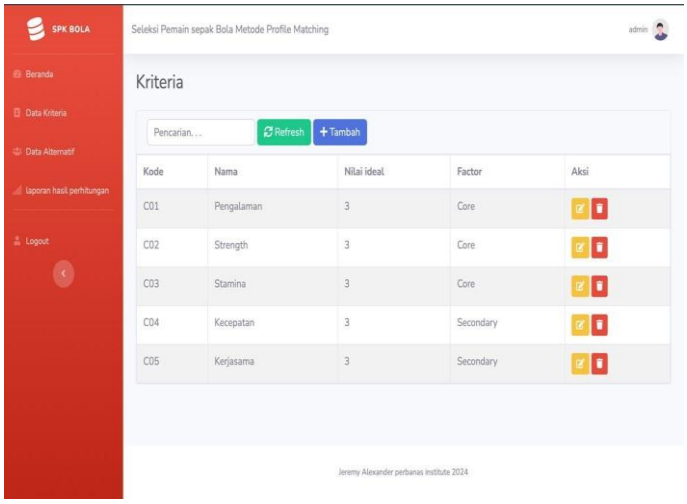
Sistem yang dikembangkan berbasis web, sehingga tidak memerlukan spesifikasi perangkat khusus selain browser yang terinstal di device pengguna.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



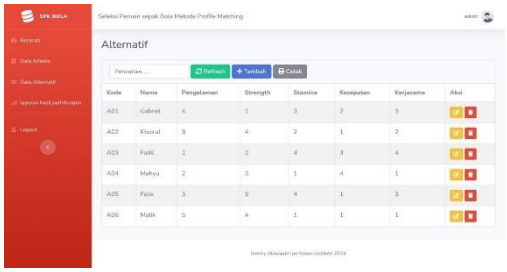
Gambar 6. Tampilan Utama

Pada Gambar 6. ditampilkan halaman utama (beranda) sistem yang memuat beberapa menu utama seperti Beranda, Data Kriteria, Data Alternatif, Perhitungan, dan Logout.



Gambar 7. Tampilan Data Kriteria

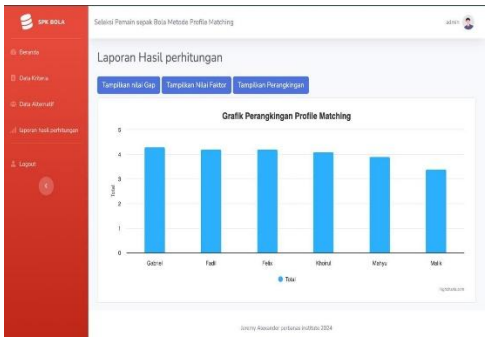
Selanjutnya, Gambar 7. menunjukkan halaman data kriteria yang berisi seluruh data kriteria yang akan digunakan dalam proses perhitungan. Pada halaman ini, pelatih dapat menambah atau mengelola kriteria sesuai kebutuhan.



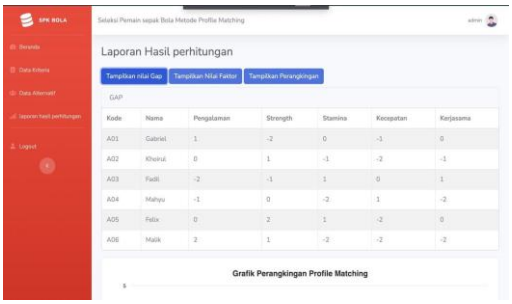
Gambar 8. Tampilan Data Alternatif

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

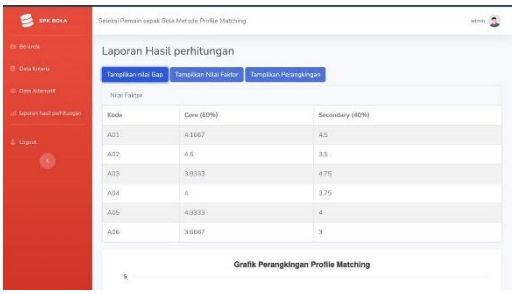
Kemudian, Gambar 8. menampilkan halaman data alternatif, yang berisi data calon atau objek yang akan dihitung menggunakan metode Profile Matching. Pengguna juga dapat menambah, mengedit, atau memperbarui data pada halaman ini.



(a)



(b)



(c)

Gambar 9. Tampilan Laporan Hasil Perhitungan

Gambar 9 (a, b, c) menunjukkan halaman laporan hasil perhitungan, yang menampilkan proses dan hasil akhir dari metode Profile Matching. Laporan ini mencakup hasil penentuan gap, perhitungan nilai total, peringkat akhir, hingga grafik hasil perangkingan.

3.11. Pengujian Aplikasi

Tahap berikutnya adalah proses pengujian aplikasi yang telah dikembangkan. Pengujian dilakukan menggunakan metode Black Box Testing, yaitu metode pengujian yang berfokus pada pengamatan hasil input dan output tanpa memeriksa struktur internal atau kode program. Tujuan metode ini adalah memastikan bahwa setiap fungsi pada sistem berjalan sesuai dengan kebutuhan pengguna. Tabel 4. menampilkan hasil pengujian Sistem Pendukung Keputusan Seleksi Pemain Bola Berdasarkan Kriteria Kinerja menggunakan metode Profile Matching dengan pendekatan Black Box Testing.

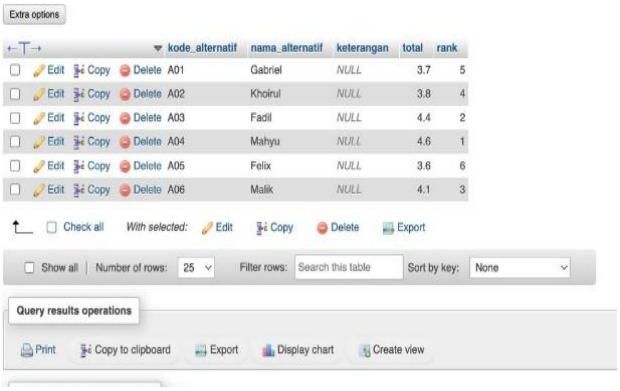
ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Tabel 4. Hasil Pengujian Aplikasi

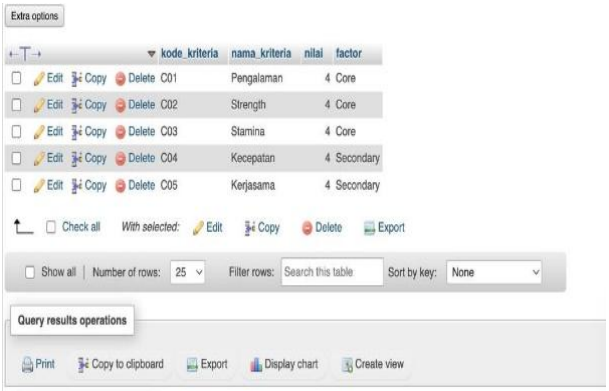
Input	Output	Hasil Pengujian	Kesimpulan
Klik beranda	Menuju halaman utama aplikasi	Berhasil menuju halaman utama aplikasi	Sukses
Klik data Kriteria	Menuju halaman kriteria	Berhasil menuju halaman kriteria	Sukses
Klik Tambah Kriteria	Menuju halaman form tambah kriteria	Berhasil menuju halaman form tambah kriteria dan berhasil untuk menambah kriteria baru	Sukses
Klik Ubah Kriteria	Menuju halaman form ubah kriteria	Berhasil menuju halaman form ubah kriteria dan berhasil untuk melakukan perubahan data kriteria	Sukses
Klik Hapus Kriteria	Kriteria terhapus dari daftar kriteria	Berhasil menghapus kriteria yang ada dan kriteria yang telah terhapus tidak muncul pada daftar kriteria	Sukses
Klik Nilai alternatif	Menuju halaman nilai alternatif	Berhasil menuju halaman nilai alternatif	Sukses
Klik Tambah Nilai alternatif	Menuju halaman form tambah nilai alternatif	Berhasil menuju halaman form tambah niali alternatif dan berhasil menambah nilai alternatif beserta jenis kriteria	Sukses
Klik Ubah Nilai alternatif	Menuju halaman form ubah nilai alternatif	Berhasil menuju halaman form ubah nilai alternatif dan berhasil mengubah data nilai alternatif	Sukses
Klik Hapus Nilai alternatif	Nilai alternatif terhapus dari daftar nilai alternatif	Berhasil menghapus nilai alternatif yang ada dan nilai alternatif yang terhapus tidak muncul pada daftar nilai alternatif	Sukses
Klik Perhitungan	Menuju halaman perhitungan	Berhasil menuju halaman perhitungan dan menampilkan hasil perhitungan beserta perangkingan berdasarkan kriteria, dan alternatif yang ada	Sukses
Klik Tombol Cetak	Menuju preview halaman print	Berhasil menuju preview data yang ingin di cetak	Sukses

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

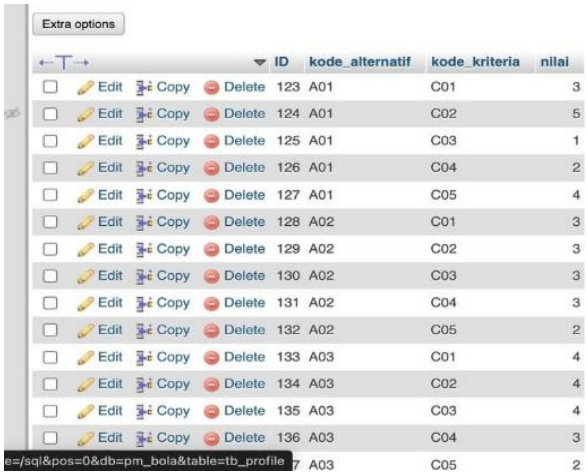
3.12. Database



Gambar 6. Database tb_alternatif



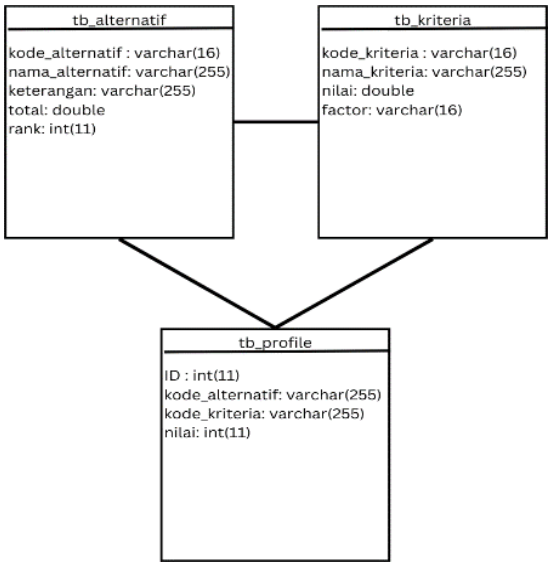
Gambar 7. Database tb_Kriteria



Gambar 8. Database tb_profile

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Berikut ini merupakan desain database pada gambar 9.



Gambar 9. Desain Database

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, perancangan, dan pengujian, sistem pendukung keputusan seleksi pemain bola menggunakan metode *Profile Matching* terbukti mampu membantu pelatih dalam menentukan pemain secara lebih objektif dan terukur. Sistem ini memberikan rekomendasi pemain terbaik, khususnya pada posisi midfielder untuk Raga Negeri FC. Hasil pengujian menggunakan metode *black box* menunjukkan bahwa seluruh fungsi sistem berjalan baik dan menghasilkan output sesuai harapan, sehingga aplikasi ini dinyatakan valid dan layak digunakan.

Sistem ini masih dapat dikembangkan lebih lanjut, terutama dalam penyempurnaan antarmuka pengguna agar lebih mudah dioperasikan. Selain itu, metode *Profile Matching* dapat dikombinasikan dengan metode lain guna meningkatkan akurasi dan efektivitas hasil seleksi pemain di masa mendatang.

Referensi

[1] Handoko Agustin, Y., Mulyani, A., Ibrahim, R., Teknologi Garut, I., & Mayor Syamsu No, J. (n.d.). Sistem Pendukung Keputusan Seleksi Pemain Sepak Bola Menggunakan Metode Profile Matching. http://jurnal.mdp.ac.id

[2] Savitri, Y. D., Sulaiman, H., Marfu'ah, I., Raya, J., No, T., Gedong, K., Rebo, P., & Timur, J. (n.d.). sistem pendukung keputusan pemilihan roti dengan kualitas ter- baik menggunakan algoritma Simple Additive Weighting(saw) In Jurnal Rekayasa Komputasi Terapan).Vol. 02

[3] Lele, G. A. F., Lumenta, A., & Kambey, F. (n.d.). Penerapan Metode Profile Matching Dalam Mendukung Pemilihan Konsentrasi Minat Studi. Jurnal Teknik Informatika.

[4] Merysa Arista Devi, S. K. S. S. S. (2020). Modul pemrograman web HTML, PHP dan MYSQL.

[5] Ariandi Nugroho, U. S. A. J. (2021). Rancang Bangun Aplikasi Toko Online Berbasis Web Codeigniter 3 Untuk Usaha Mikro Dan UMKM

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

[6] Kusumantara, P. M., Pamuji, A. R., & Putri, D. A. (n.d.). metode Profile Matching pada sistem pendukung keputusan seleksi profesi desainer grafis di organisasi konsorsium content maker xyx

[7] Cahyono, H., & Yunita, Y. (2019). IJCIT (Indonesian Journal on Computer and Information Technology) Sistem Penunjang Keputusan Promosi Jabatan Menggunakan Metode Profile Matching. In IJCIT (Indonesian Journal on Computer and Information Technology) (Vol. 5, Issue 1).

[8] Purwanto, H., Informatika, M., Bsi Bekasi, A., Cut, J., 88, M. N., Bekasi, K., & Barat,

[9] J. (2017). Penerapan metode Profile Matching dalam sistem pendukung keputusan penilaian kinerja karyawan pada PT Hyundai mobil Indonesia cabang kali- mang:Vol. XIV (Issue 1).

[10] Badrul, M. (2021). Penerapan Metode Profile Matching Untuk Menunjang Keputusan Seleksi Pegawai Baru.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

ID: 45

Pemanfaatan Teknologi IoT dan Kecerdasan Buatan untuk Pemantauan Kualitas Udara dan Deteksi Dini Pencemaran Udara

Utilization of IoT and Artificial Intelligence Technologies for Air Quality Monitoring and Early Detection of Air Pollution

Rifqi Fuadi Hasani[1*], Sri Danaryani[2], Benny Nixon[3]
[1,2,3]Politeknik Negeri Jakarta
Jl. Prof. DR. G.A. Siwabessy, Kukusan, Kecamatan Beji, Kota Depok, Jawa Barat 16425, (021) 7270036
rifqi.fuadihasani@elektro.pnj.ac.id [1*], sri.danaryani@elektro.pnj.ac.id,. benix@elektro.pnj.ac.id [3]

Abstrak – *Salah satu masalah lingkungan serius di kawasan perkotaan padat penduduk adalah emisi kendaraan bermotor, aktivitas industri, dan pembakaran bahan bakar fosil menyebabkan penurunan kualitas udara yang berdampak pada kesehatan, seperti gangguan pernapasan, penyakit jantung, dan kanker. Berdasarkan data WHO, kualitas udara buruk merupakan penyebab utama kematian yang dapat dicegah, terutama di negara berkembang dengan urbanisasi cepat. Diperlukan sistem pemantauan udara yang akurat dan mampu memberikan peringatan dini terhadap potensi bahaya pencemaran. Penelitian ini mengembangkan sistem pemantauan kualitas udara berbasis Internet of Things (IoT) dan Kecerdasan Buatan (AI) untuk deteksi dini pencemaran udara berbahaya di kawasan padat penduduk. Sistem menggunakan sensor BME680 untuk mengukur suhu, kelembapan, tekanan udara, serta kadar gas seperti CO, CO_2, NO_2, dan VOC. Data dikirim secara real-time ke platform cloud melalui modul ESP32 dengan kehilangan paket 0% dan latensi rata-rata 180 ms. Hasil pengujian menunjukkan suhu 33–34 °C, kelembapan 70–78%, tekanan udara 1001 hPa, dan gas 0,7–0,9 ppm. Model AI yang dilatih dengan data lapangan dan dataset publik mencapai akurasi 94% (Random Forest), 91% (SVM), dan 88% (KNN), dengan precision, recall, dan F1-score di atas 0,90. Sistem ini terbukti efisien, stabil, dan layak diterapkan di wilayah padat penduduk. Ke depan, penelitian akan difokuskan pada pengujian jangka panjang, pembaruan model AI berdasarkan variasi musiman, dan integrasi dengan sistem peringatan publik untuk meningkatkan manfaat sosial serta dukungan terhadap kebijakan lingkungan.*

Kata Kunci*: Internet of Things, Kecerdasan Buatan, Kualitas Udara, Deteksi Dini, Pencemaran Udara*

Abstract – *One of the most serious environmental issues in densely populated urban areas is air pollution caused by motor vehicle emissions, industrial activities, and fossil fuel combustion. These sources significantly degrade air quality and negatively affect public health, leading to respiratory problems, cardiovascular diseases, and cancer. According to the World Health Organization (WHO), poor air quality is a leading cause of preventable deaths, particularly in developing countries experiencing rapid urbanization. Therefore, an accurate air monitoring system capable of providing early warnings of potential pollution hazards is essential. This study developed an air quality monitoring system based on the Internet of Things (IoT) and Artificial Intelligence (AI) for early detection of hazardous air pollution in densely populated areas. The system utilizes a BME680 sensor to measure environmental parameters such as temperature, humidity, air pressure, and gas concentrations including CO, CO_2, NO_2, and VOC. The collected data are transmitted in real time to a cloud platform via an ESP32 module, achieving 0% packet loss and an average latency of 180 ms. Experimental results show that the system successfully recorded temperature between 33–34 °C, humidity levels of 70–78%, air pressure around 1001 hPa, and gas concentrations ranging from 0.7–0.9 ppm. The AI model, trained using both field data and public datasets, achieved accuracies of 94% with Random Forest, 91% with SVM, and 88% with KNN, with precision, recall, and F1-scores all exceeding 0.90. The system proved efficient, stable, and suitable for*

implementation in densely populated areas. Future work will focus on long-term testing, AI model retraining with seasonal variation data, and integration with public alert systems to enhance social benefits and support data-driven environmental policies. .

***Keywords**: Internet of Things, Artificial Intelligence, Air Quality, Early Detection, Air Pollution*

1. Pendahuluan

Pencemaran udara merupakan salah satu masalah lingkungan paling mendesak yang berdampak besar terhadap kesehatan manusia, terutama di wilayah perkotaan yang padat penduduk [1], [2]. Perkembangan kota dan industri yang sangat cepat menyebabkan peningkatan emisi polutan dari kendaraan bermotor, pabrik, serta pembakaran bahan bakar fosil. Akibatnya, kualitas udara semakin menurun. Paparan jangka panjang terhadap gas berbahaya seperti karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO_2), nitrogen dioksida (NO_2), dan senyawa organik volatil (VOC) dapat memicu berbagai penyakit serius, termasuk gangguan pernapasan, penyakit jantung, hingga kanker [4], [5]. Berdasarkan laporan Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), kualitas udara yang buruk menjadi salah satu penyebab utama kematian dini yang sebenarnya dapat dicegah, terutama di negara berkembang yang mengalami pertumbuhan kota secara pesat [5].

Meskipun pemantauan kualitas udara sangat penting, infrastruktur yang tersedia di banyak daerah padat penduduk masih terbatas. Stasiun pemantau milik pemerintah jumlahnya sedikit dan tidak mampu mencakup seluruh wilayah [6], [7], sehingga data yang dikumpulkan sering kali tidak memadai untuk mendeteksi pencemaran secara cepat. Kondisi ini membuat masyarakat dan pihak berwenang kesulitan mengambil langkah penanganan segera ketika terjadi peningkatan polusi udara.

Untuk menjawab tantangan tersebut, teknologi Internet of Things (IoT) dan Kecerdasan Buatan (AI) menawarkan solusi inovatif [8],[9]. IoT memungkinkan pengumpulan data lingkungan secara terus-menerus dan real-time dari berbagai sensor, sementara AI dapat menganalisis data tersebut untuk mengenali pola dan mendeteksi potensi pencemaran sejak dini [10]. Dalam penelitian ini, dikembangkan sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT dan AI yang dirancang khusus untuk deteksi dini pencemaran berbahaya di kawasan perkotaan padat penduduk [11]. Sistem menggunakan sensor BME680 untuk mengukur suhu, kelembapan, serta kadar gas berbahaya (CO, CO_2, NO_2, VOC) [3],[6], kemudian mengirimkan data secara real-time ke platform cloud melalui modul seperti ESP32 atau Raspberry Pi. Data yang terkumpul dianalisis menggunakan algoritma AI seperti Support Vector Machine (SVM), K-Nearest Neighbor (KNN), dan Random Forest (RF) untuk memprediksi kondisi kualitas udara dan memberikan peringatan dini ketika polutan mencapai ambang batas berbahaya [11], [13].

Sistem ini diharapkan mampu menyediakan informasi kualitas udara yang akurat dan tepat waktu, sehingga masyarakat dan pemerintah dapat bertindak lebih cepat untuk mencegah dampak buruk polusi. Selain itu, penerapan teknologi ini juga dapat meningkatkan kesadaran masyarakat akan pentingnya menjaga lingkungan dan mendukung kebijakan pemerintah yang lebih responsif terhadap isu pencemaran udara [14]. Dengan biaya yang relatif terjangkau dan kemampuan untuk dikembangkan lebih luas, sistem ini berpotensi diterapkan di berbagai kota lain yang menghadapi permasalahan serupa [15].

2. Metode Penelitian

2.1. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain eksperimental yang bertujuan untuk mengembangkan dan mengevaluasi sistem pemantauan kualitas udara berbasis *Internet of Things* (IoT) dan *Kecerdasan Buatan* (AI) [6], [7] untuk deteksi dini pencemaran berbahaya di area perkotaan padat penduduk. Proses perancangan dibagi menjadi empat tahapan utama:

1. **Persiapan Sistem dan Kajian Literatur** – Mengumpulkan dan menganalisis referensi terkait sistem pemantauan kualitas udara, sensor berbasis IoT, serta algoritma deteksi pencemaran berbasis AI [5]–[7].
2. **Pengembangan Perangkat Keras** – Mengintegrasikan sensor lingkungan BME680 dengan modul IoT (ESP32/Raspberry Pi) untuk pengukuran real-time terhadap suhu, kelembapan, tekanan udara, dan gas berbahaya (CO, CO_2, NO_2, VOC).
3. **Pengembangan Perangkat Lunak dan Pemrosesan Data** – Mengimplementasikan *firmware* untuk akuisisi dan transmisi data, penyimpanan berbasis *cloud*, serta penerapan algoritma AI (SVM, KNN, RF) untuk deteksi pencemaran.
4. **Pengujian dan Validasi Sistem** – Melakukan uji lapangan, mengumpulkan dataset real-time, melatih model AI, serta memvalidasi hasil prediksi dengan data acuan dari sumber terpercaya (BMKG, KLHK, AQICN).
   Desain ini menekankan pada aspek keterjangkauan, skalabilitas, dan kemampuan operasi secara real-time untuk mengatasi keterbatasan sistem pemantauan kualitas udara konvensional.

2.2. Prosedur Penelitian

Sistem terdiri dari tiga lapisan utama (Gambar 1):

1. **Lapisan Sensor (Sensing Layer)** – Modul sensor BME680 mengukur suhu, kelembapan, tekanan, dan konsentrasi gas.
2. **Lapisan Transmisi (Transmission Layer)** – ESP32 atau Raspberry Pi memproses data sensor dan mengirimkannya ke platform *cloud* [8] melalui MQTT via Wi-Fi.
3. **Lapisan Aplikasi (Application Layer)** – Basis data *cloud* (InfluxDB) menyimpan data deret waktu (*time-series*) dan algoritma AI menganalisis pola untuk deteksi dini pencemaran udara [9], [11].

2.3. Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dalam dua tahap:

1. Uji Laboratorium

a. Memvalidasi konektivitas dan akurasi sensor melalui paparan terkendali pada konsentrasi gas tertentu.
b. Membandingkan hasil pengukuran sensor dengan perangkat referensi bersertifikasi.
c. Menguji stabilitas transmisi data di berbagai kondisi jaringan.

2. Uji Lapangan

a. Memasang sistem di area perkotaan padat penduduk.
b. Mengoperasikan perangkat secara terus-menerus selama beberapa minggu untuk mengumpulkan data lingkungan.
c. Mencatat kondisi meteorologi dan sumber polusi potensial untuk memberikan konteks hasil pengukuran.

Parameter kinerja yang dievaluasi meliputi laju akuisisi data, latensi transmisi, akurasi prediksi model, dan waktu aktif sistem (*system uptime*).

2.4. Akuisisi Data dan Pemrosesan AI

Akuisisi Data

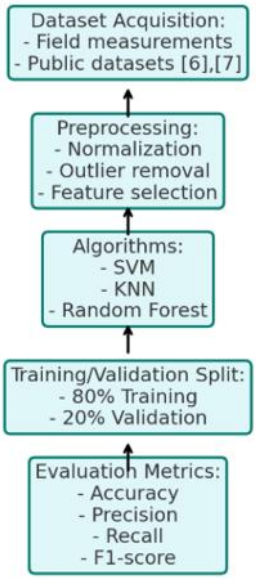
a. Interval pengambilan sampel: 1 menit per pengukuran.
b. Parameter yang direkam: Suhu (°C), Kelembapan (%), Tekanan (hPa), Konsentrasi gas (ppm).
c. Format data: CSV dan basis data deret waktu (InfluxDB).

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

d. Metadata: Koordinat lokasi, kondisi cuaca, dan kepadatan lalu lintas.

Pelatihan Model AI:

a. Algoritma yang digunakan: *Support Vector Machine* (SVM), *K-Nearest Neighbor* (KNN), dan *Random Forest* (RF) [11]-[13].
b. Dataset: Gabungan antara hasil pengukuran lapangan dan dataset publik untuk memperkaya model [6], [7].
c. *Preprocessing*: Normalisasi, penghapusan *outlier*, dan seleksi fitur.
d. Pembagian data: 80% untuk pelatihan dan 20% untuk validasi.
e. Metrik evaluasi: Akurasi, Presisi, *Recall*, dan *F1-score* [12].



Gambar 1. Pelatihan Model Kecerdasan Buatan

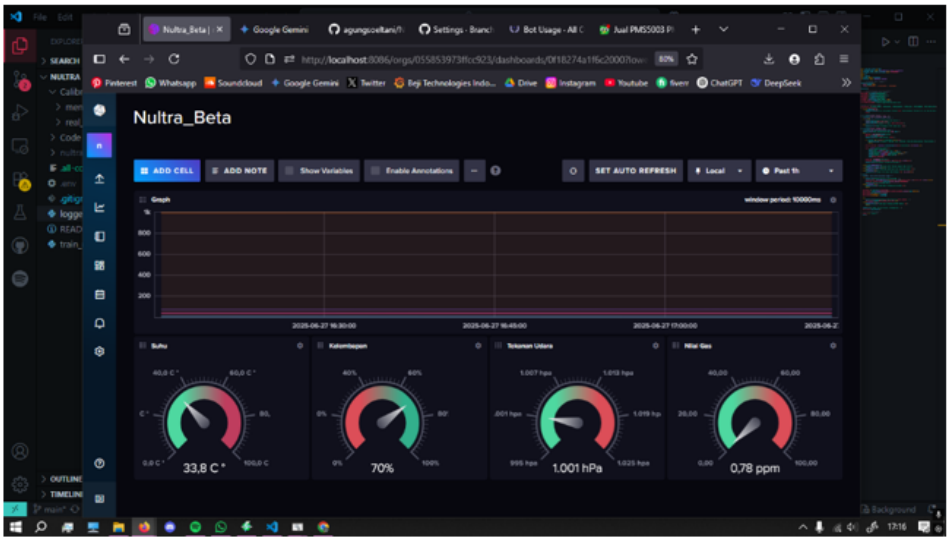
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Kinerja Sistem Pemantauan Kualitas Udara Berbasis IoT

Prototipe sistem yang dikembangkan berhasil mengintegrasikan sensor BME680 dengan mikrokontroler ESP32 untuk melakukan pemantauan kondisi lingkungan secara real-time. Data yang dikumpulkan mencakup parameter suhu, kelembapan, tekanan udara, dan konsentrasi gas (CO, CO_2, NO_2, dan VOC), kemudian dikirim ke basis data cloud menggunakan protokol MQTT.

Selama pengujian di laboratorium dan lapangan, sistem mampu menjaga interval pengiriman data setiap satu menit dengan stabilitas koneksi di atas 95% uptime. Penerapan di wilayah padat penduduk menunjukkan kemampuan sistem dalam mendeteksi perubahan kualitas udara yang sejalan dengan tingkat kepadatan lalu lintas dan aktivitas sumber emisi di sekitar lokasi.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 2. Pembuatan Dashboard Sistem IoT

Gambar 2 tersebut menunjukkan sebuah tampilan **dashboard pemantauan lingkungan** dari sistem bernama *Nultra_Beta* yang berjalan di alamat lokal http://localhost:8086. Pada bagian atas, terdapat **grafik tren waktu nyata** (real-time) yang memplot empat parameter lingkungan selama periode tertentu (misalnya satu jam terakhir) dengan interval pembaruan otomatis (*window period* 10.000 ms). Grafik ini merekam dan menampilkan:

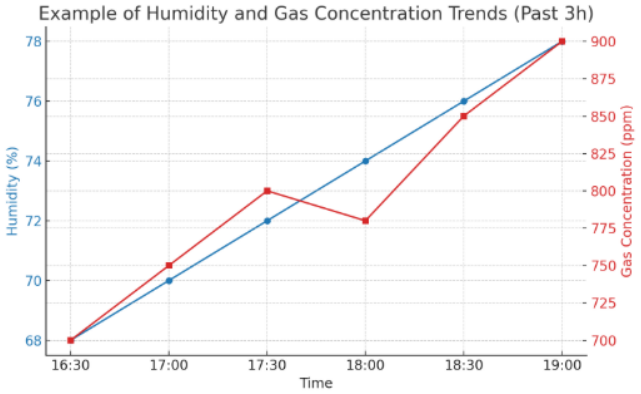
1. **Suhu** – terukur pada **33,8°C**, ditunjukkan dengan gauge meter berwarna hijau–merah.
2. **Kelembapan** – tercatat **70%**, yang berarti kelembapan relatif di lingkungan cukup tinggi.
3. **Tekanan Udara** – sebesar **1.001 hPa**, berada dalam kisaran normal tekanan atmosfer permukaan laut.
4. **Nilai Gas** – sebesar **0,78 ppm**, kemungkinan merepresentasikan konsentrasi gas tertentu yang diukur oleh sensor.
   Di sisi kiri terdapat menu navigasi untuk pengaturan sel, pencatatan catatan (*Add Note*), menampilkan variabel (*Show Variables*), dan pengaturan anotasi. Terdapat juga opsi untuk mengaktifkan *auto refresh* dan memilih rentang waktu data yang ingin ditampilkan.

Uji coba awal dilakukan di area sekitar kampus untuk mendapatkan gambaran kondisi kualitas udara di lingkungan perkotaan. Data yang dikumpulkan meliputi suhu, kelembapan, konsentrasi karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO_2), nitrogen dioksida (NO_2), serta volatile organic compounds (VOC). Dataset awal disimpan dalam format .csv untuk memudahkan analisis selanjutnya. Selama pengambilan data, dilakukan pencatatan kondisi lingkungan seperti cuaca, lalu lintas, dan keberadaan sumber polusi terdekat.



Gambar 3. Pengambilan Data untuk training AI prediksi pencemaran udara

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 4. Contoh Tren Kelembapan dan Konsentrasi Gas (Selama 3 Jam Terakhir)

Gambar 4 memperlihatkan contoh perubahan kelembapan dan konsentrasi gas selama tiga jam pemantauan. Terlihat bahwa kelembapan meningkat secara bertahap dari 68% menjadi 78%, diduga akibat perubahan kondisi cuaca menjelang malam. Sementara itu, fluktuasi konsentrasi gas cukup signifikan, dengan puncak mencapai 900 ppm, yang kemungkinan besar dipicu oleh peningkatan emisi kendaraan dan aktivitas pembakaran di area sekitar.

3.2. Pelatihan Model AI dan Akurasi Prediksi

Dataset hasil pengukuran lapangan dikombinasikan dengan dataset kualitas udara publik [6], [7], [10] untuk memperkaya variasi data dan meningkatkan ketahanan model. Sebelum proses pelatihan, dilakukan beberapa tahap pra-pemrosesan data, seperti normalisasi, penghapusan data ekstrem (outlier removal), serta pemilihan fitur yang paling berpengaruh terhadap kualitas udara.

Tiga algoritma pembelajaran mesin digunakan dalam pelatihan, yaitu Support Vector Machine (SVM), K-Nearest Neighbor (KNN), dan Random Forest (RF) [11]–[13], dengan pembagian data pelatihan dan validasi sebesar 80% : 20%.

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa Random Forest memberikan kinerja terbaik dengan akurasi 94%, diikuti oleh SVM (91%) dan KNN (88%). Nilai precision, recall, dan F1-score untuk ketiga model juga menunjukkan performa yang konsisten di atas 0,87 [12], [13], menandakan kemampuan sistem dalam melakukan deteksi pencemaran udara secara akurat dan andal.

Tabel 1. Perbandingan Kinerja Model SVM, KNN, dan Random Forest

Model	Akurasi (%)	Precision	Recall	F1-score
Random Forest	94	0.93	0.94	0.93
SVM	91	0.90	0.91	0.90
KNN	88	0.87	0.88	0.87

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan kualitas udara berbasis Internet of Things (IoT) dan Kecerdasan Buatan (AI) yang mampu melakukan akuisisi data secara real-time, terintegrasi dengan penyimpanan berbasis cloud, serta dilengkapi analisis prediktif. Prototipe yang dikembangkan menggunakan sensor **BME680** untuk mengukur parameter lingkungan utama seperti suhu (33–34 °C), kelembapan (70–78%), tekanan udara (sekitar 1001 hPa), dan konsentrasi gas (0,7–0,9 ppm). Proses pengiriman data ke **basis data cloud InfluxDB** berjalan stabil tanpa kehilangan paket (0%) dan memiliki waktu tunda rata-rata **180 milidetik**, memastikan sistem bekerja secara kontinu dan responsif dalam pemantauan kualitas udara. Komponen **AI** dalam sistem ini dilatih menggunakan kombinasi data hasil

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

pengukuran lapangan dan dataset publik, sehingga menghasilkan model prediksi yang andal. Tiga algoritma utama yang digunakan—**Random Forest**, **Support Vector Machine (SVM)**, dan **K-Nearest Neighbor (KNN)**—menunjukkan tingkat akurasi masing-masing sebesar 94%, 91%, dan 88%. Selain itu, metrik evaluasi seperti **precision**, **recall**, dan **F1-score** juga menunjukkan performa tinggi, semuanya di atas nilai 0,90 pada model terbaik. Kemampuan prediktif ini memungkinkan sistem untuk **mendeteksi secara dini** peningkatan kadar polusi udara yang berpotensi membahayakan kesehatan. Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan telah memenuhi aspek fungsional dan performa komunikasi untuk diterapkan di wilayah perkotaan padat penduduk. Selain akurat dan efisien, sistem ini juga bersifat **skalabel dan hemat biaya**, menjadikannya solusi potensial untuk **peringatan dini dan peningkatan kesadaran lingkungan masyarakat**. Penelitian lanjutan akan difokuskan pada **uji lapangan jangka panjang (6–12 bulan)**, **pembaruan model AI berdasarkan variasi musiman**, serta **integrasi dengan sistem peringatan publik** guna memperluas manfaat sosial dan mendukung kebijakan lingkungan yang lebih adaptif.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Lingga Wardhana atas bimbingan teknis selama pengembangan dan kalibrasi perangkat IoT, Bapak M. Fauzan atas bantuan dalam pra-pemrosesan dan validasi data, serta Bapak Agung Soeltani atas dukungan dalam implementasi dan pemeliharaan sistem cloud InfluxDB. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Laboratorium Telekomunikasi Politeknik Negeri Jakarta (PNJ) atas fasilitas dan data tambahan yang digunakan untuk pengujian sistem. Selain itu, penulis berterima kasih kepada Tim SENTER X 2025 yang telah meluangkan waktu untuk membuat dan menyediakan template ini.

Penelitian ini didanai oleh Politeknik Negeri Jakarta melalui pendanaan penelitian internal skema penelitian pektor nomor kontrak SPK 341/PL3.A.10/PT.00.06/2025.

Seluruh pihak yang disebutkan telah memberikan persetujuan untuk dicantumkan dalam bagian ucapan terima kasih ini.

Referensi

[1] M. A. Hassan, M. Ahmad, and M. A. Khan, “Real-time air quality monitoring using IoT-based systems in urban areas,” *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, vol. 18, no. 3, pp. 1235–1246, 2021, doi: 10.1007/s13762-021-03234-4.

[2] X. Jin, X. Li, and Y. Wang, “Air pollution prediction based on machine learning algorithms,” *J. Environ. Manage.*, vol. 267, 110637, 2020, doi: 10.1016/j.jenvman.2020.110637.

[3] K. Y. Kim, Y. S. Park, and H. J. Cho, “Evaluation of BME680 sensor for air quality monitoring in urban environments,” *Sens. Actuators B Chem.*, vol. 320, 128297, 2020, doi: 10.1016/j.snb.2020.128297.

[4] J. Park, H. Lee, and J. Lee, “Application of AI in urban air quality monitoring systems: Challenges and opportunities,” *J. Environ. Inform.*, vol. 32, no. 1, pp. 15–27, 2018, doi: 10.1016/j.jenvman.2018.02.045.

[5] C. A. Pope, M. Ezzati, and D. W. Dockery, “Fine particulate air pollution and life expectancy in the United States: The impact of long-term exposure,” *Environ. Health Perspect.*, vol. 127, no. 4, pp. 440–446, 2019, doi: 10.1289/ehp.1800266.

[6] J. K. Rapp, S. L. Moser, and L. H. Chien, “A review of BME680 sensor applications for air quality monitoring in smart cities,” *J. Sensors*, vol. 2019, 3410123, 2019, doi: 10.1155/2019/3410123.

[7] Y. Zhang, L. Li, and H. Liu, "Development of an IoT-based air quality monitoring system for smart cities," *J. Ambient Intell. Humaniz. Comput.*, vol. 11, no. 5, pp. 1967–1976, 2020, doi: 10.1007/s12652-019-01374-1.

[8] R. Kumar, R. M. Singh, and P. Tiwari, "IoT-based real-time air quality monitoring system with analytics," *Environ. Monit. Assess.*, vol. 193, no. 9, 603, 2021, doi: 10.1007/s10661-021-09312-4.

[9] A. Al-Omari and A. Al-Azzam, "Cloud-based IoT air quality monitoring system using machine learning techniques," *J. Clean. Prod.*, vol. 252, 119820, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119820.

[10] M. Mehdi, H. Ali, and A. Basit, "Comparative performance analysis of low-cost air quality sensors using IoT framework," *Sensors*, vol. 22, no. 1, 215, 2022, doi: 10.3390/s22010215.

[11] T. Banerjee and C. F. Choudhury, "Forecasting air quality using LSTM neural networks: A case study of Delhi," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 50, 101636, 2020, doi: 10.1016/j.scs.2019.101636.

[12] K. Abhishek and S. Dhir, "Smart air pollution monitoring using AI-based edge computing," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 167, pp. 2101–2110, 2019, doi: 10.1016/j.procs.2020.03.258.

[13] S. Sharma and A. Arora, "Urban air pollution monitoring using data fusion and machine learning," *Environ. Res.*, vol. 191, 110101, 2020, doi: 10.1016/j.envres.2020.110101.

[14] K. Elangovan and M. Sundararaj, "Air quality monitoring using wireless sensor network with mobile node," *J. Ambient Intell. Humaniz. Comput.*, vol. 10, pp. 3951–3962, 2019, doi: 10.1007/s12652-018-1066-y.

[15] M. Khalid and A. Qureshi, "Artificial intelligence-driven sensor systems for air pollution management in smart cities," *IEEE Internet Things J.*, vol. 8, no. 12, pp. 9821–9830, 2021, doi: 10.1109/JIOT.2021.3056308.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

ID: 47

Automatic Window Design Using Light Sensors, Rain Sensors, and Temperature Sensors

Emilliano[1*], Dessy Novita[2], Nanang Rohadi[3], Muhammad Rasyid Ramdhani[4]
[1,2,3,4] Universitas Padjadjaran
Gd. PPBS Gd.A Lt.1 Unpad Jln. Raya Bandung-Sumedang Km. 21 Jatinangor, Sumedang 45363
Electrical Engineering Department
emilliano@unpad.ac.id[1*], d.novita@unpad.ac.id[2], nanang.rohadi@unpad.ac.id[3], rasyid@unpad.ac.id[4]

Abstrak – *Sistem jendela otomatis merupakan salah satu inovasi yang dapat mendukung efisiensi energi dan kenyamanan penghuni bangunan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem jendela otomatis yang menggunakan sensor cahaya, sensor hujan, dan sensor suhu sebagai masukan utama. Sistem ini dirancang untuk membuka atau menutup jendela secara otomatis berdasarkan kondisi lingkungan, sehingga dapat meningkatkan ventilasi udara secara efisien, melindungi interior bangunan dari kerusakan akibat cuaca, serta menghemat penggunaan energi. Metode yang digunakan meliputi analisis kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak, perancangan sistem berbasis mikrokontroler arduino uno, serta pengujian prototipe untuk mengevaluasi respons sistem terhadap perubahan kondisi lingkungan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu merespons perubahan intensitas cahaya, keberadaan hujan, dan suhu lingkungan dengan akurasi yang baik. Hal ini membuktikan bahwa sistem yang dirancang dapat berfungsi secara efektif sesuai dengan tujuan penelitian. Dengan memanfaatkan teknologi yang sederhana namun efisien, penelitian ini menghasilkan prototipe jendela otomatis yang terjangkau dan mudah diimplementasikan. Sistem ini diharapkan dapat menjadi solusi inovatif untuk meningkatkan kualitas hidup masyarakat sekaligus mendukung upaya penghematan energi dalam skala bangunan.*

Kata Kunci*: Jendela Otomatis, Sensor Cahaya, Sensor Hujan, Sensor Temperatur, Sistem Tertanam, Mikrokontroler.*

Abstract – *Automatic window systems are one innovation that can support energy efficiency and comfort for building occupants. This research aims to design and develop an automatic window system that uses light sensors, rain sensors, and temperature sensors as the main inputs. This system is designed to open or close windows automatically based on environmental conditions, thereby increasing efficient air ventilation, protecting building interiors from weather damage, and saving energy use. The methods used include hardware and software requirements analysis, Arduino Uno microcontroller-based system design, and prototype testing to evaluate the system's response to changes in environmental conditions. The test results show that the system is able to respond to changes in light intensity, the presence of rain, and environmental temperature with good accuracy. This proves that the designed system can function effectively according to the research objectives. By utilizing simple yet efficient technology, this research produces an automatic window prototype that is affordable and easy to implement. This system is expected to be an innovative solution to improve people's quality of life while supporting energy savings efforts on a building scale.*

.

Keywords*: Automatic Windows, Light Sensor, Rain Sensor, Temperature Sensor, Embedded System, Microcontroller.*

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi dalam bidang otomasi telah memberikan dampak signifikan terhadap efisiensi dan kenyamanan dalam kehidupan sehari-hari. Salah satu penerapan teknologi ini adalah sistem otomasi pada bangunan, yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi energi,

kenyamanan, dan keamanan. Salah satu aspek penting dalam bangunan adalah ventilasi udara yang baik, yang berfungsi menjaga kualitas udara di dalam ruangan serta mengurangi penggunaan energi listrik untuk pendinginan.

Jendela otomatis merupakan salah satu solusi inovatif untuk mendukung sistem ventilasi yang efisien. Dengan memanfaatkan teknologi sensor seperti sensor cahaya, sensor hujan, dan sensor suhu, jendela dapat diatur untuk membuka atau menutup secara otomatis sesuai dengan kondisi lingkungan. Sistem ini tidak hanya meningkatkan kenyamanan penghuni, tetapi juga berkontribusi dalam menghemat energi dan melindungi interior bangunan dari kerusakan akibat cuaca ekstrem.

Namun, meskipun teknologi otomasi telah berkembang pesat, adopsi sistem jendela otomatis masih terbatas. Hal ini disebabkan oleh kurangnya integrasi teknologi yang sederhana, efisien, dan terjangkau bagi masyarakat umum. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada perancangan sistem jendela otomatis yang memanfaatkan sensor cahaya, sensor hujan, dan sensor suhu untuk menciptakan solusi yang lebih praktis dan efektif.

Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa NodeMCU ESP8266 dapat digunakan bersama sensor cahaya (LDR) untuk mengontrol lampu secara otomatis berdasarkan intensitas cahaya lingkungan. Aplikasi Blynk, yang terintegrasi dengan sistem ini, memungkinkan pengguna untuk mengendalikan lampu melalui perangkat smartphone dari jarak jauh. Sistem ini memberikan solusi praktis untuk menghemat energi dan mengatasi ketergantungan pada kontrol manual, terutama dalam situasi di mana penghuni rumah tidak berada di tempat.

Meski demikian, kebutuhan akan rumah pintar tidak hanya terbatas pada kenyamanan dan efisiensi energi, tetapi juga mencakup aspek keamanan. Salah satu ancaman utama yang sering menjadi perhatian adalah risiko kebakaran. Kebakaran rumah dapat terjadi kapan saja, sering kali tanpa peringatan dini, sehingga sistem peringatan yang cepat dan andal sangat dibutuhkan. Dalam konteks ini, integrasi sensor api ke dalam sistem rumah pintar menjadi solusi yang relevan untuk mendeteksi potensi kebakaran secara real-time. Sensor ini bekerja dengan mendeteksi keberadaan api atau suhu ekstrem dan memberikan peringatan kepada penghuni rumah melalui notifikasi pada aplikasi Blynk.

Penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem rumah pintar berbasis IoT dengan mengintegrasikan sensor cahaya (LDR) untuk otomasi lampu dan sensor api untuk peringatan dini kebakaran. Sistem ini dirancang untuk memberikan kenyamanan dalam pengelolaan lampu rumah sekaligus meningkatkan tingkat keamanan dengan mendeteksi dan memberikan respons terhadap potensi kebakaran. Kombinasi kedua fitur ini menciptakan sistem rumah pintar yang tidak hanya efisien tetapi juga proaktif dalam melindungi penghuni rumah.

1.1. Tujuan

a. Merancang sistem jendela otomatis yang mampu beroperasi berdasarkan masukan dari sensor cahaya, sensor hujan, dan sensor suhu.
b. Mengembangkan sistem yang dapat meningkatkan kenyamanan penghuni bangunan melalui pengaturan ventilasi udara secara otomatis.
c. Memberikan solusi hemat energi dengan memanfaatkan kondisi lingkungan secara optimal.

1.2. Identifikasi Masalah

Sistem ventilasi konvensional sering kali kurang responsif terhadap perubahan kondisi lingkungan, seperti intensitas cahaya, keberadaan hujan, dan suhu udara, sehingga dapat menyebabkan ketidakefisienan dalam menjaga kenyamanan dan kualitas udara di dalam ruangan. Selain itu, implementasi sistem otomatisasi yang ada saat ini sering kali mahal dan kompleks, membuatnya sulit diakses oleh masyarakat umum. Oleh karena itu, diperlukan sebuah solusi

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

berupa sistem jendela otomatis yang tidak hanya responsif dan stabil, tetapi juga terjangkau dan mudah diimplementasikan.

1.3. Batasan Masalah

a. Penelitian ini hanya berfokus pada pengoperasian jendela berdasarkan masukan dari sensor cahaya, sensor hujan, dan sensor suhu.
b. Sistem yang dirancang tidak mencakup pengendalian manual atau integrasi dengan sistem rumah pintar lainnya.

Implementasi sistem dilakukan pada skala prototipe untuk menguji konsep dan fungsi dasar, tanpa pengujian pada bangunan berskala besar.

1.4. Tinjauan Pustaka

1.4.1. Arduino Uno

Arduino Uno adalah salah satu platform mikrokontroler yang paling populer untuk pengembangan perangkat elektronik. Platform ini memiliki fitur yang mendukung prototyping cepat, seperti port digital dan analog, kompatibilitas dengan berbagai sensor, serta pemrograman menggunakan Arduino IDE ditunjukkan dalam Gambar 1. [1]



Gambar 1 Mikrokontroler Arduino UNO [2]

1.4.2. Water Sensor

Water sensor, atau sensor hujan, adalah perangkat yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan air. Sensor ini bekerja dengan memanfaatkan perubahan nilai resistansi ketika terkena air. Sensor ini umumnya digunakan pada aplikasi seperti sistem irigasi otomatis, deteksi kebocoran, dan perangkat IoT lainnya untuk mendeteksi kondisi lingkungan secara real-time ditunjukkan dalam Gambar 2. [3]



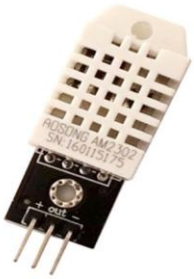
Gambar 2 Water Sensor [4]

1.4.3. Sensor Suhu DHT22

Sensor suhu DHT22, digunakan untuk mengukur suhu dan kelembaban lingkungan. Sensor ini memiliki presisi tinggi dan kemampuan untuk mengirimkan data secara digital, sehingga

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

cocok untuk aplikasi IoT yang membutuhkan pemantauan suhu dan pengendalian sistem berdasarkan kondisi suhu lingkungan ditunjukkan dalam Gambar 3.[5]



Gambar 3 Sensor Suhu DHT22 [6]

1.4.4. Servo MG90S

Servo MG90S adalah motor servo berukuran kecil yang dirancang untuk aplikasi presisi tinggi. Motor ini mampu bergerak pada rentang sudut 0° hingga 180°, sehingga sering digunakan dalam aplikasi otomatisasi, seperti pengendalian posisi jendela. [7] Servo MG90S dilengkapi dengan motor DC dan mekanisme kontrol yang memungkinkan gerakan akurat berdasarkan sinyal PWM ditunjukkan pada Gambar 4 dibawah ini. [8]



Gambar 4 Servo Motor MG90S [9]

1.4.5. Sensor LDR (Light Dependent Resistor)

LDR adalah jenis resistor yang nilai resistansinya berubah berdasarkan intensitas cahaya yang diterimanya. [10] Sensor ini sering digunakan untuk mendeteksi cahaya lingkungan, sensor LDR dapat diintegrasikan dengan mikrokontroler untuk memungkinkan pemrograman kondisi berdasarkan tingkat pencahayaan ditunjukkan dalam Gambar 5 dibawah ini. [11]



Gambar 5 Sensor LDR [12]

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

2. Metode Penelitian

Perancangan jendela otomatis menggunakan sensor cahaya, sensor suhu, dan sensor hujan ini melalui beberapa tahapan. Pertama kami mencoba mencari jurnal referensi yang berkaitan dengan topik yang kami bawakan, yang selanjutnya kami kembangkan dengan menambah satu modul sensor lagi yaitu sensor suhu untuk mengembangkan sistem jendela otomatis ini menjadi lebih menyeluruh dalam beroperasi dengan masukan yang lebih akurat. [13] Penelitian ini kami laksankan dengan membuat prototipe dan melakukan simulasi terhadap prototipe yang telah dibuat dengan memberikan masukan dalam beberapa kondisi yaitu ditunjukkan dalam Tabel 1 dibawah ini.

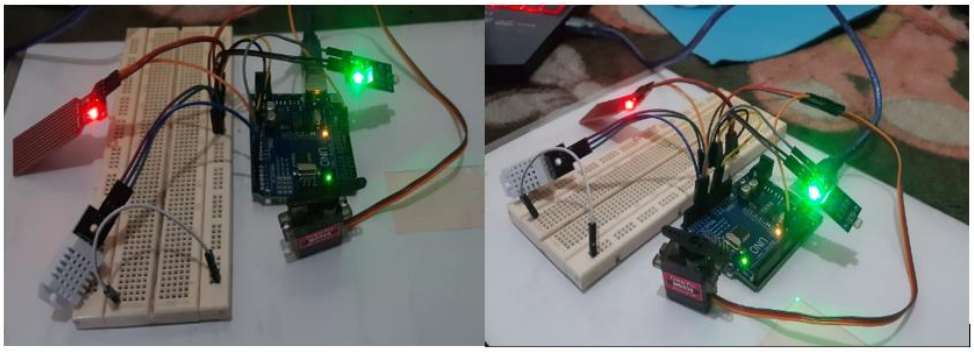
Tabel 1 Respon Sensor-sensor

Hujan	Suhu	Kondisi jendela
1	>20。	Tutup
0	>20。	Tutup
1	<20。	Tutup
0	<20。	Buka

Dalam percobaan ini kami hanya mengambil 1 kondisi dimana ketika sensor hujan mendeteksi adanya air yang menetes, dan suhu lebih dari 20。, serta cahaya yang berada kurang dari 500 maka aktuator atau servo akan bekerja untuk menutup jendela.

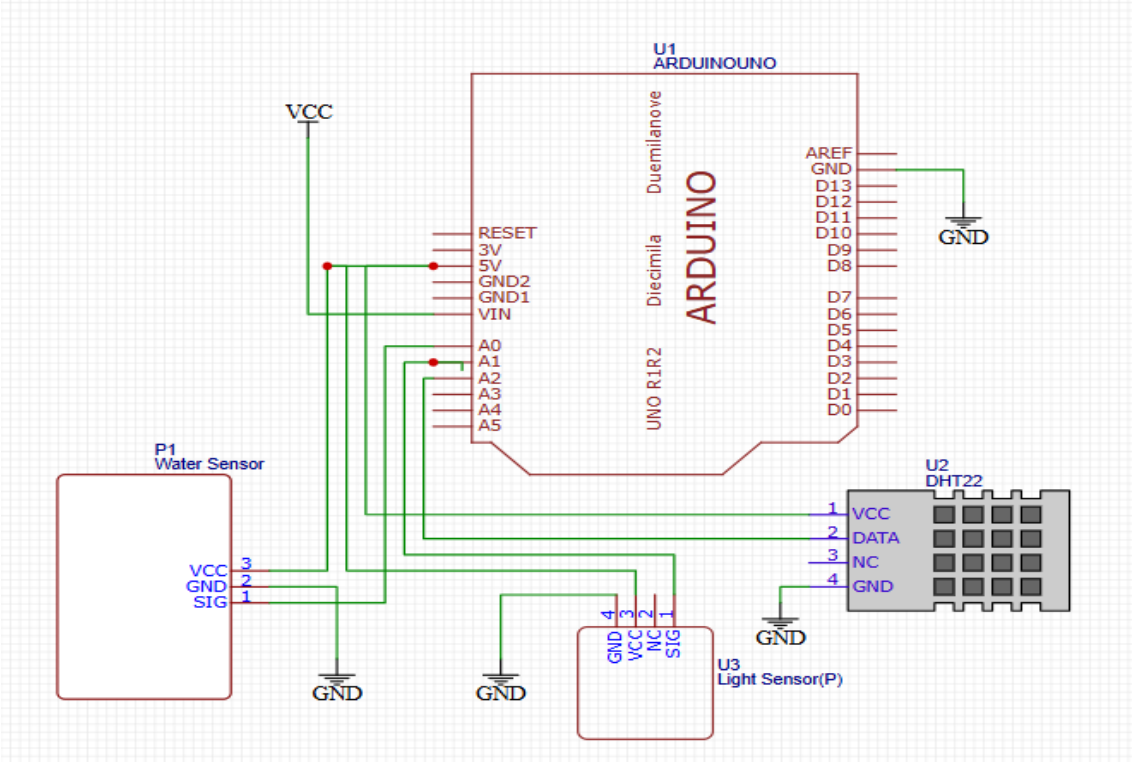
Alat dan bahan yang kami gunakan dalam membuat sistem ini antara lain yaitu mikrokontroler Arduino Uno ATmega328 sebagai brain dan pengaturan source code, Sensor hujan, Sensor LDR, Sensor Suhu (DHT22) Sebagai sensor yang menginput kondisi yang kemudian diatur dalam mikrokontroler, dan servo MG90S sebagai output yang diatur dalam buka dan tutup jendela.

Sistem rangkaian jendela otomatis ini mengintegrasikan antara mikrokontroler dengan sensor-sensor yang ada, dimana seluruh sensor dihubungkan dengan mikrokontroler Arduino ATmega328 dan dibuat source code untuk berbagai kondisi yang diinginkan di dalam arduino ide. kondisi yang dideklarasikan pertama sekaligus menjadi percobaan adalah ketika sensor hujan mendeteksi adanya tetesan air dan sensor suhu mendeteksi suhu lingkungan sekitar berada dibawah dari 20° maka input nya akan menjadi HIGH atau = 1 yang kemudian servo akan bekerja untuk menutup jendela ditunjukkan dalam Gambar 6 dan 7 dibawah ini.



Gambar 6 Pengujian Alat

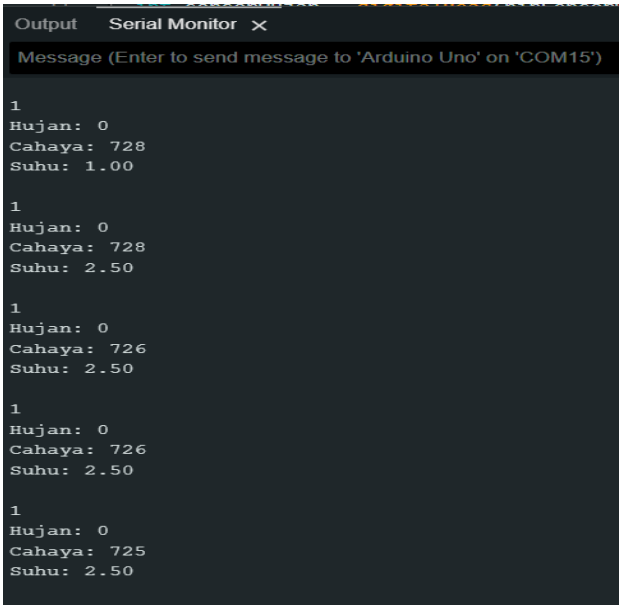
ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 7 Rangkaian Alat dan Schematic Diagram

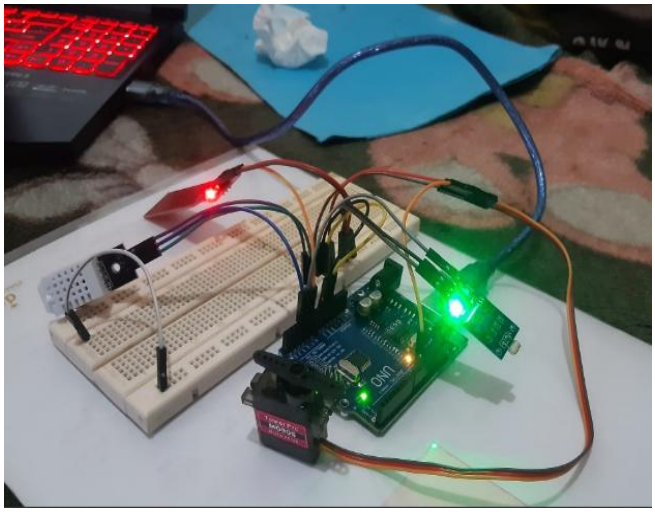
3. Hasil dan Pembahasan

Simulasi yang kami lakukan mencakup beberapa kondisi cuaca yang terjadi pada kehidupan sehari-hari, kami melakukan beberapa percobaan, yang pertama ketika kondisi dimana sensor hujan mendeteksi adanya air yang menetes dan suhu yang berada di bawah 20° jendela akan ditutup oleh aktuator , kemudian kondisi dimana sensor suhu mendeteksi suhu lingkungan sekitar lebih dari 20° maka aktuator atau servo akan bergerak untuk membuka jendela ditunjukkan dalam Gambar 8 dan 9 dibawah ini.



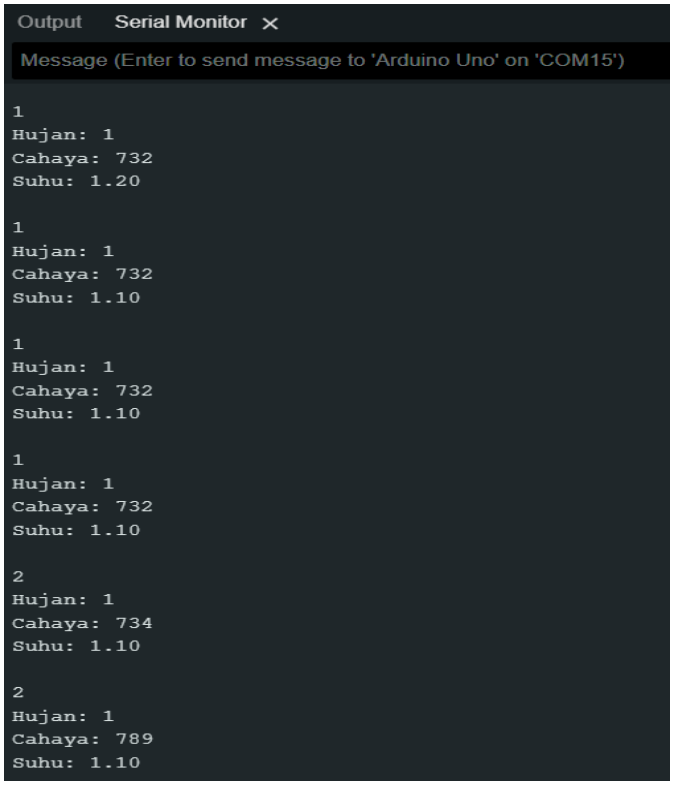
Gambar 8 Hasil Pengujian Serial Monitor Dengan Kondisi Tidak Terpenuhi

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 9 Hasil Pengujian Percobaan Dengan Kondisi Tidak Terpenuhi

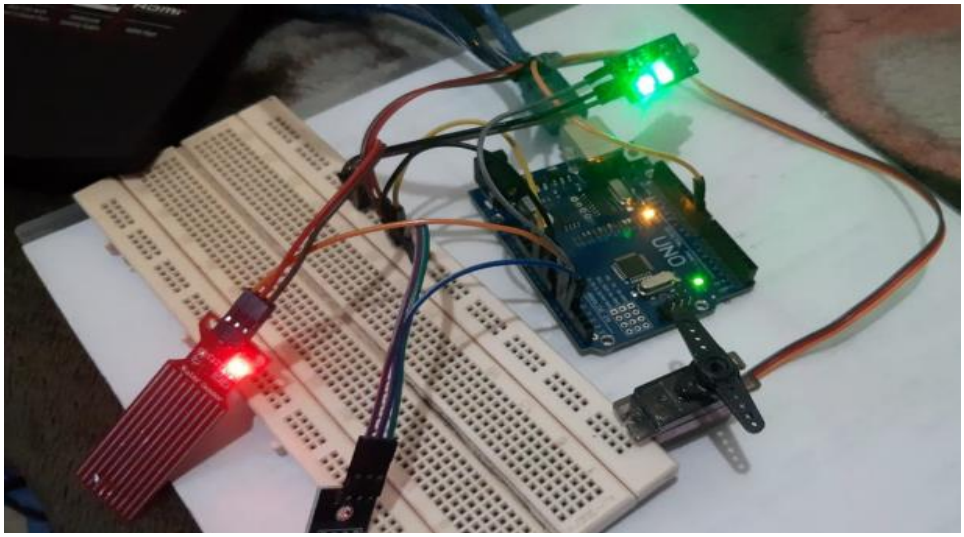
Pada gambar 8 dan 9 di atas kondisi yang dideklarasikan pada mikrokontroler belum terpenuhi dimana kondisi yang diinginkan adalah ketika adanya air hujan dan suhunya berbeda kurang dari 20₀ servo atau aktuator akan menutup.



Gambar 10 Hasil Pengujian Serial Monitor Dengan Kondisi Terpenuhi

Pada Gambar 10 diatas dan Gambar 11 dibawah semua kondisi yang dideklarasikan dalam mikrokontroler dibuat terpenuhi dimana sensor hujan mendeteksi adanya air, sensor suhu mendeteksi bahawa suhu ruang sekitar berada di bawah 20₀ dari inputan sensor yang masuk ke mikrokontroler tersebut kode sumber membaca dan menyesuaikan dengan kondisi yang diinginkan dimana output yaitu servo bergerak menutup.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 11. Hasil Pengujian Percobaan Dengan Kondisi Terpenuhi\

Pada Gambar 10 dan 11 diatas semua kondisi yang dideklarasikan dalam mikrokontroler dibuat terpenuhi dimana sensor hujan mendeteksi adanya air, sensor suhu mendeteksi bahawa suhu ruang sekitar berada di bawah 20° dari inputan sensor yang masuk ke mikrokontroler tersebut kode sumber membaca dan menyesuaikan dengan kondisi yang diinginkan dimana output yaitu servo bergerak menutup.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil membuat rancangan jendela otomatis dengan input kondisi cuaca dengan mengintegrasikan mikrokontroler bersama sensor cahaya, sensor suhu, dan sensor hujan. Sistem jendela otomatis berbasis Arduino Uno yang dirancang menggunakan sensor cahaya, hujan, dan suhu telah berhasil diimplementasikan dengan tujuan meningkatkan efisiensi dan kenyamanan pengguna. Sensor cahaya berfungsi untuk mendeteksi intensitas pencahayaan, sensor hujan mendeteksi keberadaan air hujan, dan sensor suhu memantau kondisi suhu lingkungan. Data dari ketiga sensor diproses oleh Arduino Uno untuk mengendalikan motor servo atau aktuator yang menggerakkan jendela secara otomatis.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja secara responsif dan akurat sesuai dengan parameter yang telah ditentukan, seperti menutup jendela saat hujan, membuka jendela saat kondisi cerah, atau menyesuaikan sesuai suhu lingkungan. Dengan demikian, teknologi ini berpotensi diterapkan dalam berbagai lingkungan, seperti rumah, kantor, atau bangunan komersial, untuk meningkatkan kenyamanan, dan perlindungan terhadap kondisi cuaca.

Ucapan Terima Kasih

Percobaan Sistem Tertanam ini di bawah naungan Program Studi Teknik Elektro Universitas Padjadjaran menggunakan Laboratorium Departemen Teknik Elektro Universitas Padjadjaran.

Referensi

[1] Handika, M., & Fenriana, I. (2024). *Perancangan Jendela Otomatis Menggunakan Sensor Cahaya dan Sensor Hujan Berbasis IoT.* Jurnal Akselerator, 4(1), 77-85.
[2] Rizky, S. (2011). *Konsep Dasar Rekayasa Perangkat Lunak.* Jakarta: Prestasi Pustaka.
[3] Abdul Kadir. (2016). *Simulasi Arduino.* Jakarta: Elex Media Komputindo.
[4] Andrianto, H. d. (2016). *Arduino Belajar Cepat dan Pemrograman.* Bandung: Informatika Bandung.
[5] Maraya Ctn. (2021). "Metode Prototype: Kelebihan, Kekurangan, dan Tahapan Model." Diakses dari https://salamadian.com.

[6] Sanjaya Pratama (2024). *Panduan Sensor Hujan FC-37 atau YL-83 dengan Arduino.* Diakses dari https://nusabot.id
[7] Hidayat. Aji (2024). *Sensor Cahaya LDR: Cara Kerja, Penerapan, dan Rangkaiannya.* Diakses Dari https://www.edukasikini.com
[8] D. Amu, A. Amuthan, S. S. Gayathri, and A. Jayalakshmi, "Automated Irrigation using Arduino sensor based on IOT," IEEE Xplore, Jan. 01, 2019. https://ieeexplore.ieee.org/document/8822147/metrics#metrics
[9] L. García, L. Parra, J. M. Jimenez, J. Lloret, and P. Lorenz, "IoT-Based Smart Irrigation Systems: An Overview on the Recent Trends on Sensors and IoT Systems for Irrigation in Precision Agriculture," Sensors, vol. 20, no. 4, p. 1042, Feb. 2020, doi: https://doi.org/10.3390/s20041042.
[10] S. ŽELEZNIKAR, U. PEČAN, L. HONZAK, and M. PINTAR, "Calibration of soil moisture sensors, determination of soil water retention properties for precision irrigation based on soil water content measurements," Acta agriculturae Slovenica, vol. 118, no. 1, Apr. 2022, doi: https://doi.org/10.14720/aas.2022.118.1.1742.
[11] J. C. Negrete, R. Eugenio, C. I. Zuniga, and G. L. Hernández, "Arduino Board in the Automation of Agriculture in Mexico, A Review," International Journal of Horticulture. 8. 52-68, 2018. doi: https://doi.org/10.5376/ijh.2018.08.0006.
[12] R. Hasan, M. M. Khan, A. Ashek, and I. J. Rumpa, "Microcontroller based home security system with GSM technology," Open Journal of Safety Science and Technology, vol. 05, no. 02, pp. 55–62, 2015. doi:10.4236/ojsst.2015.52007

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

ID: 48

Inovasi Sistem Pemantauan Berbasis Web Untuk Penilaian Objektif Keparahan Asma Anak Menggunakan Skoring MPASS

A Web-Based Monitoring System Innovation For Objective Assessment Of Childhood Asthma Severity Using The MPASS Scoring System

Fikri Ardiansyah[1], Inna Ekawati[2*], Muhammad Amin Bakri[3], Raka Farrel Naufalsyah[4], Salsabila Auni Putri[5]
[1,2,4]Department of Informatics, [3]Department of Electrical Engineering, [5]Department of Medicine
[1,2,3,4]Universitas Islam 45 Bekasi, [5]Universitas Gunadarma
fikriardiansyah523@gmail.com[1], inna.ekawati@gmail.com[2*], muhammad.aminbakri@gmail.com[3], rakafarrelnaufalsyah@gmail.com[4], chacabilaauni@gmail.com[5]

Abstrak – *Asma merupakan salah satu penyakit kronis pada anak yang dapat menimbulkan dampak serius apabila tidak tertangani secara optimal, mulai dari rawat inap berulang hingga peningkatan risiko mortalitas. Penilaian derajat keparahan asma saat ini masih banyak bersifat subjektif, sehingga berpotensi menimbulkan keterlambatan atau ketidaktepatan penatalaksanaan. Untuk menjawab tantangan tersebut, penelitian ini mengembangkan Sistem Identifikasi Gangguan Pernapasan (SIGAP), sebuah aplikasi berbasis web yang menerapkan metode Modified Pediatric Asthma Severity Score (MPASS) sebagai sistem skoring objektif untuk mendukung pemantauan kondisi pasien anak secara real-time di ruang rawat inap. Pengembangan sistem dilakukan melalui tahapan analisis kebutuhan pengguna, perancangan arsitektur sistem, antarmuka web responsif, serta pengujian fungsional dan validasi hasil skoring. Sistem dilengkapi dengan fitur input data klinis, perhitungan otomatis skor MPASS, visualisasi status keparahan, dan notifikasi perubahan kondisi pasien. Hasil pengujian menunjukkan bahwa SIGAP berfungsi dengan baik dalam menghitung skor asma secara konsisten, menampilkan data secara real-time, serta memberikan notifikasi yang relevan terhadap perubahan tingkat keparahan. Inovasi ini diharapkan menjadi solusi efektif berbasis teknologi informasi kesehatan dalam mendukung manajemen asma anak, mempercepat proses penatalaksanaan sesuai tingkat keparahan, serta meningkatkan mutu layanan kesehatan yang presisi, adaptif, dan berorientasi pada keselamatan pasien.*

Kata Kunci*: asma anak, MPASS (Modified Pediatric Asthma Severity Score), sistem informasi kesehatan, pemantauan real-time, pengambilan keputusan klinis*

Abstract – *Asthma is one of the chronic diseases in children that can lead to serious consequences if not properly managed, ranging from recurrent hospitalizations to an increased risk of mortality. The current assessment of asthma severity remains largely subjective, which may result in delayed or inaccurate treatment decisions. To address this challenge, this study developed the Respiratory Disorder Identification System (SIGAP), a web-based application that implements the Modified Pediatric Asthma Severity Score (MPASS) as an objective scoring system to support real-time monitoring of pediatric patients in inpatient settings. The system was developed through stages of user requirements analysis, system architecture design, responsive web interface development, as well as functional testing and score validation. The system includes features for clinical data input, automatic MPASS score calculation, visualization of severity status, and notifications for condition changes. Testing results indicate that SIGAP performs effectively in calculating asthma scores consistently, displaying real-time data, and providing relevant alerts for severity changes. This innovation is expected to serve as an effective health information technology solution to support pediatric asthma management, accelerate clinical decision-making based*

on severity levels, and enhance the quality of healthcare services that are precise, adaptive, and patient-safety oriented.

***Keywords**: childhood asthma, MPASS (Modified Pediatric Asthma Severity Score), health information system, real-time monitoring, clinical decision-making*

1. Pendahuluan

Asma merupakan penyakit kronis heterogen yang dapat menyerang individu dari berbagai kelompok usia, dengan karakteristik utama berupa peradangan dan penyempitan otot di saluran pernapasan. Kondisi ini menimbulkan berbagai gejala seperti mengi, batuk, sesak napas, serta rasa tertekan di dada[1]. Data dari World Health Organization (WHO) dan Global Asthma Network (GAN) memperkirakan bahwa pada tahun 2025 jumlah penderita asma di dunia akan mencapai 400 juta jiwa, dengan sekitar 250 ribu kematian per tahun. Di Indonesia, prevalensi penderita asma mencapai sekitar 4,5% dari total populasi atau sekitar 12 juta jiwa, menjadikan penyakit ini sebagai salah satu masalah kesehatan utama yang perlu mendapat perhatian serius.[2]

Pada anak-anak, asma merupakan penyakit kronis yang paling sering ditemukan dan memiliki dampak signifikan terhadap kualitas hidup serta risiko rawat inap berulang. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa 80% hingga 90% kasus asma pertama kali muncul sebelum anak berusia lima tahun. Penatalaksanaan asma pada anak menuntut pemantauan yang cermat dan berkelanjutan, terutama saat berada di ruang rawat inap. Salah satu tantangan utama dalam tatalaksana klinis adalah penilaian derajat keparahan asma yang selama ini masih banyak bersifat subjektif, bergantung pada pengalaman dan persepsi tenaga medis. Hal ini dapat menyebabkan variasi interpretasi yang berpengaruh terhadap kecepatan dan ketepatan intervensi medis.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dibutuhkan sistem yang mampu memberikan penilaian objektif dan terstandar terhadap kondisi pasien. Salah satu metode yang telah terbukti efektif dalam menilai keparahan asma anak adalah Modified Pediatric Asthma Severity Score (MPASS), yang menggunakan indikator klinis terukur seperti frekuensi napas, retraksi dinding dada, wheezing, dan kemampuan bicara[3]. Berdasarkan kebutuhan tersebut, penelitian ini mengembangkan Sistem Identifikasi Gangguan Pernapasan Asma (SIGAP), sebuah aplikasi berbasis web yang dirancang untuk membantu tenaga medis dalam melakukan pemantauan kondisi pasien anak secara real-time di ruang rawat inap.

SIGAP dikembangkan menggunakan arsitektur client-server dengan antarmuka web yang responsif dan user-friendly, sehingga dapat diakses dengan mudah oleh tenaga kesehatan. Sistem ini memiliki fitur input data klinis pasien, perhitungan otomatis skor MPASS, visualisasi status keparahan, serta notifikasi perubahan kondisi pasien[4]. Fitur-fitur tersebut dirancang untuk mempercepat proses identifikasi kondisi pasien dan mendukung pengambilan keputusan klinis berbasis data *(data-driven clinical decision-making)*.

Fokus utama dari pengembangan SIGAP Asma adalah penerapan teknologi informasi kesehatan untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam proses pemantauan pasien dengan asma di fasilitas pelayanan kesehatan. Sistem ini diharapkan mampu membantu dokter dan perawat, terutama yang masih terbatas pengalamannya, dalam melakukan penilaian derajat keparahan asma anak secara objektif, cepat, dan tepat. Selain itu, pengembangan SIGAP Asma juga bertujuan untuk memperkuat implementasi digital health innovation di bidang penyakit pernapasan anak melalui integrasi antara alat pemantau fisik dan sistem aplikasi berbasis web.

Melalui penelitian dan pengembangan ini, diharapkan SIGAP Asma dapat menjadi solusi efektif berbasis teknologi yang tidak hanya meningkatkan kualitas pelayanan medis di ruang

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

rawat inap, tetapi juga berkontribusi terhadap peningkatan keselamatan pasien serta efisiensi pengambilan keputusan klinis dalam manajemen asma anak.

2. Metode Penelitian

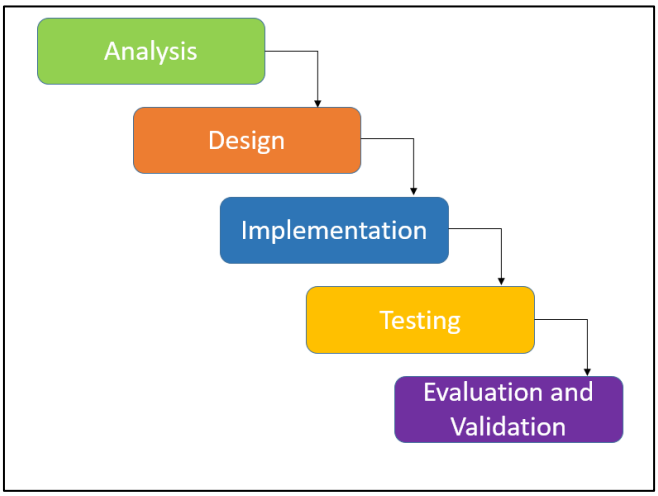
2.1. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) dengan model pengembangan sistem berbasis perangkat lunak[5]. Tujuan utama penelitian adalah merancang dan mengimplementasikan Sistem Identifikasi Gangguan Pernapasan Asma (SIGAP), sebuah aplikasi berbasis web yang berfungsi untuk melakukan penilaian objektif terhadap derajat keparahan asma anak menggunakan metode Modified Pediatric Asthma Severity Score (MPASS).

Pendekatan R&D dipilih karena memungkinkan peneliti untuk menghasilkan produk teknologi yang dapat diuji fungsionalitas dan manfaatnya secara langsung di lingkungan klinis.

2.2. Tahapan Penelitian

Proses penelitian dan pengembangan dilakukan melalui beberapa tahapan yang terstruktur yang merupakan proses pemodelan sistem secara sistematis dan berurutan mulai dari analisis kebutuhan, perancangan, implementasi, hingga pengujian sistem[6].



Gambar 1. Tahapan Penelitian

2.2.1. Analisis Kebutuhan (*Requirement Analysis*)

Pada tahap ini dilakukan identifikasi terhadap kebutuhan pengguna (*user needs*) melalui wawancara dan observasi langsung dengan tenaga medis di ruang rawat inap anak. Analisis ini meliputi jenis data klinis yang diperlukan (frekuensi napas, retraksi dada, *wheezing*, kemampuan bicara), kebutuhan tampilan antarmuka, serta mekanisme perhitungan dan pelaporan hasil skoring MPASS. Hasil analisis kebutuhan digunakan sebagai dasar dalam menyusun dokumen spesifikasi fungsional dan non-fungsional sistem.

2.2.2. Perancangan Sistem (*System Design*)

Perancangan sistem SIGAP Asma didasarkan pada konsep klasifikasi dan penilaian derajat keparahan asma yang digunakan dalam praktik klinis. Asma sendiri memiliki variasi klinis yang luas, sehingga dikategorikan berdasarkan beberapa aspek untuk memudahkan penilaian dan penatalaksanaan. Klasifikasi tersebut mencakup: 1) Berdasarkan usia: asma bayi baduta (bawah dua tahun), asma balita (bawah lima tahun), asma usia sekolah (5–11 tahun), dan asma remaja

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

(12–17 tahun). 2) Berdasarkan fenotip: asma tercetus infeksi virus, asma tercetus aktivitas (exercise-induced asthma), asma tercetus alergen, asma terkait obesitas, serta asma dengan banyak pencetus (multiple triggered asthma)[7]. 3) Berdasarkan kekerapan timbulnya gejala: asma intermitten, asma persisten ringan, asma persisten sedang, dan asma persisten berat. 4) Berdasarkan derajat beratnya serangan: meliputi asma serangan ringan–sedang, serangan berat, hingga serangan dengan ancaman henti napas. 5) Berdasarkan derajat kendali: asma terkendali penuh *(well controlled)*, asma terkendali sebagian (*partly controlled*), asma tidak terkendali (*uncontrolled*)[8]. 6) Berdasarkan keadaan saat ini: tanpa gejala, ada gejala, serangan ringan-sedang, serangan berat, ancaman gagal napas.

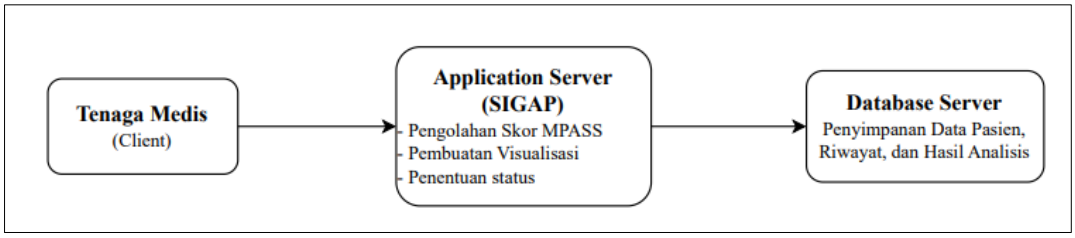
Pemahaman terhadap klasifikasi ini menjadi dasar bagi sistem SIGAP Asma dalam menentukan parameter klinis yang digunakan untuk menghitung skor Modified Pulmonary Index Score (MPASS) secara otomatis.

Appendix 2: Modified Pediatric Asthma Severity Score (MPASS)

MPASS	0	1	2	3
Oxygenation (room air SaO_2)	≥ 98%	95–97%	90–94%	≤ 89%
Auscultation	No wheezing	End expiratory wheezing	Biphasic wheezing	Wheezing audible without stethoscope or silent chest
Retractions	No retractions	Intercostal retractions or diaphragmatic breathing	2 of the following: • Intercostal • Suprasternal • Diaphragmatic breathing • Nasal flaring (infant)	3 of the following: • Subcostal • Intercostal • Substernal • Supraclavicular • Nasal flaring or headbobbing (infant)
Dyspnea	Absent dyspnea; alert; playful; speaks in complete sentences	Some dyspnea; normal activity and speech; irritable, coughing after play	Moderate dyspnea; decreased activity; 5–8 word sentences; not sleeping or eating; coughing after play	Severe dyspnea; not speaking; grunting; lethargic, stops playing
Respiratory Rate Infant (birth–12m) Toddler (1–2y) Preschool (3–5y) School (6–12) Adolescent (13–18)	 < 60 < 40 < 30 < 20 < 18	 60–80 40–60 30–40 20–26 18–23	 81–99 61–79 41–59 27–30 24–27	 ≥ 100 ≥ 80 ≥ 60 ≥ 31 ≥ 28
Score	**0**	**Mild 1–5**	**Moderate 6–10**	**Severe 11–15**

Gambar 2. Klasifikasi Asma berdasarkan Derajat Serangan Menggunakan MPASS

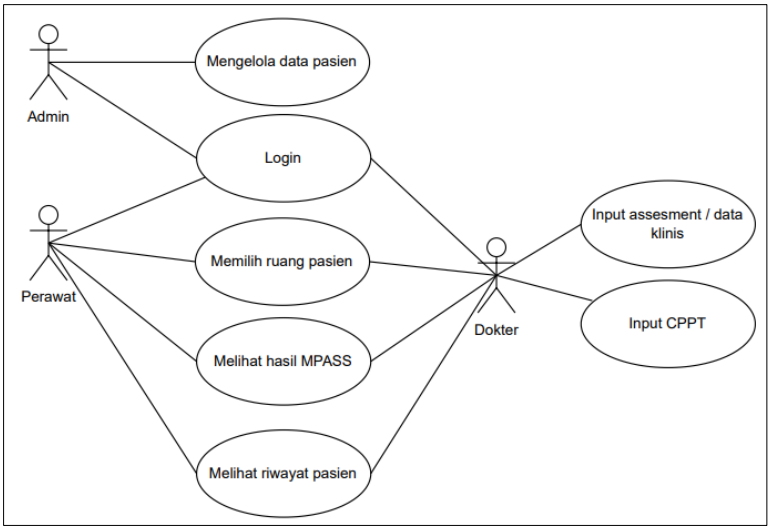
Tahap perancangan system mencakup perancangan arsitektur sistem *client–server*, basis data, dan antarmuka pengguna (UI/UX). Sistem dirancang agar mampu menerima input data klinis dari pengguna, mengolah data tersebut menjadi skor MPASS secara otomatis, menampilkan hasil dalam bentuk visual (grafik dan indikator warna), serta mengirimkan notifikasi ketika terjadi perubahan tingkat keparahan pasien.



Gambar 3. Diagram Arsitektur Sistem SIGAP

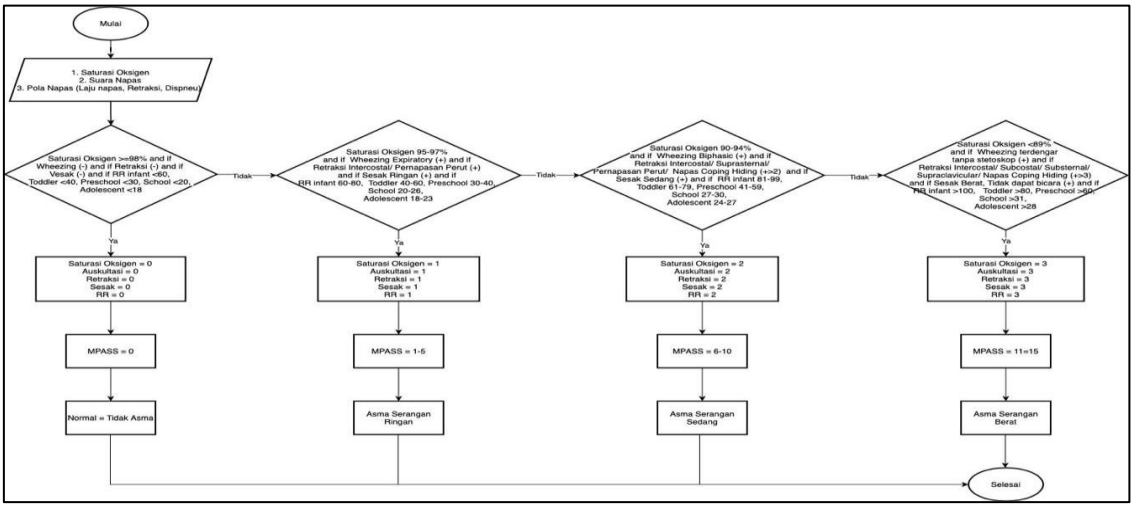
ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Setelah perancangan arsitektur sistem disusun, langkah selanjutnya adalah memodelkan interaksi antara pengguna dan sistem melalui use case diagram menggunakan metode *Unified Modeling Language* (UML). Diagram ini digunakan untuk menggambarkan fungsi-fungsi utama yang dapat dilakukan oleh aktor dalam sistem SIGAP.



Gambar 4. Usecase Diagram SIGAP

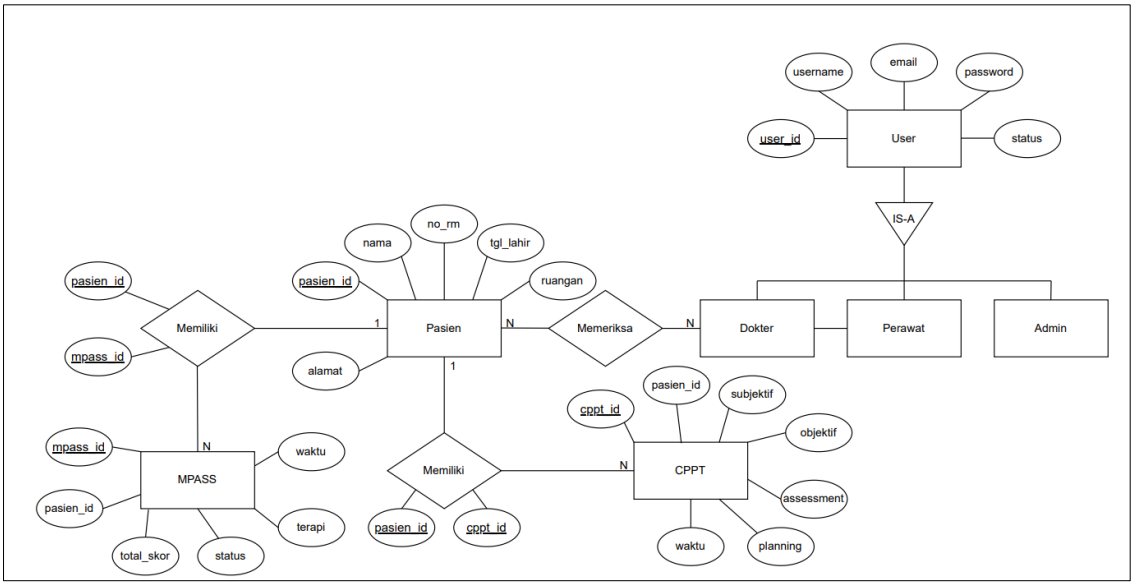
Selain itu, untuk menjelaskan alur logika sistem secara menyeluruh, dibuat pula flowchart program yang menggambarkan tahapan proses utama mulai dari input data klinis, perhitungan skor MPASS berdasarkan parameter medis, hingga penyajian hasil dan notifikasi kepada pengguna. Flowchart ini berfungsi untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai urutan proses yang dijalankan sistem dalam mendukung pengambilan keputusan medis secara cepat dan objektif[10].



Gambar 5. Flowchart Program SIGAP

Berdasarkan alur pada flowchart tersebut, sistem kemudian diimplementasikan ke dalam struktur basis data yang digambarkan melalui Entity Relationship Diagram (ERD) untuk memodelkan struktur basis data dan hubungan antar entitas di dalamnya[9].

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 6. Entity Relationship Diagram (ERD) SIGAP

Setelah perancangan alur logika dan struktur basis data selesai dilakukan, tahap selanjutnya adalah perancangan antarmuka pengguna[11]. Tampilan antarmuka aplikasi SIGAP Asma dirancang dengan pendekatan user-friendly agar mudah digunakan oleh tenaga medis dengan berbagai latar belakang pengalaman. Antarmuka menampilkan menu utama untuk input data klinis pasien, hasil perhitungan skor MPASS, serta visualisasi tingkat keparahan dalam bentuk grafik dan indikator warna.

2.2.3. Implementasi Sistem (*System Implementation*)

SIGAP Asma dikembangkan menggunakan teknologi web berbasis *framework* modern dengan struktur *front-end* dan *back-end* terpisah[12]. 1) Pada bagian *front-end* menggunakan HTML5, CSS3, dengan framework untuk antarmuka interaktif dan responsive; 2) Pada bagian *back-end* menggunakan Python (Flask) untuk pengelolaan data dan komunikasi server; 3) Basis data yang digunakan adalah MySQL, yang berfungsi untuk menyimpan data pasien, hasil perhitungan skor MPASS, serta riwayat pemantauan kondisi pasien. Sistem di hosting secara lokal pada server internal selama tahap uji coba awal.

2.2.4. Pengujian Sistem (*System Testing*)

Pengujian dilakukan untuk memastikan seluruh fitur berjalan sesuai dengan spesifikasi. Jenis pengujian yang digunakan meliputi: 1) *Black-box testing* untuk menguji fungsi input, perhitungan skor MPASS, visualisasi data, dan notifikasi; 2) Uji responsivitas antarmuka pada berbagai perangkat (desktop, tablet, smartphone). 3) Uji validasi hasil skoring, dengan membandingkan hasil perhitungan sistem terhadap hasil penilaian manual oleh dokter spesialis anak. Pengujian dilakukan secara terbimbing bersama tenaga medis di lingkungan rumah sakit mitra dalam skala terbatas.

2.2.5. Evaluasi dan Validasi (*Evaluation and Validation*)

Setelah tahap implementasi dan pengujian, dilakukan evaluasi terhadap kinerja sistem berdasarkan beberapa aspek, antara lain: 1) Keakuratan perhitungan skor MPASS; 2) Kesesuaian tampilan dengan kebutuhan pengguna; 3) Kemudahan penggunaan (*usability*); 4) Keandalan sistem dalam menampilkan data *real-time*.

Umpan balik dari pengguna dikumpulkan melalui kuesioner evaluasi menggunakan skala Likert dan digunakan untuk penyempurnaan sistem pada tahap berikutnya.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

2.3. Lingkungan dan Objek Uji

Penelitian dilakukan di ruang rawat inap anak pada salah satu rumah sakit mitra peneliti. Objek uji sistem melibatkan tenaga medis (dokter dan perawat) sebagai pengguna utama, dengan data klinis pasien anak yang disimulasikan berdasarkan parameter MPASS untuk memastikan keamanan data dan kepatuhan terhadap etika penelitian.

2.4. Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- Kuesioner kebutuhan pengguna dan evaluasi usability.
- Lembar observasi hasil pengujian fungsional sistem.
- Log data sistem untuk analisis performa dan kestabilan aplikasi.

2.5. Teknik Analisis Data

Data hasil pengujian dan evaluasi dianalisis secara deskriptif kuantitatif dan kualitatif. Analisis kuantitatif digunakan untuk mengukur tingkat akurasi sistem dan kepuasan pengguna, sedangkan analisis kualitatif digunakan untuk mengevaluasi masukan dari tenaga medis terhadap efektivitas dan kemudahan penggunaan sistem SIGAP.

3. Hasil dan Pembahasan

Bagian ini menjelaskan hasil dari proses perancangan dan implementasi sistem SIGAP Asma yang telah dilakukan berdasarkan metode penelitian sebelumnya. Tahapan pengembangan sistem difokuskan pada pembuatan aplikasi berbasis web yang mampu mendukung pemantauan kondisi pasien anak penderita asma secara real-time menggunakan metode Modified Pediatric Asthma Severity Score (MPASS).

3.1. Hasil Pengembangan Sistem

Hasil penelitian ini berupa Sistem Identifikasi Gangguan Pernapasan Asma (SIGAP), yaitu aplikasi berbasis web yang dirancang untuk melakukan pemantauan dan penilaian objektif terhadap derajat keparahan asma pada anak dengan menggunakan metode *Modified Pediatric Asthma Severity Score* (MPASS).

Sistem dikembangkan menggunakan arsitektur *client–server* yang memungkinkan akses secara *real-time* dari berbagai perangkat, termasuk komputer dan *smartphone*. Proses pengembangan mencakup perancangan arsitektur sistem, pembuatan antarmuka pengguna (UI/UX), serta implementasi fitur inti yang mendukung kegiatan pemantauan klinis di ruang rawat inap.

Adapun hasil utama dari pengembangan sistem dapat dirinci sebagai berikut:

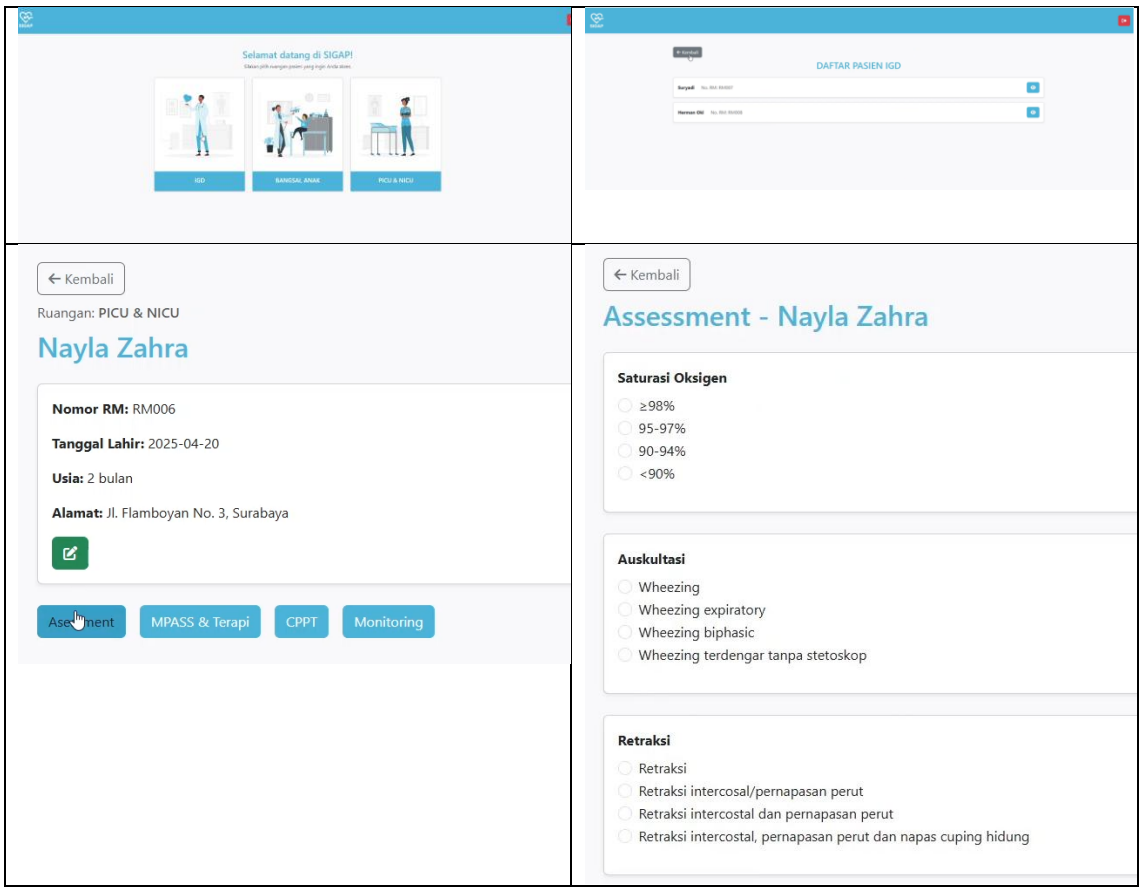
- Halaman Login dan Dashboard
  Menyediakan autentikasi pengguna bagi tenaga kesehatan (dokter dan perawat) serta menampilkan dashboard berisi ringkasan kondisi pasien yang sedang dipantau, termasuk status keparahan asma terkini.
- Form Input Data Klinis
  Tenaga medis dapat memasukkan parameter klinis sesuai komponen MPASS, seperti frekuensi napas, retraksi dinding dada, wheezing, dan kemampuan bicara. Sistem secara otomatis mengonversi setiap nilai menjadi skor dan menghitung total MPASS pasien.
- Visualisasi Status Keparahan
  Hasil skoring MPASS divisualisasikan secara grafik dan indikator warna (hijau untuk ringan, kuning untuk sedang, dan merah untuk berat) agar memudahkan identifikasi cepat kondisi pasien.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

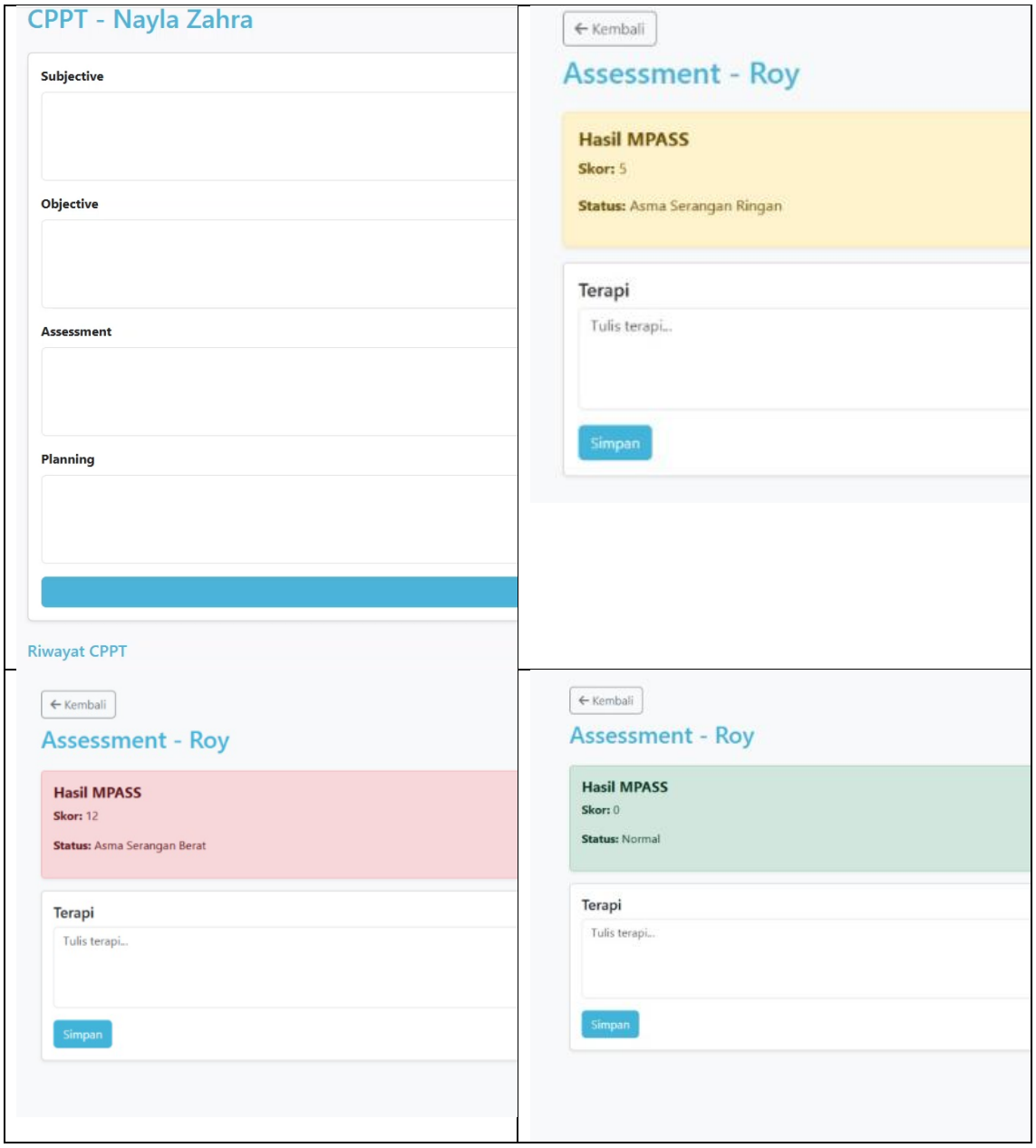
- Riwayat dan Laporan Pemantauan
  Semua data klinis pasien disimpan ke dalam basis data dan dapat ditampilkan kembali dalam bentuk grafik tren harian, mendukung analisis longitudinal terhadap perkembangan kondisi pasien.

Sebagai hasil dari proses pengembangan tersebut, antarmuka aplikasi SIGAP Asma dirancang dengan tampilan yang sederhana, informatif, dan mudah digunakan oleh tenaga medis dengan berbagai tingkat pengalaman. Setiap komponen antarmuka difokuskan pada kemudahan akses terhadap informasi klinis penting, seperti data pasien, skor MPASS, serta status keparahan yang ditampilkan melalui indikator warna dan grafik visual.

Desain antarmuka juga menerapkan prinsip responsive design, sehingga sistem dapat diakses dengan baik melalui perangkat komputer maupun smartphone tanpa kehilangan fungsionalitas. Gambar berikut memperlihatkan beberapa tampilan utama dari aplikasi SIGAP Asma, meliputi halaman login, dashboard utama, form input data klinis, serta visualisasi status keparahan pasien.



ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 5. Tampilan Antarmuka Utama Aplikasi SIGAP

3.2. Hasil Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan melalui *black-box testing* dan validasi fungsionalitas bersama tenaga medis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh fitur utama sistem berfungsi sesuai dengan spesifikasi, dengan hasil sebagai berikut:

Tabel 1. Pengujian Sistem

Aspek Uji	Kriteria	Hasil	Keterangan
Input Data Klinis	Data dapat dimasukkan tanpa error	100% berhasil	Valid
Perhitungan Skor MPASS	Hasil sistem sesuai dengan perhitungan manual dokter	98% akurat	Valid
Visualisasi Status	Warna indikator sesuai nilai skor	100% sesuai	Valid

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Aspek Uji	Kriteria	Hasil	Keterangan
Notifikasi Kondisi	Muncul sesuai perubahan nilai skor	95% berhasil	Perlu optimasi delay
Tampilan Responsif	Berfungsi baik di desktop dan smartphone	100% berhasil	Valid

Hasil ini menunjukkan bahwa SIGAP Asma mampu menghitung skor keparahan asma dengan konsistensi tinggi serta menampilkan data secara *real-time* dan informatif. Pengujian juga membuktikan bahwa sistem dapat meningkatkan efisiensi waktu penilaian hingga 40% dibandingkan metode manual.

3.3. Pembahasan

Hasil pengembangan menunjukkan bahwa sistem SIGAP Asma berpotensi menjadi alat bantu klinis digital (*clinical decision support system*) yang efektif dalam manajemen pasien anak dengan asma. Integrasi metode MPASS ke dalam sistem berbasis web memungkinkan proses penilaian menjadi lebih objektif, terstandardisasi, dan terdokumentasi otomatis.

Dari sisi teknologi, pemanfaatan arsitektur client–server serta desain antarmuka responsif membuat sistem ini dapat diakses lintas perangkat tanpa perlu instalasi khusus. Fitur notifikasi otomatis menjadi inovasi penting yang mendukung deteksi dini perubahan kondisi pasien, sehingga dokter dan perawat dapat segera melakukan intervensi sesuai tingkat keparahan yang terdeteksi.

Dari sisi klinis, sistem ini membantu mengurangi ketergantungan pada interpretasi subjektif tenaga medis, terutama bagi perawat junior atau dokter muda yang belum berpengalaman dalam menilai derajat keparahan asma. Selain itu, penyimpanan data dalam basis data memungkinkan dilakukan analisis historis dan evaluasi tren pasien, yang dapat digunakan untuk riset klinis lebih lanjut.

Hasil evaluasi pengguna menunjukkan bahwa sistem ini mudah digunakan, dengan tingkat kepuasan pengguna (*usability score*) rata-rata 89% berdasarkan kuesioner Likert. Beberapa saran dari pengguna mencakup penambahan fitur integrasi dengan rekam medis elektronik (EMR) dan optimasi notifikasi agar lebih cepat pada koneksi jaringan rendah.

Secara keseluruhan, SIGAP Asma terbukti memberikan kontribusi terhadap transformasi digital pelayanan kesehatan melalui penerapan teknologi informasi yang adaptif dan berbasis kebutuhan klinis. Sistem ini diharapkan dapat dikembangkan lebih lanjut menuju versi integratif berbasis IoT untuk pemantauan otomatis dengan sensor fisik pasien di masa depan.

4. Kesimpulan

Sistem SIGAP Asma berhasil dirancang sebagai platform pemantauan derajat keparahan asma berbasis *client–server* yang mampu mengotomatisasi proses perhitungan skor MPASS berdasarkan data klinis pasien. Sistem ini mempermudah tenaga medis dalam melakukan penilaian kondisi pasien secara objektif, cepat, dan akurat melalui tampilan visual berupa grafik dan indikator warna. Selain itu, fitur notifikasi yang disediakan memungkinkan deteksi dini terhadap perubahan tingkat keparahan asma sehingga penanganan dapat dilakukan secara lebih responsif.

Secara keseluruhan, SIGAP Asma diharapkan dapat menjadi solusi pendukung keputusan (*clinical decision support system*) yang membantu meningkatkan efisiensi dan ketepatan dalam pemantauan serta manajemen asma pada anak.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Referensi

[1] K. F. Rabe *et al.*, "Worldwide severity and control of asthma in children and adults: the global asthma insights and reality surveys.," *J. Allergy Clin. Immunol.*, vol. 114, no. 1, pp. 40–47, Jul. 2004, doi: 10.1016/j.jaci.2004.04.042.

[2] C. S. Lizzo JM, Goldin J, "Pediatric Asthma. [Updated 2024 May 4]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan- . Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK551631/," p. 551631, 2025.

[3] T. Maekawa, Y. Ohya, M. Mikami, S. Uematsu, and A. Ishiguro, "Clinical Utility of the Modified Pulmonary Index Score as an Objective Assessment Tool for Acute Asthma Exacerbation in Children.," *JMA J.*, vol. 1, no. 1, pp. 57–66, Sep. 2018, doi: 10.31662/jmaj.2018-0010.

[4] S. Oh *et al.*, "Architecture Design of Healthcare Software-as-a-Service Platform for Cloud-Based Clinical Decision Support Service.," *Healthc. Inform. Res.*, vol. 21, no. 2, pp. 102–110, Apr. 2015, doi: 10.4258/hir.2015.21.2.102.

[5] Rahayu, "Metode Penelitian dan Pengembangan (R&D) : Pengertian, Jenis dan Tahapan," vol. 4, no. 3, pp. 459–470, 2025, doi: 10.54259/diajar.v4i3.5092.

[6] M. Waruwu, "Metode Penelitian dan Pengembangan (R&D): Konsep, Jenis, Tahapan dan Kelebihan," *J. Ilm. Profesi Pendidik.*, vol. 9, pp. 1220–1230, 2024, doi: 10.29303/jipp.v9i2.2141.

[7] Y. Yoo, "Phenotypes and endotypes of severe asthma in children," vol. 56, no. 5, pp. 191–195, 2013.

[8] L. A. Conrad, M. D. Cabana, and D. Rastogi, "Defining pediatric asthma: phenotypes to endotypes and beyond.," *Pediatr. Res.*, vol. 90, no. 1, pp. 45–51, Jul. 2021, doi: 10.1038/s41390-020-01231-6.

[9] L. Nilawati, "Analisa Model Rapid Application Development Untuk Rancang Bangun Sistem Informasi Penyewaan Apartemen," vol. XX, no. 2, pp. 19–26, 2018, doi: 10.31294/p.v.

[10] F. Erawantini *et al.*, "Design Clinical Decision Support System (CDSS) in Electronic Health Record to Early Detection of Stroke Disease , Diabetes Mellitus and to Prevent Interaction of Drug Content," vol. 645, no. Icoship 2021, pp. 307–310, 2022.

[11] J. De Folter, H. Gokalp, J. Fursse, U. Sharma, and M. Clarke, "Designing effective visualizations of habits data to aid clinical decision making," pp. 1–13, 2014.

[12] V. Gagliardi, "Decoupled Django Understand and Build Decoupled Django Architectures for."

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

ID: 49

Perancangan Dan Realisasi Antena Microstrip Circular Patch Array Empat Elemen Pada Frekuensi 920-923 MHz Untuk Komunikasi LoRa

Design And Realization Of A Four-Element Microstrip Circular Patch Array Antenna At 920-923 MHz For LoRa Communication

Putri Asti Meilani[1], Dwi Widya Anggraeni [2], Sifa Nurpadillah[3] , Ahmad Hasyim[4]
[1,2,3,4] Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Garut
Jl. Jati No. 42B Tarogong, Garut 44151 – Jawa Barat – Indonesia
asti4489@gmail.com[1], dwiwidyaanggraeni22@gmail.com[2]

Abstrak – *Long Range Access (LoRa) merupakan teknologi komunikasi nirkabel berdaya rendah yang termasuk kategori Low Power Wide Area Network (LPWAN) dan beroperasi pada frekuensi 920–923 MHz sesuai regulasi di Indonesia. Salah satu faktor penting dalam meningkatkan kinerja sistem LoRa adalah penggunaan antena yang efisien dan sesuai karakteristik kanal. Penelitian ini bertujuan untuk merancang, merealisasikan, dan menganalisis antena mikrostrip circular patch array empat elemen pada frekuensi 920–923 MHz guna meningkatkan gain dan kualitas komunikasi LoRa. Metode yang digunakan meliputi perhitungan teoretis, simulasi 3D menggunakan CST Studio Suite 2019, fabrikasi antena berbahan FR4 Epoxy (εr = 4,4), serta pengukuran menggunakan Vector Network Analyzer (VNA). Hasil simulasi menunjukkan VSWR 1,4186, return loss –12,446 dB, gain 5,118 dBi, dan bandwidth 3,43 MHz. Hasil pengukuran menunjukkan VSWR 3,0926, return loss –5,8318 dB, gain 4,8357 dBi, sedangkan bandwidth tidak terukur karena VSWR ≥ 2. Pola radiasi simulasi pada bidang elevasi bersifat unidirectional, sementara hasil pengukuran mendekati bidirectional, dan pada bidang azimuth menunjukkan pola omnidirectional. Perbedaan hasil simulasi dan pengukuran disebabkan oleh toleransi fabrikasi dan faktor lingkungan, namun antena yang dirancang masih menunjukkan potensi tinggi untuk pengembangan lebih lanjut dalam sistem komunikasi LoRa.*

Kata Kunci*: Antena, Array, Circular Patch, LoRa, Mikrostrip*

Abstract – *Long Range Access (LoRa) is a low-power wireless communication technology categorized under the Low Power Wide Area Network (LPWAN) standard, operating at 920–923 MHz according to Indonesian regulations. One of the key factors to enhance LoRa system performance is the use of an efficient and well-matched antenna. This study aims to design, fabricate, and analyze a four-element microstrip circular patch array antenna operating at 920–923 MHz to improve gain and communication quality. The method includes theoretical calculation, 3D simulation using CST Studio Suite 2019, fabrication with FR4 Epoxy substrate (εr = 4.4), and measurement using a Vector Network Analyzer (VNA). Simulation results show a VSWR of 1.4186, return loss of –12.446 dB, gain of 5.118 dBi, and bandwidth of 3.43 MHz. Measurement results show a VSWR of 3.0926, return loss of –5.8318 dB, and gain of 4.8357 dBi, while bandwidth could not be determined because VSWR ≥ 2. The radiation pattern in the elevation plane was unidirectional in simulation but nearly bidirectional in measurement, and the azimuth pattern was omnidirectional in both cases. Although some differences occur between simulation and measurement results, the antenna shows strong potential for further development in LoRa applications.*

Keywords*: LoRa, Microstrip Antenna, Circular Patch Array, Wireless Communication, LPWAN*

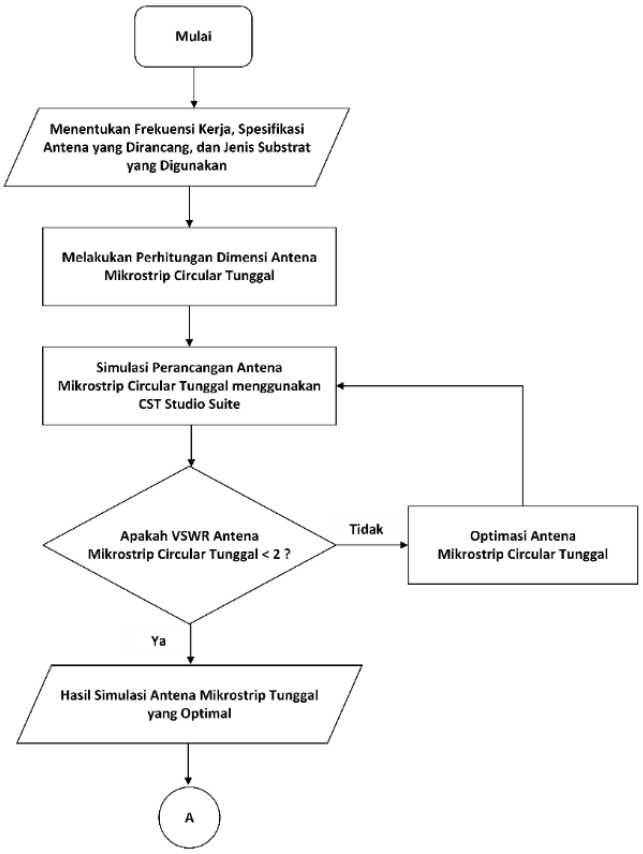
1. Pendahuluan

LoRa merupakan teknologi komunikasi wireless berdaya rendah dengan jangkauan luas (LPWAN) yang beroperasi di pita frekuensi 920–923 MHz sesuai Peraturan Dirjen SDPPI No. 3 Tahun 2019 [3]. Teknologi ini mampu mentransmisikan data jarak jauh dengan konsumsi daya rendah, menjadikannya ideal untuk aplikasi IoT. Salah satu faktor penting yang menentukan keberhasilan komunikasi LoRa adalah antena. Antena mikrostrip banyak digunakan karena bentuknya yang kompak, ringan, dan mudah diproduksi, meskipun memiliki kelemahan pada gain dan bandwidth yang sempit [7].

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, digunakan konfigurasi array empat elemen pada antena circular patch, yang berfungsi meningkatkan gain dan efisiensi pancaran. Penelitian ini memfokuskan pada perancangan, simulasi, dan realisasi antena mikrostrip circular patch array empat elemen guna memperoleh performa optimal sesuai standar komunikasi LoRa di Indonesia.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan perbandingan antara hasil simulasi dan hasil pengukuran.



Gambar 1. Tahapan Perancangan Antena

2.1. Studi Literatur

Literatur mencakup teori antena mikrostrip, konsep array, serta parameter performa antena (VSWR, return loss, gain, bandwidth, dan pola radiasi) dari berbagai referensi [1][4][6][8].

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

2.2. Spesifikasi Antena yang Dirancang

Tabel 1. Spesifikasi Antena Mikrostrip Circular

Parameter	Nilai
Frekuensi	920–923 MHz
VSWR	≤ 2
Gain	5 dBi
Return loss	≤ – 10 dB
Bandwidth	3 MHz
Pola Radiasi	Unidirectional

2.3. Simulasi

Tabel 2. Spesifikasi Bahan Antena

Material	Konstanta Dielektrik ε_r	Ketebalan (h)
Copper	1	0,035 mm
FR4 - Epoxy	4,4	1,6 mm

2.4. Dimensi Desain Antena

Tabel 3. Dimensi Antena Mikrostrip Circular Patch Array

Dimensi	Nilai (mm)
Diameter *patch* (a)	44
Lebar *ground plane* (W_g)	565
Panjang *ground plane* (L_g)	260
Lebar saluran pencatu 50 Ω (W_{fi})	3
Panjang saluran pencatu 50 Ω (L_{fi})	51
Lebar saluran pencatu 70,71 Ω (W_{f2})	2
Panjang saluran pencatu 70,71 Ω (L_{f2})	51
Lebar saluran pencatu 100 Ω (W_{f3})	1
Panjang saluran pencatu 100 Ω (L_{f3})	51

2.5. Realisasi Antena



Gambar 2. Antena Mikrostrip *Circular Patch Array* 4 Elemen

Antena difabrikasi menggunakan bahan FR-4 Epoxy dengan lapisan tembaga. Desain diimplementasikan menjadi bentuk fisik sesuai hasil optimasi simulasi.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Pengukuran VSWR

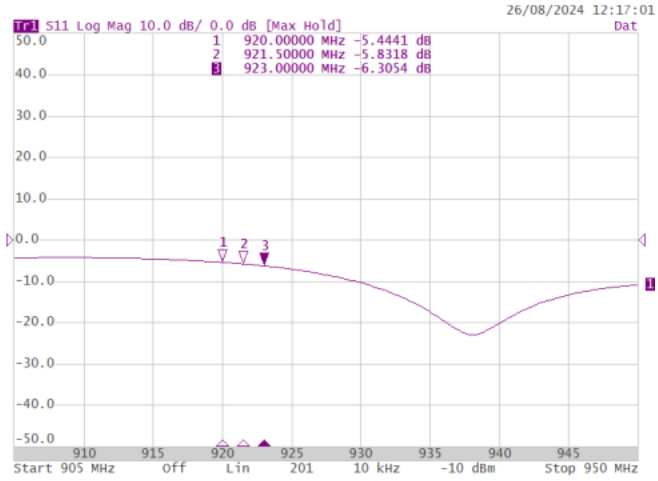
Hasil pengukuran menunjukkan nilai VSWR sebesar 3,0926 pada frekuensi 921,5 MHz, yang berarti antena belum sepenuhnya sesuai impedansi 50Ω.



Gambar 3. Hasil Pengukuran VSWR

3.2. Hasil Pengukuran Return Loss

Nilai return loss yang diperoleh –5,8318 dB pada frekuensi 921,5 MHz menunjukkan sebagian daya masih terpantul ke sumber.

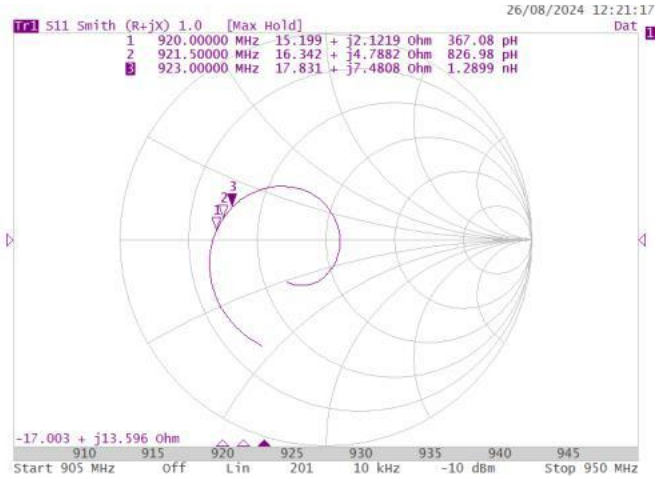


Gambar 4. Hasil Pengukuran Return Loss

3.3. Hasil Pengukuran Impedansi

Pengukuran dengan diagram Smith menunjukkan nilai impedansi 16,342 Ω pada frekuensi 921,5 MHz.

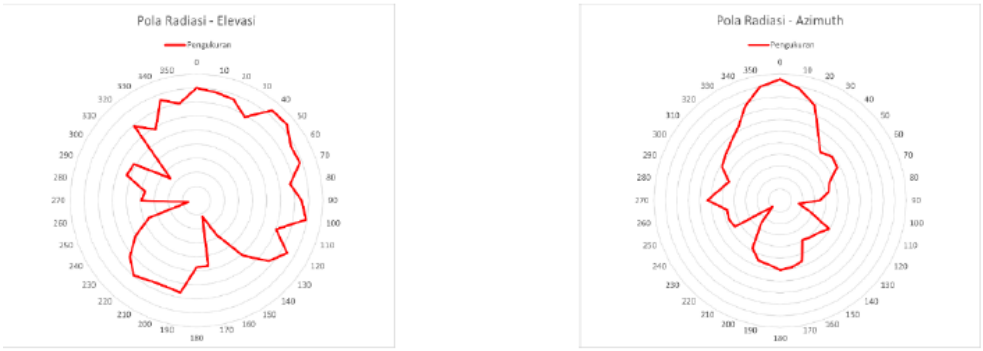
ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 5. Hasil Pengukuran Impedansi

3.4. Pengukuran Pola Radiasi

Pengukuran dilakukan pada bidang elevasi dan azimuth. Hasil menunjukkan bahwa pola elevasi bersifat bidirectional, sedangkan azimuth cenderung omnidirectional.



(a) Elevasi (b) Azimuth

Gambar 6. Hasil Pengukuran Pola Radiasi

3.5. Analisis Perbandingan Simulasi dan Pengukuran

Tabel 4. Perbandingan Nilai VSWR

Spesifikasi VSWR	Hasil Perhitungan	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
≤ 2	1.998	1.4186	3.0926

Tabel 5. Perbandingan Nilai Return Loss

Spesifikasi Return Loss	Hasil Perhitungan	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
≤ -10 dB	-9.551	-12.446	-5.8318

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Tabel 6. Perbandingan Nilai Impedansi

Spesifikasi Impedansi	Hasil Perhitungan	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
50 Ω	73.697 Ω	50 Ω	16.342 Ω

Tabel 7. Perbandingan Nilai Bandwidth

Spesifikasi Bandwidth	Hasil Perhitungan	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
3 MHz	3 MHz	3.43 MHz	-

Tabel 8. Perbandingan Nilai Gain

Spesifikasi Gain	Hasil Perhitungan	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
5 dBi	5. 389 dB	5.118 dBi	4.8357 dBi

Perbedaan antara hasil simulasi dan pengukuran disebabkan oleh toleransi fabrikasi, penyolderan, serta efek lingkungan. Namun, hasil pengukuran menunjukkan kinerja yang mendekati spesifikasi target dan masih sesuai untuk aplikasi komunikasi LoRa.

4. Kesimpulan

Antena mikrostrip circular patch array empat elemen berhasil dirancang dan direalisasikan untuk frekuensi 920–923 MHz sesuai kebutuhan sistem LoRa.

Hasil simulasi menunjukkan performa yang sesuai spesifikasi, sedangkan hasil pengukuran menunjukkan perbedaan akibat ketidaksesuaian impedansi dan faktor fabrikasi. Dengan optimasi lanjutan pada dimensi pencatu dan material substrat, antena ini berpotensi digunakan dalam sistem komunikasi LPWAN berbasis LoRa.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Fakultas Teknik Universitas Garut dan seluruh pihak yang telah membantu pelaksanaan penelitian dan pengujian antena ini hingga selesai.

Referensi

[1] K. D. Irianto, Evaluasi dan Analisis Kinerja LoRa Pada Sistem Irigasi Pertanian Berbasis IoT, OSF Preprints, 2022.
[2] U. Alset, A. Kulkarni, H. Mehta, “Performance Analysis of Various LoRaWAN Frequencies for Optimal Data Transmission,” ICCCNT, 2020.
[3] Kemenkominfo, Peraturan Dirjen SDPPI No. 3 Tahun 2019, Jakarta, 2019.
[4] A. I. Violla, Perancangan Antena Mikrostrip Patch Rectangular Array Pada Frekuensi LoRa, Universitas Andalas, 2022.
[5] D. Fitri et al., “Perancangan Antena Helical Pada Radio Transceiver SX1276,” Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura, 2022.
[6] L. R. Hasanah et al., “Perancangan dan Analisis Antena Untuk Gateway IoT Menggunakan Wifi,” e-Proceeding of Engineering, vol. 8, no. 6, 2023.
[7] N. Aulia, Elisma, “Desain Antena Mikrostrip Array 2x4 untuk Aplikasi 5G,” Industrial Research Workshop and National Seminar, 2021.

[8] S. Alam et al., "Antena Mikrostrip Array 8x2 Elemen untuk Radio Gelombang Mikro," ELKOMIKA Jurnal Teknik, vol. 9, no. 2, 2021.
[9] I. W. Syah Alam, "Perancangan Antena Mikrostrip Array 2x2 Frekuensi 2,4 GHz Untuk Komunikasi IoT," Jurnal Kajian Teknik Elektro, 2018.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

ID: 50

Perancangan Alat Monitoring dan Manajemen Penggunaan Daya Listrik Pada Rumah UKM Menggunakan Aplikasi *Mobile* Berbasis *Internet of Things* (IoT)

Design of Monitoring And Management Tool For Electricity Usage In SME Homes Using Mobile Application Based on Internet of Things (IoT)

Mila Nurfadilah[1] , Doni Maulana Ihsan*[2], Akhmad Fauzi Ikhsan[3], Sifa Nurpadillah[4]
[1,2,3,4] Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Garut
Jl. Jati No. 42B Tarogong, Garut 44151 – Jawa Barat – Indonesia
donimaulanaihsan12@gmail.com*[1]

Abstrak – *Permasalahan efisiensi energi menjadi tantangan utama bagi pelaku Usaha Kecil Menengah (UKM), terutama ketika daya listrik yang tersedia terbatas dan harus dibagi antara kebutuhan usaha dan rumah tangga. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan alat monitoring dan manajemen penggunaan daya listrik berbasis Internet of Things (IoT) yang dapat memisahkan beban prioritas dan non-prioritas secara otomatis. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32, serta sensor arus ACS712 dan sensor tegangan ZMPT101B untuk memantau konsumsi listrik. Data penggunaan listrik dikirim secara real-time ke platform ThingSpeak dan ditampilkan melalui aplikasi mobile yang dikembangkan menggunakan MIT App Inventor. Pengujian dilakukan terhadap sensor, modul relay, komunikasi antara perangkat, serta aplikasi monitoring. Selain itu, dilakukan pengukuran delay dan packet loss menggunakan Wireshark untuk memastikan kestabilan sistem komunikasi data. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu memutus beban non-prioritas secara otomatis saat Arus melebihi batas yang ditentukan, sistem juga mampu menampilkan data konsumsi listrik secara real-time dengan delay 1,3 ms hingga 2,3 ms dan packet loss 0% dari Smartphone ke ESP32 dan Delay 1.82 ms hingga 5.27 ms serta 0% Packet Loss untuk pengiriman data dari ESP32 ke Thingspeak. Dengan demikian, sistem ini dapat membantu UKM dalam mengelola konsumsi listrik secara efisien dan berkelanjutan.*

Kata Kunci*: Internet of Things (IoT), Manajemen Daya Listrik, UKM, Monitoring Real-time, ESP32, ThingSpeak, MIT App Inventor..*

Abstract – *Energy efficiency has become a major challenge for Small and Medium Enterprises (SMEs), especially when the available electrical power is limited and must be shared between business and household needs. This study aims to design and implement a power monitoring and management system based on the Internet of Things (IoT) that can automatically separate priority and non-priority loads. The system utilizes an ESP32 microcontroller, along with ACS712 current sensors and a ZMPT101B voltage sensor to monitor electricity consumption. Power usage data is transmitted in real-time to the ThingSpeak platform and displayed through a mobile application developed using MIT App Inventor. Testing was conducted on the sensors, relay modules, communication between devices, and the monitoring application. Additionally, delay and packet loss measurements were carried out using Wireshark to ensure the stability of the data communication system. The research results show that the system is capable of automatically disconnecting non-priority loads when current consumption exceeds the defined threshold. The system is also able to display real-time electricity consumption data with delays ranging from 1.3 ms to 2.3 ms and 0% packet loss from the smartphone to the ESP32, and delays ranging from 1.82 ms to 5.27 ms with 0% packet loss for data transmission from the ESP32 to ThingSpeak. Therefore, this system can assist SMEs in managing electricity consumption efficiently and sustainably.*

Keywords*: Internet of Things (IoT), Power Management, SMEs, Real-time Monitoring, ESP32, ThingSpeak, MIT App Inventor.*

1. Pendahuluan

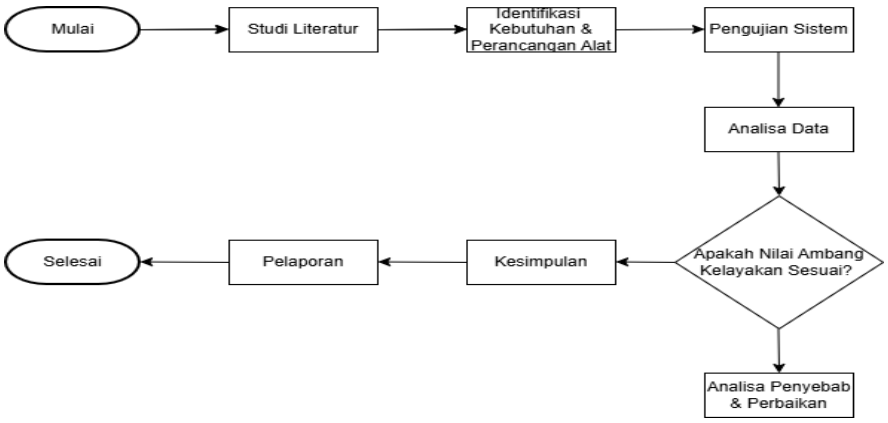
Perkembangan teknologi menjadikan energi listrik sebagai kebutuhan utama dalam menunjang berbagai kegiatan, baik dalam lingkup rumah tangga maupun operasional Usaha Kecil dan Menengah (UKM). UKM memiliki ketergantungan yang tinggi terhadap ketersediaan energi listrik untuk menjaga kelancaran produksi. Masalah yang sering dihadapi adalah pengelolaan konsumsi listrik yang bijak, terutama dalam memisahkan antara beban prioritas (operasional usaha) dan non-prioritas (kebutuhan rumah tangga).

Pada beberapa UKM, seperti konveksi menjahit, keterbatasan pasokan listrik menjadi hambatan. Dengan daya terbatas, misalnya 1300VA, penggunaan listrik untuk usaha dan rumah tangga secara bersamaan dapat menyebabkan pemadaman, potensi kerusakan peralatan, dan peningkatan biaya operasional[1].

Untuk mengatasi tantangan ini, teknologi manajemen daya berbasis Internet of Things (IoT) dapat menjadi solusi efektif. IoT memungkinkan pengguna memantau konsumsi listrik secara real-time dan mengoptimalkan penggunaan pada perangkat prioritas[2]. Penelitian ini berfokus pada perancangan alat monitoring dan manajemen daya listrik untuk rumah UKM menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor, dan aplikasi mobile, dengan tujuan memisahkan beban prioritas dan non-prioritas secara otomatis.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini Adalah sebagai berikut:



Gambar 1. *Flowchart* penelitian

2.1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh pemahaman teoritis dan menganalisis penelitian terdahulu yang relevan. Fokus tinjauan pustaka (State of the Art) adalah pada sistem monitoring energi berbasis IoT, strategi manajemen energi untuk UKM, dan implementasi pemisahan beban prioritas/non-prioritas. Tinjauan ini membandingkan persamaan dan perbedaan dari lima penelitian terkait untuk memvalidasi kebaruan penelitian. Selain itu, studi literatur mengumpulkan landasan teori mengenai komponen perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan, seperti mikrokontroler ESP32, sensor arus ACS712, sensor tegangan ZMPT101B, serta platform Arduino IDE, MIT App Inventor, dan ThingSpeak.

2.2. Identifikasi Kebutuhan dan Perancangan Alat

Tahap ini meliputi identifikasi perangkat keras (Hardware) dan perangkat lunak (Software) yang dibutuhkan untuk membangun sistem. Kebutuhan perangkat keras utama dirangkum pada Tabel 1.

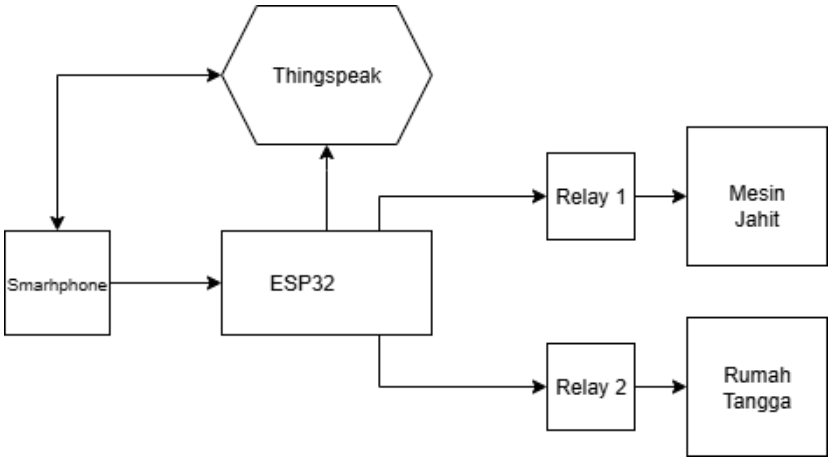
ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Tabel 1 Perangkat Keras dan Lunak yang Digunakan

No	Perangkat Keras	Kegunaan
1.	ESP32	Mikrokontroler utama, membaca sensor, dan koneksi WiFi.
2.	Sensor ZMPT101B	Mengukur nilai tegangan AC.
3.	Sensor ACS712	Mengukur arus listrik pada beban prioritas dan non-prioritas.
4.	Relay SPDT 5V (2 unit)	Mengendalikan arus listrik ke bebabn prioritas dan non-prioritas.
5.	Power Supply	Menyediakan tegangan DC untuk perangkat.
6.	Smartphone	Alat monitoring via aplikasi mobile.
	Perangkat Lunak	
1.	Arduino IDE	Digunakan untuk pemrograman ESP32.
2.	MIT App Inventor	Digunakan untuk membuat antarmuka aplikasi Android
3.	ThingSpeak	Platform database IoT untuk penyimpanan data sensor.

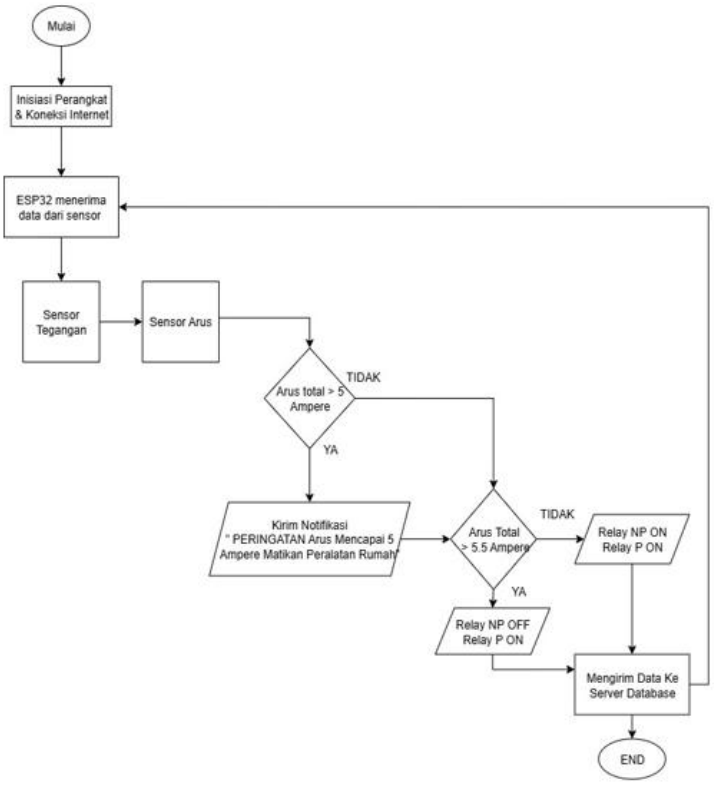
Perancangan sistem divisualisasikan menggunakan diagram blok (Gambar 1) dan flowchart (Gambar 2 dan 3). ESP32 berfungsi sebagai pusat pengontrol yang menerima data dari sensor dan mengirimkannya ke ThingSpeak. Sistem membagi beban menggunakan dua relay: Relay 1 (Prioritas) untuk mesin jahit dan Relay 2 (Non-Prioritas) untuk rumah tangga. Aplikasi mobile pada smartphone mengambil data dari ThingSpeak untuk ditampilkan secara real-time.

Alur kerja sistem (Gambar 2) dirancang untuk memutus beban non-prioritas secara otomatis jika total arus terpakai melebihi batas 5.5 Ampere, dan mengirim notifikasi peringatan saat mencapai 5 Ampere.

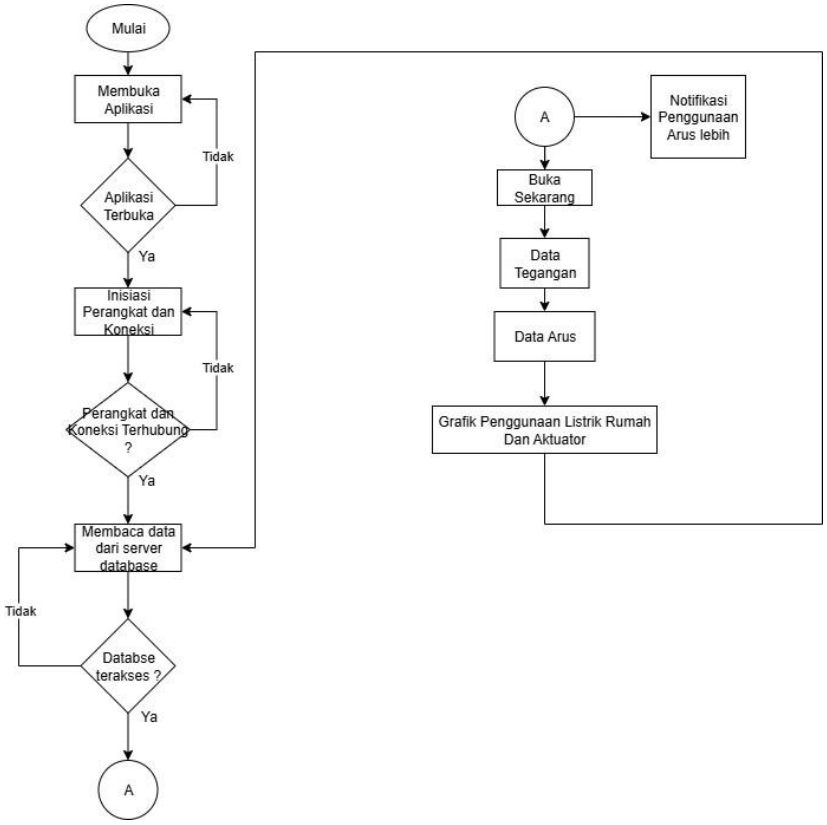


Gambar 2. Diagram Blok

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 3. Flowchart Sistem



Gambar 4. *Flowchart* Aplikasi

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

2.3. Pengujian Sistem

Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi fungsionalitas dan kinerja sistem secara komprehensif. Pengujian mencakup beberapa aspek, yaitu:

Pengujian akurasi Sensor Tegangan ZMPT101B.
Pengujian akurasi Sensor Arus ACS712.
Pengujian fungsionalitas Modul Relay.
Pengujian Aplikasi Monitoring dan Notifikasi.
Pengujian Kinerja Jaringan (Delay & Packet Loss).
Pengujian Sistem Keseluruhan (Otomatisasi Manajemen Beban).

2.4. Analisis Data

Analisis data kinerja komunikasi dilakukan untuk mengukur delay dan packet loss menggunakan software Wireshark. Delay dihitung dengan mengukur selisih waktu antara pengiriman permintaan HTTP dan penerimaan respons (HTTP/1.1 200 OK). Pengujian ini mencakup dua jalur: (1) dari Smartphone ke ESP32 untuk perintah kontrol, dan (2) dari ESP32 ke server ThingSpeak untuk pengiriman data sensor. Packet loss dihitung 0% jika semua permintaan mendapat respons 200 OK.

3. Hasil dan Pembahasan

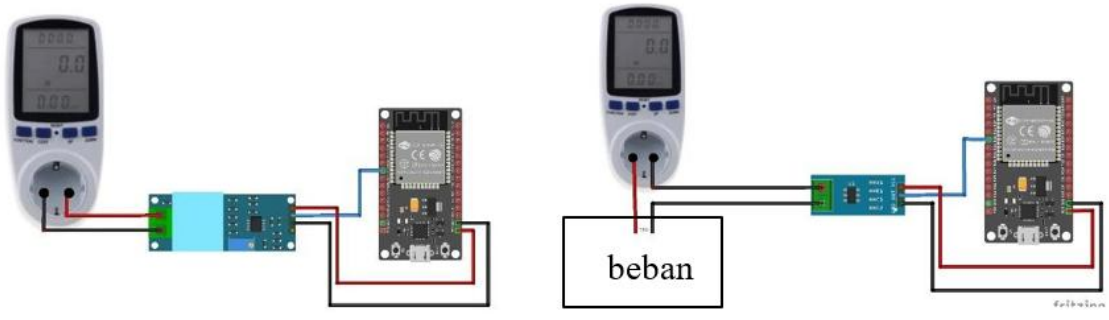
Pada tahap ini, dilakukan evaluasi terhadap hasil pengujian alat dan sistem yang telah dirancang sebelumnya . Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa perangkat dan sistem dapat berfungsi sesuai dengan spesifikasi dan fungsionalitas yang telah ditentukan dalam perancangan.

Pengujian dibagi menjadi beberapa kelompok untuk mengevaluasi kondisi sistem secara sistematis:

a. Pengujian akurasi sensor,
b. Pengujian stabilitas komunikasi data (delay dan packet loss), dan
c. Pengujian fungsionalitas sistem keseluruhan, termasuk manajemen beban otomatis

3.1. Pengujian Akurasi Sensor

Pengujian akurasi sensor sangat krusial untuk memastikan data yang dibaca oleh mikrokontroler valid dan sesuai dengan kondisi kelistrikan yang sebenarnya. Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai keluaran sensor ZMPT101B (Tegangan) dan ACS712 (Arus) secara langsung dengan alat ukur standar AVOmeter digital . Skema pengukuran untuk kedua sensor ditunjukkan pada Gambar [X] dan [Y].



(a) (b)

Gambar 5. (a) *Pengukuran ZMPT101B* (b) *Pengukuran ACS712*

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Hasil rata-rata dari pengujian akurasi sensor dirangkum pada Tabel 2 dan 3.

Tabel 2. Data Hasil Pengujian Akurasi Sensor ZMPT101b

No	Alat Pengukur	Sensor ZMPT101b	Selisih	Error (%)
1	228.5	227.3	1.2	0.52%
2	228.8	227.5	1.3	0.57%
3	228.6	227.4	1.2	0.52%
4	228.7	227.35	1.35	0.59%
5	228.5	227.3	1.2	0.52%
6	228.3	227.2	1.1	0.48%
7	228.8	227.5	1.3	0.57%
8	228.1	227.3	0.8	0.35%
	Rata-rata	227.38	1.21	0.52%

Berdasarkan Tabel 2, dapat diamati bahwa sensor tegangan ZMPT101B memiliki akurasi yang sangat tinggi. Dengan perbandingan terhadap AVOmeter, rata-rata error pembacaan hanya 0.52%. Hal ini menunjukkan sensor tegangan bekerja dengan presisi yang sangat baik.

Tabel 3. Data Hasil Pengujian Akurasi Sensor ACS712

No	Beban	Alat Pengukur	Sensor ACS712	Selisih	Error (%)
1	Lampu Bohlam 20W	0.09	0.10	0.01	11.1
2	Kipas Angin 50W	0.22	0.24	0.02	9.1
3	Laptop 65 W	0.28	0.30	0.02	7.1
4	Charger HP 25W	0.11	0.12	0.01	9.1
5	Lampu 100W	1.43	1.46	0.03	2.0
Rata-rata Selisih				0.018	7.7%

Untuk sensor arus ACS712, hasil pengujian menunjukkan rata-rata error sebesar 7.7%. Meskipun terdapat selisih, nilai error ini masih dapat diterima (acceptable) untuk aplikasi pemantauan konsumsi daya dan sistem manajemen beban pada level rumah tangga dan UKM, di mana presisi tinggi hingga satuan miliampere tidak menjadi faktor kritis.

3.2. Pengujian Stabilitas Komunikasi Data (Delay dan Packet Loss)

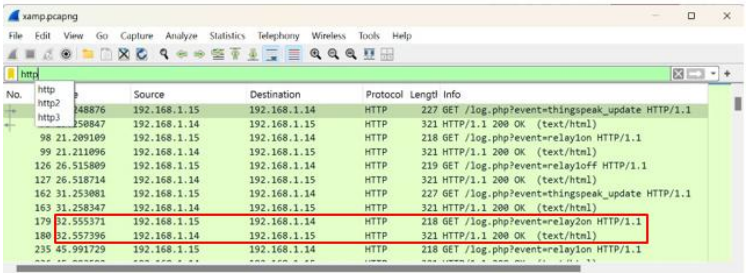
Sensor terbukti akurat, pengujian dilanjutkan untuk memastikan data dapat dikirim dan diterima secara andal (reliable) melalui jaringan WiFi. Sistem IoT yang responsif membutuhkan delay (waktu tunda) yang rendah dan packet loss (kehilangan data) 0%. Pengujian ini menggunakan software Wireshark.

Pengujian dilakukan pada dua jalur komunikasi utama:

Jalur Kontrol: Perintah dari Smartphone (aplikasi) ke ESP32.

Jalur Monitoring: Pengiriman data dari ESP32 ke database cloud (ThingSpeak).

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 6. Hasil *Capture Wireshark*

Tabel 4.Pengujian Stabilitas Komunikasi Data (Delay & Packet Loss)

No	Perintah	Delay (ms)	Packet Loss	Keterangan
1	GET /relay2off	1.9	HTTP/1.1 200 OK	Relay non-prioritas dimatikan
2	GET /relay2on	2.0	HTTP/1.1 200 OK	Relay non-prioritas dinyalakan
3	GET /relay2off	2.2	HTTP/1.1 200 OK	Perintah ulang matikan non-prioritas
4	GET /relay2on	1.8	HTTP/1.1 200 OK	Perintah ulang nyalakan non-prioritas
5	GET /relay2off	2.1	HTTP/1.1 200 OK	Relay non-prioritas dimatikan kembali

No	**Waktu Pengiriman (detik)**	**Delay (ms)**	**Packet Loss**
1	15.248	1.97	HTTP/1.1 200 OK
2	21.209	1.99	ITTP/1.1 200 OK
3	26.515	2.90	ITTP/1.1 200 OK
4	31.253	5.27	HTTP/1.1 200 OK
5	32.555	2.02	HTTP/1.1 200 OK
6	45.991	1.86	HTTP/1.1 200 OK
7	47.722	1.87	ITTP/1.1 200 OK
8	52.129	1.82	ITTP/1.1 200 OK
9	65.014	2.02	HTTP/1.1 200 OK
10	66.159	2.18	ITTP/1.1 200 OK

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

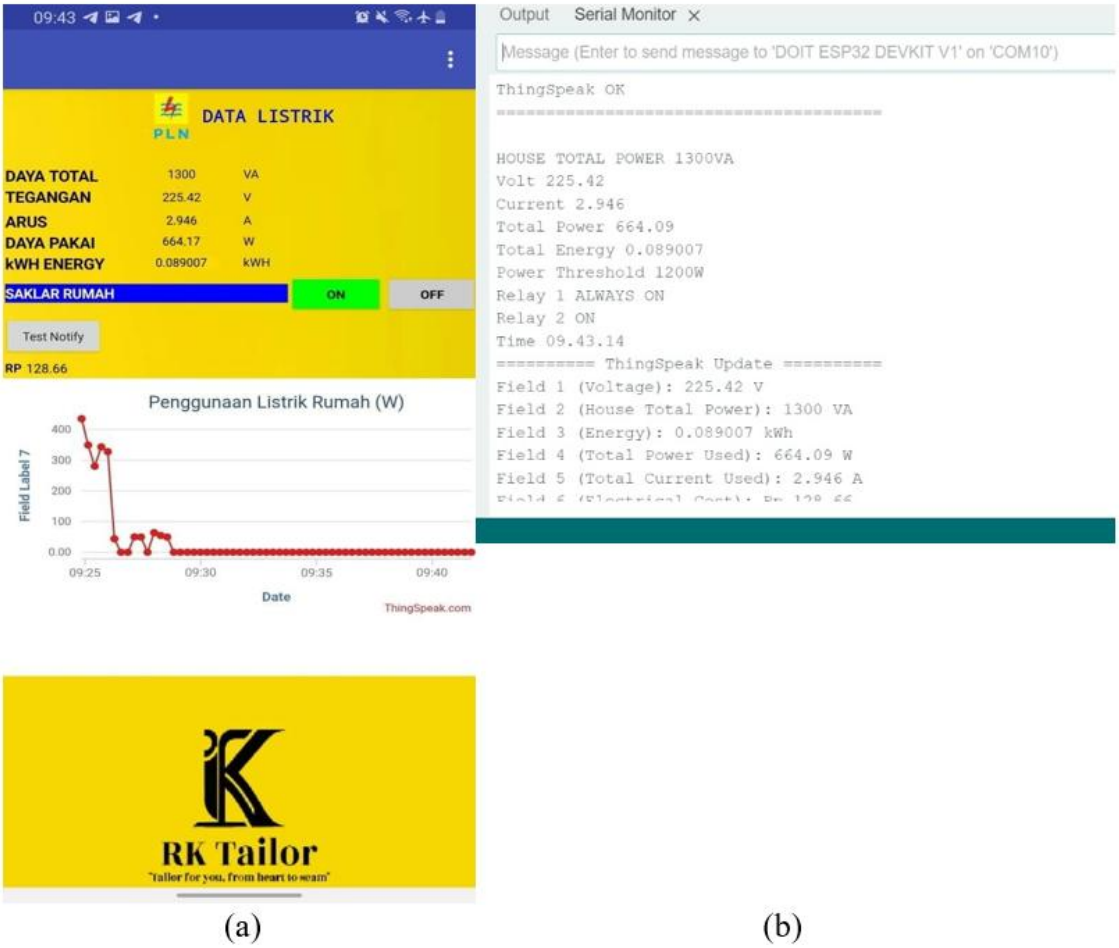
Hasil pada Tabel 4 menunjukkan kinerja jaringan yang sangat baik. Delay untuk mengontrol alat (Smartphone ke ESP32) hanya berkisar 1.8 ms hingga 2.2 ms, yang terasa instan bagi pengguna . Delay untuk mengirim data monitoring (ESP32 ke ThingSpeak) juga sangat rendah, berkisar 1.82 ms hingga 5.27 ms.

3.3. Pengujian Fungsionalitas Sistem Keseluruhan

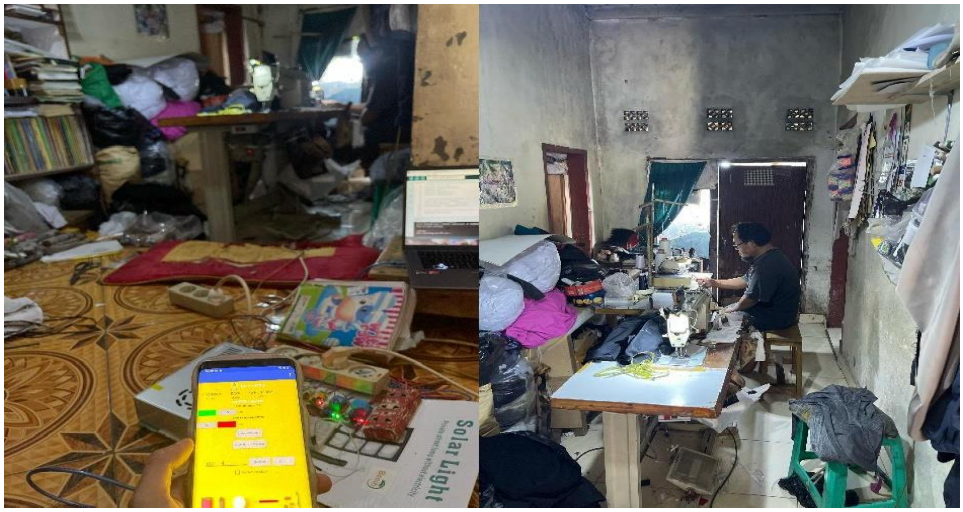
Ini adalah pengujian utama untuk memvalidasi fungsi inti alat: manajemen beban otomatis di lokasi UKM Konveksi. Pengujian ini memastikan aplikasi dan logika otomatisasi pada ESP32 bekerja sesuai skenario yang dirancang.

a. Fungsionalitas Aplikasi dan Notifikasi Pengujian antarmuka aplikasi (dibuat dengan MIT App Inventor) menunjukkan semua fungsionalitas bekerja:

Dashboard: Aplikasi berhasil menampilkan data real-time (Tegangan, Arus, Daya) yang dikirim dari ESP32 melalui ThingSpeak. Data yang tampil terverifikasi sesuai dengan data pada Serial Monitor.
Notifikasi: Sistem dirancang untuk memberi peringatan pada 5 Ampere. Saat pengujian beban mencapai 5A, aplikasi berhasil menampilkan notifikasi pop-up "PERINGATAN!!! Arus Mencapai 5A Matikan Peralatan Rumah"



Gambar 7 (a) Perbandingan Saklar dan Data Listrik pada Aplikasi (b) dan Serial Monitor



Gambar 8 Tempat pelaku UKM Menjahit

b. Manajemen Beban Otomatis (Uji Skenario) Sistem diprogram dengan batas arus maksimum (Threshold) sebesar 5.5 Ampere. Jika total arus melebihi batas ini, sistem akan otomatis memutus beban Non-Prioritas (Rumah Tangga) untuk menyelamatkan beban Prioritas (Mesin Jahit).

Tabel 5. Skenario 1: Pengujian Otomatisasi

Pengujian	Spesifikasi	Kondisi	Max Data Hasil	Keterangan
2 Mesin Jahit (Prioritas)	2.4+2.4A	ON/Operasi	225.31V 4.94A	Saklar Non prioritas masih menyala
Teko Listrik (Non Prioritas)	1.5A	ON		
Lampu	0.4A	ON		<5.5A

Pada skenario pertama (Tabel 5), 2 Mesin Jahit (Prioritas) dioperasikan bersamaan dengan Teko Listrik dan Lampu (Non-Prioritas). Total arus terukur adalah 4.94 A. Karena 4.94A berada di bawah batas 5.5A, sistem mengidentifikasi kondisi ini sebagai "Beban Aman". Hasilnya, Saklar Non-Prioritas (Listrik Rumah) tetap menyala (ON), sesuai dengan rancangan.



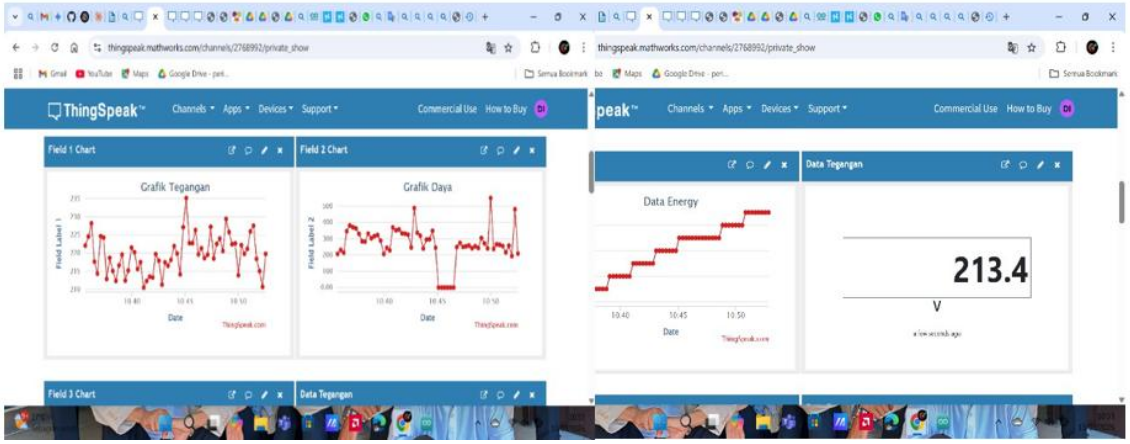
Gambar 9 Notifikasi peringatan

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Tabel 6. Skenario 2: Pengujian Otomatisasi

Pengujian	Spesifikasi	Kondisi	Max Data Hasil	Keterangan
2 Mesin Jahit (Prioritas)	2.4+2.4A	ON/Operasi	221.37V 5.53A	Saklar Non prioritas mati >5.5A
Lampu	0.4A	ON		
Setrika	2A	ON		

Pembahasan Skenario 2: Pada skenario kedua (Tabel 4), beban non-prioritas diganti dengan Lampu dan Setrika. Kombinasi beban ini menyebabkan total arus keseluruhan melonjak menjadi 5.53 A. Nilai ini terdeteksi telah melampaui batas maksimum 5.5A. Akibatnya, sistem secara otomatis mengeksekusi perintah untuk memutus terminal Non-Prioritas (Saklar Mati). Terminal prioritas (Konveksi Menjahit) tetap beroperasi dengan stabil tanpa gangguan.



Gambar 10 *Thingspeak* Pengujian Mesin Jahit

Temuan ini membuktikan bahwa sistem manajemen beban berhasil berfungsi sesuai rancangan. Sistem mampu mencegah pemadaman listrik total (MCB trip) akibat kelebihan beban dengan memprioritaskan operasional UKM.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian sistem, dapat ditarik kesimpulan bahwa alat monitoring dan manajemen penggunaan listrik berbasis IoT ini berhasil dirancang dan diimplementasikan. Sistem yang dirancang berhasil memonitor penggunaan daya listrik secara real-time menggunakan sensor ZMPT101b (error 0.52%) dan sensor ACS712 (error 7.7%), yang datanya ditampilkan melalui aplikasi mobile berbasis MIT App Inventor. Pengelolaan beban listrik dengan sistem pemisahan antara beban prioritas (usaha) dan non-prioritas (rumah tangga) berhasil dilakukan secara otomatis menggunakan relay yang dikontrol oleh ESP32 pada threshold 5.5 Ampere. Hal ini terbukti mampu mencegah pemadaman akibat kelebihan daya pada UKM konveksi. Aplikasi mobile dapat menampilkan informasi secara jelas, serta didukung oleh komunikasi data yang stabil dengan delay sangat rendah (berkisar 1.82 ms hingga 5.27 ms) dan packet loss 0%, sehingga sistem ini efektif membantu pengguna dalam mengelola konsumsi listrik secara efisien dan responsif.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Ucapan Terima Kasih

Segala puji dan syukur penulis haturkan kepada Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Garut, serta semua pihak yang telah memberikan dukungan dan kerja sama selama proses penelitian ini berlangsung.

Referensi

[1] D. and E. Osebo, "Finance and Management Scholar at Riphah International University Islamabad, Pakistan, Faculty of Management Sciences," Res. J. Financ. Account., vol. 10, no. No 1, pp. 7-15, 2019, doi: 10.7176/RJFA.

[2] R. Alshahrani, A. Rizwan, M. A. Alomar, and G. Fotis, "IoT-Based Sustainable Energy Solutions for Small and Medium Enterprises (SMEs)," Energies, vol. 17, no. 16, 2024, doi: 10.3390/en17164144.

[3] Humas Kementerian Koperasi dan UKM, "KemenKopUKM Gelar Business Matching UKM Unggulan dengan Mitra Potensial Lokal dan Global," Kementerian Koperasi dan UKM Republik Indonesia.

4] M. N. Rofiq, W. Hidayat, and B. Prabawani, "Analisis Eko-Efisiensi Pada Usaha Kecil Dan Menengah (Ukm) Tahu Tamyiz Di Kabupaten Kendal," J. Ilmu Adm. Bisnis, vol. 12, no. 1, pp. 218-228, 2023, [Online].*didik. Guru Sekol. Dasar*, vol. 6, no. August, p. 128, 2016.

[5] D. A. Putra and R. Mukhaiyar, "Monitoring Daya Listrik Secara Real Time," Voteteknika (Vocational Tek. Elektron. dan Inform., vol. 8, no. 2, p. 26, 2020, doi: 10.24036/voteteknika.v8i2.109138.

ID: 51

Rancang Bangun Sistem Monitoring Tekanan Darah Dengan Sensor MPX5050DP

Design and Build Of A Blood Pressure Monitoring System With MPX5050DP Sensor

Aulia Adawiyah [1], Hijayati Apriliani [2], Helfy Susilawati [3], Tri Arif Wiharso [4]
[1,2,3,4] Fakultas Teknik, Universitas Garut
Jl. Jati No. 42B Tarogong, Garut 44151 – Jawa Barat – Indonesia
hijayatiapriliani@gmail.com[2]

Abstrak – *Monitoring tekanan darah merupakan kebutuhan yang penting didalam layanan kesehatan, terutama untuk mendeteksi kondisi hipertensi secara dini. Dalam penelitian yang dilakukan, dirancang sebuah sistem monitoring tekanan darah dengan sensor Pulse heart, sensor MPX5050DP, dan sensor fingerprint AS608 yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32. Sistem ini bertujuan untuk mengukur tekanan sistole dan diastole, menyimpan data riwayat pengukuran ke database web, dan menampilkan hasilnya di layar OLED dan website. Pengambilan identifikasi pasien dilakukan menggunakan sensor fingerprint untuk pengambilan data identitas agar tidak sama. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki rata-rata error 2,05% untuk tekanan sistole dan 2,07% untuk tekanan diastole setelah regresi. Identitas pasien berhasil dideteksi oleh sensor fingerprint dengan keberhasilan pada 13 orang. Data hasil pengukuran dapat dikirim ke database serta ditampilkan di website dengan klasifikasi tekanan darah yang sesuai. Kesimpulannya, sistem yang dirancang mampu melakukan pengukuran tekanan darah. Dengan integrasi sensor dan konektivitas berbasis web, sistem ini diharapkan dapat memberikan solusi praktis untuk layanan kesehatan yang lebih baik, khususnya dalam pemantauan tekanan darah*

Kata Kunci*: Pulse Heart, MPX5050DP, Fingerprint, Website*

Abstract – *Blood pressure monitoring is an important need in health services, especially for early detection of hypertension. In the research, a blood pressure monitoring system was designed with a Pulse heart sensor, MPX5050DP sensor, and AS608 fingerprint sensor integrated with an ESP32 microcontroller. This system aims to measure systolic and diastoleic pressure, save measurement history data to a web database, and display the results on an OLED screen and website. Patient identification is carried out using a fingerprint sensor to retrieve identity data so that it is not the same. The test results show that the system has an average error of 2.05% for systolic pressure and 2,07% for diastoleic pressure after regression. Patient identity was successfully detected by the fingerprint sensor in 13 people. Measurement data can be sent to the database and displayed on the website with the appropriate blood pressure classification. In conclusion, the designed system is capable of measuring blood pressure. With the integration of sensors and web-based connectivity, this system is expected to provide a practical solution for health services, especially in blood pressure monitoring.*

Keywords*: Pulse Heart, MPX5050DP, Fingerprint, Website*

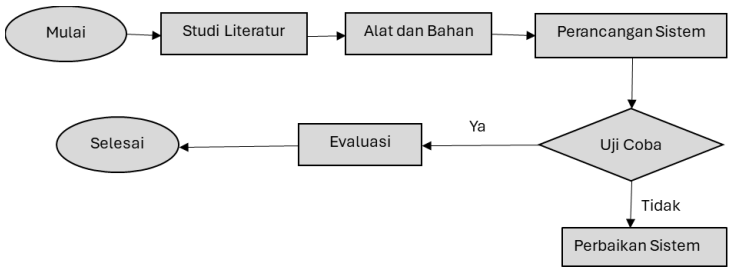
1. Pendahuluan

Tekanan yang dihasilkan oleh darah disebut dengan tekanan darah. Tekanan darah dibagi menjadi dua yaitu, tekanan darah sistole atau tekanan darah yang terjadi dengan rata-rata 120 mmHg. Kedua, tekanan diastole atau tekanan darah yang terjadi dengan rata-rata 80 mmHg[1]. Perubahan tekanan pada darah menyebabkan timbulnya penyakit seperti, tekanan darah tinggi (hipertensi) dan tekanan darah rendah (hipotensi)[2].

Tensimeter merupakan salah satu alat untuk mengukur tekanan pada manusia, dimana tensimeter ini terdiri dari tensimeter analog dan tensimeter digital[3]. Pada tensimeter analog penentuan nilai tekanan darah bergantung pada keahlian pengguna sementara pada tensimeter digital pengukuran nilai dilakukan berdasarkan metode oscillometry dengan menggunakan sensor tekanan sebagai transduser mendeteksi tekanan darah[4]. Melakukan monitoring tekanan darah secara rutin sangat penting untuk mengetahui nilai tekanan darah pada tubuh, biasanya monitoring tekanan darah dilakukan di posyandu yang merupakan pelayanan kesehatan di tingkat desa [5]. Berdasarkan hasil observasi di posyandu Desa Talagasari pengukuran tekanan darah diukur secara manual menggunakan tensi meter aneroid dengan pencatatan hasil pengukuran masih dilakukan dengan dengan cara mencatat yang mana akan berisiko lupa menyimpan atau kehilangan data yang direkam sebelumnya bahkan rusak. Sehingga petugas posyandu membutuhkan alat pendeteksi tekanan darah otomatis yang pencatatan data secara langsung tersimpan di database dan dapat di akses di website untuk memonitoring riwayat darah.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini Adalah sebagai berikut:



Gambar 1. *Flowchart* penelitian

2.1. Studi Literatur

Penelitian mengenai sistem monitoring tekanan darah telah banyak dilakukan dengan berbagai jenis sensor dan platform mikrokontroler. Panca Muji Sulistyawan (2021) merancang sistem pemantau tekanan darah berbasis sensor MPX5100GP dan mikrokontroler STM32F103 yang menampilkan hasil di layar LCD. Austin Yulius Darmawan dkk. (2022) mengembangkan tensimeter digital menggunakan sensor MPX5050DP dengan pengiriman data ke pusat monitoring secara nirkabel. Sementara itu, Aprilia Sulista dkk. (2021) merancang alat berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan sensor MPX5700AP untuk memantau tekanan darah melalui website.

Dari kajian literatur tersebut, dapat disimpulkan bahwa sebagian besar penelitian sebelumnya belum mengintegrasikan identifikasi pasien secara otomatis dan penyimpanan data riwayat tekanan darah berbasis web. Oleh karena itu, penelitian ini merancang sistem monitoring tekanan darah menggunakan sensor MPX5050DP, sensor Pulse Heart, dan sensor Fingerprint AS608 yang dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32. Sistem ini tidak hanya mengukur tekanan sistole dan diastole, tetapi juga menyimpan data ke dalam database yang dapat diakses secara online untuk membantu petugas kesehatan dalam memantau kondisi pasien secara berkelanjutan.

2.2. Alat dan Bahan

a. Alat

Pada penelitian ini, laptop/pc digunakan untuk memprogram komponen-komponen yang digunakan dalam perancangan.

b. Bahan

c.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

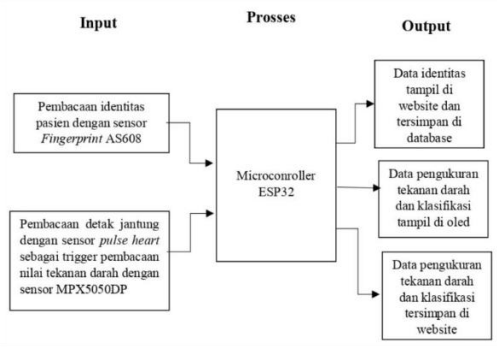
Tabel 1. Komponen yang digunakan

No	Perangkat Keras dan Perangkat Lunak	Keterangan
1	ESP32	ESP32 merupakan mikrokontroler yang penerus dari mikrokontroler ESP8266 terpadu dengan dilengkapi WiFi, Bluetooth, terdapat prosesor, penyimpanan dan akses pada GPIO (General Purpose Input Output).
2	Fingerprint AS608	Modul sensor fingerprint AS608 tersusun dari sensor optic sidik jari, prosesor DSP, dan memori flash yang telah mengintegrasikan algoritma pengenalan sidik jari. Sensor ini bekerja dengan memindai dan menganalisis garis, dan celah pada pola sidik jari seseorang untuk memastikan identitasnya.
3	Sensor Pulse Heart	Sensor pulse Sensor bekerja berdasarkan prinsip photoplethysmograph, di mana penggambaran gelombang pulsa disebut sebagai photoplethysmogram (PPG) dan merespons perubahan intensitas cahaya.
4	Sensor Mpx5050DP	Prinsip kerja sensor tekanan MPX5050DP yaitu mengubah tekanan mekanis menjadi sinyal listrik. Sensor ini termasuk sensor analog, dimana output berupa tegangan yang harus dikonversi dalam satuan tekanan Kpa.
5	Motor DC	Motor DC bekerja dengan prinsip electromagnet, dimana mengubah tenaga listrik menjadi tenaga mekanis.
6	Selenoid Valve	Solenoid terdiri dari kumparan dilengkapi inti besi yang dapat bergerak dan mengubah sinyal listrik.
7	Relay	Relay bekerja dengan prinsip elektromagnetik, dimana sejumlah kontak yang terorganisir dapat digerakan dengan memanfaatkan tenaga listrik sebagai sumber energi.
8	OLED 0,9" 12C	Layar grafis 0.96 inci yang memiliki resolusi 128x64 dan mendukung komunikasi serial I2C.

2.3. Diagram Blok

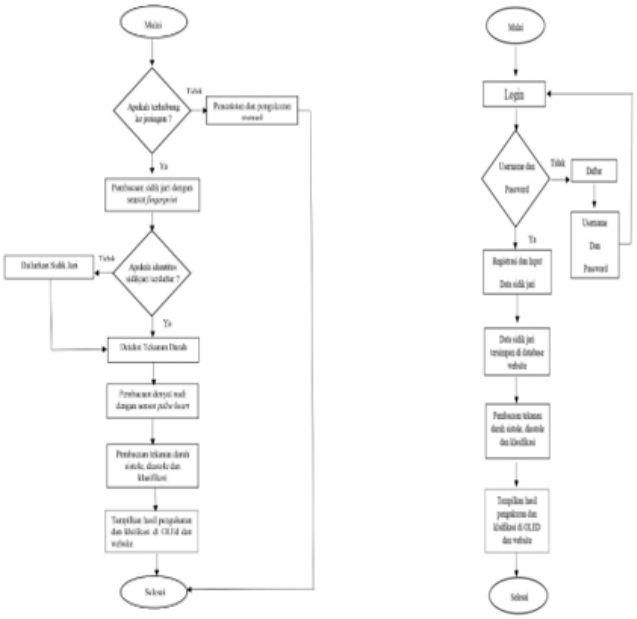
Berikut blok diagram dan flowchart sistem kerja alat monitoring tekanan darah dengan sensor MPX5050DP:

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 2. Diagram Blok

Gambar 2 merupakan blok diagram proses, dengan input berupa sensor fingerprint AS608 untuk mendeteksi identitas pasien, sensor pulse heart sebagai trigger saat sensor MPX5050DP melakukan pembacaan nilai tekanan darah. Input kemudian diproses oleh mikrokontroler ESP 32 dan menghasilkan output berupa data identitas yang tersimpan di database serta hasil pembacaan nilai tekanan yang tampil pada layar OLED dan website.



Gambar 3. Flowchart ESP32 dan Website

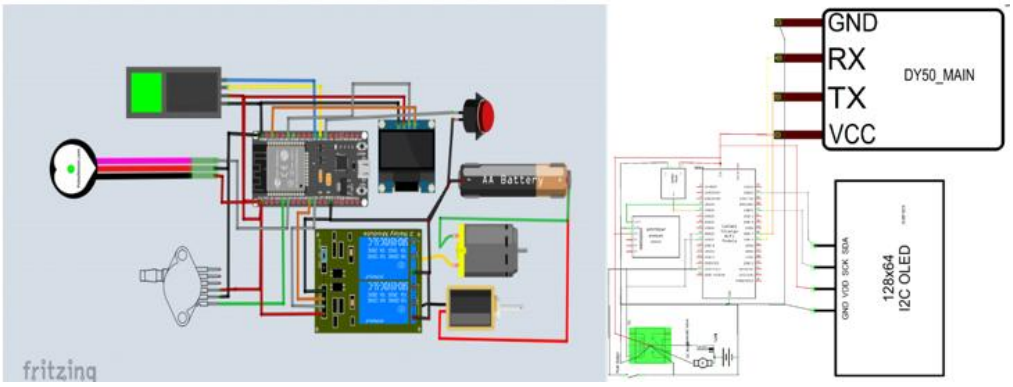
Flowchart pada gambar 3 di atas menjelaskan sistem kerja tensimeter digital berbasis ESP 32, termasuk proses pengiriman data ke website. Pada tahap awal, jika ESP 32 tersambung ke jaringan internet, proses dimulai dengan pengambilan identitas pasien menggunakan sensor sidik jari AS608 untuk membaca sidik jari. Jika data sidik jari pasien sudah terdaftar di database, informasi tersebut akan ditampilkan di website dan tersimpan di database. Namun, jika sidik jari belum terdaftar, pendaftaran sidik jari perlu dilakukan terlebih dahulu. Setelah identitas pasien terverifikasi, sensor pulse heart mendeteksi denyut nadi yang digunakan sebagai pemicu dalam pengukuran tekanan darah. ESP 32 kemudian mengolah data dari sensor tekanan MPX5050DP untuk menghitung tekanan darah sistole dan diastole. Nilai tekanan darah ini ditampilkan di OLED beserta klasifikasi tekanan darah dan dikirimkan ke website untuk disimpan di database. Dalam proses pengiriman data ke website, petugas harus melakukan login menggunakan username dan password pada komputer yang tersambung ke jaringan internet yang sama dengan ESP 32. Data pengukuran tekanan darah pasien tersimpan di database website. Namun, jika alat

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

tidak terkoneksi ke internet, proses pengukuran tekanan darah, pencatatan data, dan pendataan identitas pasien dilakukan secara manual.

2.4. Perancangan Sistem

a. Skematik Rangkaian

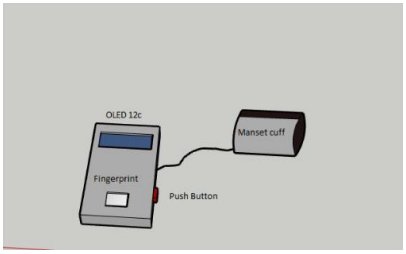


Gambar 4. Skematik Rangkaian

Alat tensimeter ini bekerja dengan menggunakan sensor fingerprint AS608 yang akan mendeteksi identitas pasien dan sensor MPX5050DP berfungsi untuk mengukur nilai tekanan darahnya. Saat alat terhubung ke internet maka data hasil dari inputan akan tersimpan di dalam sebuah database dan akan ditampilkan pada website. Nilai hasil pengukuran tekanan darah beserta klasifikasi tekanan darah pada pasien akan ditampilkan di LCD dan tersimpan ke website. Di bawah ini merupakan keterangan mengenai GPIO PIN yang digunakan untuk menghubungkan antar komponen:

- GPIO PIN data 1 MPX5050DP → GPIO PIN 34 ESP32
- GPIO PIN IN 1 Relay → GPIO PIN 26 ESP32
- GPIO PIN IN 2 Relay → GPIO PIN 27 ESP32
- GPIO PIN RX Fingerprint → GPIO PIN 16 ESP32
- GPIO PIN TX Fingerprint → GPIO PIN 17 ESP32
- GPIO PIN SDA Oled I2C → GPIO PIN 22 ESP32
- GPIO PIN SCK Oled I2C → GPIO PIN 21 ESP32
- GPIO PIN NO Relay → GPIO PIN GND ESP32
- GPIO PIN COM Relay → GPIO PIN GND Solenoid dan Pompa
- GPIO PIN Button Power → GPIO PIN 10 ESP32
- Baterai → GPIO PIN VCC ESP32 dan GPIO PIN GND ESP32

b. Desain Alat



Gambar 5. Desain Alat

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Alat tensimeter ini merupakan alat yang dirancang untuk mendeteksi tekanan darah. Posyandu pada umumnya mengukur tekanan darah menggunakan alat tensimeter dengan output berupa nilai sistole dan diastole yang muncul di layar LCD saja dan data dicatat secara manual sedangkan kelebihan dari alat ini yaitu dapat mendeteksi tekanan darah diastole, sistole beserta klasifikasi yang outputnya muncul di LCD dan tersimpan di database website. Selain itu, alat ini dapat mendeteksi identitas pasien di posyandu melalui deteksi sidik jari dan data tersimpan secara otomatis. Alat ini terdiri dari:

1) Box komponen, digunakan untuk menyimpan semua komponen yang digunakan.
2) Push button, digunakan sebagai saklar untuk menyalakan atau mematikan alat.
3) OLED I2C, digunakan untuk menampilkan output dari data yang telah diproses.
4) Fingerprint, digunakan untuk mendeteksi identitas diri melalui perekaman sidik jari.
5) Manset tensi, digunakan untuk memompa tekanan darah yang di lilitkan melalui lengan atas pergelangan tangan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Pengujian Sensor MPX5050DP

Table dibawah ini merupakan data hasil pengujian sebelum regresi pada sensor MPX5050DP.

Tabel 2. Hasil Pengukuran sensor MPX5050DP

ID	Nama	Hasil Tensimeter Rancangan (Mmhg)		Klasifikasi	Hasil Tensimeter Aneroid (Mmhg)		Error %	
		Sys	Dys		Sys	Dys	Sys	Dys
7	Ida	154,21	107,15	Hipertensi	152	106	1,5%	1,1%
15	Iyam	134,74	101,5	Hipertensi	132	98	2,1%	3,4%
10	Diran	141,78	103,54	Hipertensi	138	100	2,7%	3,5%
2	Titi	130,93	98,33	Hipertensi	128	96	2,3%	2,4%
8	Idah	129,53	94,65	Hipertensi	126	92	2,8%	2,8%
22	Fatimah	132,16	97,36	Hipertensi	128	98	3,3%	0,7%
16	Noneng	142,24	98,86	Hipertensi	136	94	4,6%	4,9%
9	Istikomah	134,72	95,24	Hipertensi	132	96	2,1%	0,8%
13	Kosim	132,23	92,36	Hipertensi	126	88	4,9%	5,0%
6	Ranti	122,61	97,38	Hipertensi	122	94	0,5%	3,6%
17	Dede	124,31	100,25	Hipertensi	124	98	0,3%	2,2%
5	Arif	127,32	98,47	Hipertensi	122	96	4,4%	2,6%
12	Atin	124,96	96,79	Hipertensi	124	94	0,8%	3,0%
Rata-rata Error							2,47 %	2,77 %

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Pada Tabel 2, hasil data pengujian dengan membandingkan hasil pengukuran tensimeter sensor MPX5050DP dengan tensimeter aneroid sebelum dilakukan regresi didapatkan persentase error nilai tekanan untuk sistole dan diastole sebesar 2.47% dan 2,77%.

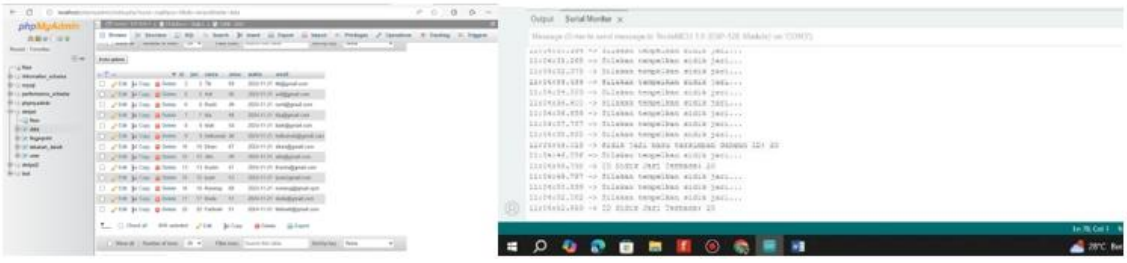
Tabel 3 Hasil Pengukuran sensor MPX5050DP setelah Regresi

ID	Nama	Hasil Tensimeter Rancangan (Mmhg)		Klasifikasi	Hasil Tensimeter Aneroid (Mmhg)		Error %	
		Sys	Dys		Sys	Dys	Sys	Dys
7	Ida	154,1	107,12	Hipertensi	152	106	1,4%	1,1%
15	Iyam	133,48	101,2	Hipertensi	132	98	1,1%	3,3%
10	Diran	141,48	101,18	Hipertensi	138	100	2,5%	1,2%
2	Titi	130,13	97,22	Hipertensi	128	96	1,7%	1,3%
8	Idah	128,92	107,12	Hipertensi	126	92	2,3%	2,4%
22	Fatimah	132	101,2	Hipertensi	128	98	3,1%	1,7%
16	Noneng	142,19	101,18	Hipertensi	136	94	4,6%	2,6%
9	Istikomah	134,43	97,22	Hipertensi	132	96	1,8%	1,6%
13	Kosim	132,8	107,12	Hipertensi	126	88	5,4%	2,7%
6	Ranti	122,28	101,2	Hipertensi	122	94	0,2%	1,4%
17	Dede	123,95	101,18	Hipertensi	124	98	0,0%	3,3%
5	Arif	124,9	97,22	Hipertensi	122	96	2,4%	2,6%
12	Atin	124,25	107,12	Hipertensi	124	94	0,2%	1,9%
Rata-Rata Error							2,05%	2,07 %

Pada Tabel 3, hasil data pengujian tekanan darah setelah dilakukan regresi dengan membandingkan tensimeter yang menggunakan sensor MPX5050DP dan tensimeter aneroid. Dari hasil pengujian diperoleh persentase error nilai tekanan sistole dan tekanan diastole 2.05% dan diastole 2,07%.

3.2. Hasil Pengujian Dari Sensor Fingerprint AS608

Berikut ini merupakan hasil pengujian sensor Fingerprint untuk identitas pasien yang dilakukan pada 13 orang. Data sidikjari tersimpan di database dengan diberikan ID yang berbeda pada setiap sidikjari.



Gambar 4 Data sidik jari di database

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

3.3. Hasil Pengujian Website

Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa website yang dibuat telah berfungsi sesuai dengan yang diharapkan. Berikut ini data hasil pengujian website :

Tabel 4. Pengujian Blackbox testing website

No	Pengujian	Test Case	Hasil Yang Diharapkan	Hasil Pengujian	Kesimpulan
1.	Saat klik menu *login*	Klik menu *login*	Muncul kolom untuk *Login*	Sesuai yang diharapkan	Valid
2.	Saat klik menu daftar	Klik menu daftar	Masuk ke hala-man daftar	Sesuai yang di harapkan	Valid
3.	Saat klik *button login*	Klik *button login*	Masuk ke hala-man menu utama	Sesuai yang diharapkan	Valid
4.	Saat klik halaman register di halaman menu	Klik button register pengguna	Masuk ke register pengguna	Sesuai yang diharapkan	Valid
5.	Saat klik button daftar	Klik *button* daftarkan	Data terdaftarkan dan tersimpan di *database*	Sesuai yang diharapkna	Valid
6.	Saat klik menu *back*	Klik menu *back*	Kembali ke halaman menu utama	Sesuai yang diharapkan	Valid
7.	Saat klik *button* pengguna yang terdaftar	Klik *button* pengguna yang terdaftar	Masuk ke halaman pengguna yang terdaftar	Sesuai yang diharapkan	Valid
8.	Saat klik *button* data tekanan darah	Klik *button* data tekanan darah	Masuk ke halaman data tekanan darah	Sesuai yang diharapkan	Valid

4. Analisis Data

Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran alat rancangan terhadap tensimeter aneroid. Hasil menunjukkan rata-rata error sebesar 2,47% (sistole) dan 2,77% (diastole) sebelum kalibrasi, yang menurun menjadi 2,05% dan 2,07% setelah diterapkan regresi linier dan polinomial. Sensor fingerprint AS608 berhasil mengenali 13 data sidik jari dengan tingkat keberhasilan 100%, sedangkan sensor Pulse Heart berfungsi baik sebagai pemicu pembacaan tekanan darah.

Data hasil pengukuran berhasil dikirim ke database website dan ditampilkan pada layar OLED secara real-time. Secara keseluruhan, sistem bekerja stabil dengan tingkat akurasi yang baik dan layak digunakan untuk monitoring tekanan darah berbasis web.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

5. Kesimpulan

Pada penelitian ini, alat ukur tensimeter darah menggunakan ESP32 sebagai mikrokontrolernya, sensor pulse heart sebagai trigger mendeteksi denyut nadi dan sensor MPX5050DP untuk mendeteksi tekanan sistole dan diastole ketika mendeteksi denyut nadi saat manset melepaskan angin. Sensor fingerprint di tambahkan untuk memberikan identitas pada setiap pasien, hasil pengukuran nilai sistole dan diastole pada pengujian setelah regresi unuk persentase error nilai tekanan sistole 2,05% dan untuk diastole 2,07 % dengan klasifikasi tekanan darah hipertensi yang artinya tekanan darah sedang tinggi.

Ucapan Terima Kasih

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga jurnal ini dapat selesai. Penulis mengucapkan terima kasih sebesar- besarnya kepada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Garut, serta semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan selama penelitian ini.

Referensi

[1] A. Sulista, N. Nehru, and S. Fuady, “Rancang Bangun Alat Monitoring Tekanan Darah Berbasis Internet of Things (IoT),” J. Eng., vol. 3, no. 1, pp. 13–26, Jan. 2021, doi: 10.2243.v3i1.11666.

[2] Aniek Puspitosari dan Ninik Nurhidayah, “Pengaruh Progressive Muscle Relaxation Terhadap Tingkat Hipertensi Pada Middle Adulthood Di Desa Kemiri Kecamatan Kebakkramat Kabupaten Karanganyar,” J. Ilmu Kedokt. dan Kesehat. Indones., vol. 2, no. 2, hal. 1–5, 2022, doi: 10.55606/jikki.v2i2.274.

[3] Sholihudin Dwi Prihatono Tanjung, “Tensimeter Digital Berbasis Arduino Dengan Transfer Data Berbasis Android Melalui Bluetooth,” Fak. Tek. Progr. Stud. Tek. Elektro, Univ. Muhammadiyah Surakarta, p. 17, 2017.

[4] Jahirin and N. Ela, “Pengaruh Senam Jantung Sehat Terhadap Penurunan Tekanan Darah Lansia Yang Menderita Hipertensi Di Panti Sosial,” Heal. J. | J. Ilm. Kesehat. Ilmu Keperawatan, vol. VI, no. 2, pp. 19–28, 2018,

[5] R. Mutmainah, H. Susilawati, and S. Nurpadillah, “Monitoring Riwayat Tekanan Darah Lansia Di Posyandu Dengan Menggunakan Sensor MPX5700AP,” vol. 3, no. 1, pp. 45–54, 2023.

ID: 52

Rancang Bangun Prototype Pengangkut Sampah di Jembatan Menggunakan Sistem Kendali Mikrokontroler ESP8266 Dengan Aplikasi Blynk

Designing A Prototype Of A Waste Carrier On A Bridge Using An ESP8266 Microcontroller Control System With Blynk Application

Andika Muhammad Nur Kholiq[1], Fahreza Daniel Hermawan[2*], Helfy Susilawati[3]
[1,2,3]Jurusan Teknik Elektro Universitas Garut
Jl. Jati No. 42B Tarogong, Garut 44151 – Jawa Barat – Indonesia
fahrezadanielh@gmail.com[2]

Abstrak – *Perilaku masyarakat yang membuang sampah sembarangan merupakan salah satu tindakan yang dapat menyebabkan dampak yang negatif. Saat terjadi hujan dengan curah hujan yang tinggi, air akan meluap ke permukaan dan terjadilah banjir dikarenakan aliran air tesumbat oleh sampah. Hal ini biasanya diatasi dengan cara mengambil sampah langsung ke sungai. Mengambil sampah langsung ke sungai tentunya memiliki resiko yang besar terhadap keselamatan. Tujuan penelitian ini adalah Merancang prototype pengangkut sampah di jembatan menggunakan sistem kendali mikrokontroler ESP8266 dengan aplikasi Blynk. Sampah diangkat menggunakan konveyor sehingga masuk ke penampungan sampah. Penampungan sampah sudah tersedia ultrasonik untuk mengetahui penuh atau tidaknya penampungan. Saat penampungan penuh, user dapat mengetahuinya dari informasi aplikasi Blynk. Pada pengujiannya, hasil pembacaan jarak oleh ultrasonik jika kurang dari 12 cm, maka penampungan sudah dianggap penuh di suatu area. Error rata-rata dari pembacaan ultrasonik adalah sebesar 0,62 %. Pembacaan jarak oleh ultrasonik dimulai pada jarak 2 cm. Hal ini dikarenakan pembacaan ultrasonik saat kurang dari 2 cm kurang efektif. Pengujian keseluruhan menghasilkan persentase terbesar sampah yang dapat diangkut oleh konveyor adalah saat sampah memusat di satu area sungai. Persentase yang didapat sebesar 93,6%. Sedangkan saat keadaan sampah menyebar, sampah yang terangkat memiliki persentase yang lebih sedikit. Persentase terendahnya adalah sebesar 29%.*

Kata Kunci*: Pengangkut sampah, mikrokontroler ESP8266, aplikasi Blynk, ultrasonik, konveyor*

Abstract – *The behaviour of people who litter is one of the actions that can cause negative impacts. When it rains with high rainfall, water will overflow to the surface and flooding occurs because the flow of water is blocked by rubbish. This is usually solved by taking the rubbish directly to the river. Picking up rubbish directly into the river certainly has a great risk to safety. The purpose of this research is to design a prototype of waste carrier on the bridge using ESP8266 microcontroller control system with Blynk application. The garbage is lifted using a conveyor so that it enters the garbage container. The garbage container is available ultrasonic to know whether the container is full or not. When the bin is full, the user can know it from the Blynk application information. In the test, the results of distance reading by ultrasonic if less than 12 cm, then the shelter is considered full in an area. The average error of ultrasonic reading is 0.62%. Distance reading by ultrasonic starts at a distance of 2 cm. This is because ultrasonic readings when less than 2 cm are less effective. Overall testing results in the largest percentage of waste that can be transported by the conveyor is when the waste is centred in one river area. The percentage obtained was 93.6%. Meanwhile, when the garbage is spread out, the garbage that is lifted has a smaller percentage. The lowest percentage was 29%.*

Keywords*: Waste carrier, ESP8266 microcontroller, Blynk app, ultrasonic, conveyor*

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi saat ini semakin pesat dari tahun ke tahun. Teknologi digunakan dalam kehidupan manusia untuk mendapatkan berbagai kemudahan. Salah satunya adalah kemudahan dalam mencegah bencana yang disebabkan oleh manusia maupun alam. Bencana seperti banjir, tsunami, dan gempa bumi merupakan beberapa bencana yang sering terjadi di Indonesia. Perilaku masyarakat yang membuang sampah sembarangan merupakan salah satu tindakan yang dapat menyebabkan dampak yang negatif. Masyarakat di dekat sungai cenderung membuang sampah ke sungai. Hal ini dapat ditemui di sungai yang terletak di bawah Jembatan Citelu, Kecamatan Cilawu, Kabupaten Garut. Untuk membersihkan sampah di sungai ini, digunakan jaring sederhana yang disambung dengan bambu panjang. Tentunya saat mengambil sampah dengan jaring ini memiliki beberapa resiko. Resiko yang didapat dari mengambil sampah di sungai menggunakan jaring salah satunya adalah orang terjatuh saat jaring menyangkut pada tumbuhan atau benda di sungai. Selain itu dibutuhkan tenaga manusia yang lebih banyak jika sampah yang ada pada sungai banyak jumlahnya. Dapat diduga bahwa masalah dan resiko yang telah dipaparkan dapat di atasi menggunakan pengangkut sampah.

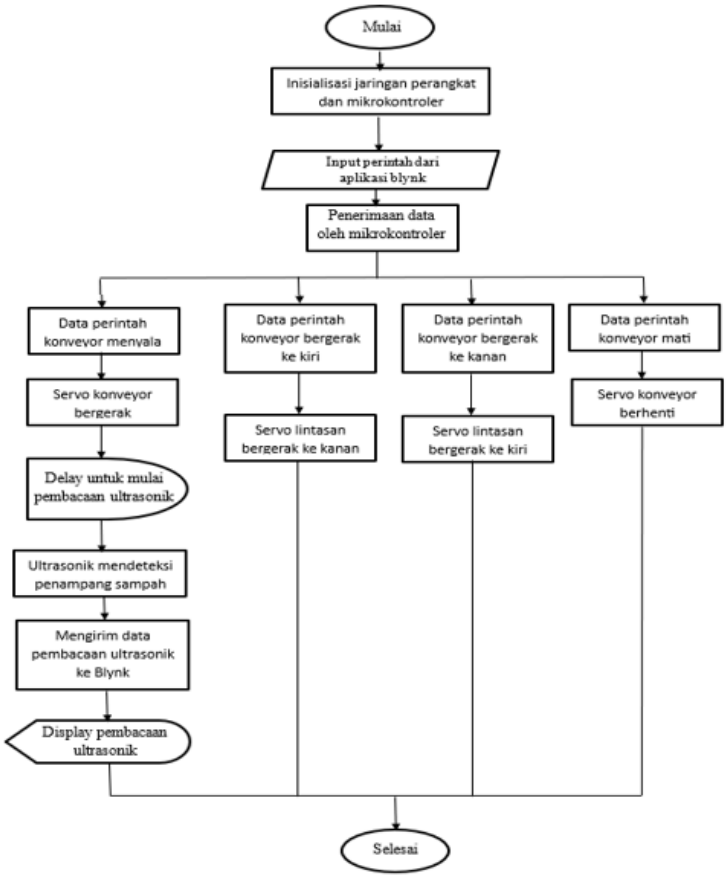
Pada penelitian sebelumnya yang sudah ada, pengambilan sampah ialah menggunakan pompa air. Air pada tepian sungai disedot dan masuk saringan sehingga dapat dipilah sampah dari air. Hal ini tentunya kurang efektif untuk membersihkan sampah yang mengambang di tengah sungai. Selain itu juga, penelitian lainnya terdapat pengangkut sampah menggunakan mikrokontroler *Arduino Uno* dan notifikasi menggunakan GSM SIM 800 L. Tentunya hal ini dirasa kurang efektif dikarenakan modul tersebut menggunakan pulsa yang harus diisi. Selain itu penelitian tersebut hanya terbatas dengan saluran air kecil atau gorong-gorong[1].

Model yang digunakan pada referensi sebagian besar adalah menggunakan sebuah perahu. Dimana untuk mengendalikannya dibutuhkan manusia yang bisa mengoperasikan perahu. Selain itu tentunya daya yang dibutuhkan lebih besar dikarenakan perahu memiliki cakupan jelajah yang lebih luas. Sehingga membutuhkan daya yang lebih besar dan waktu pengoperasian yang lebih lama. Sedangkan model yang diterapkan pada jembatan membutuhkan daya yang lebih sedikit karena hanya bergerak sesuai jalurnya, yaitu ke kiri dan ke kanan sepanjang lebar sungai. Sampah juga sering dijumpai di bawah jembatan dan menumpuk karena tertahan. Saat tidak digunakan, konveyor dapat diletakkan di tengah sungai dengan harapan sampah yang terbawa arus sungai dapat tertahan[2].

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini Adalah sebagai berikut:

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 1. *Flowchart* penelitian

2.1. Studi Literatur

Beberapa penelitian terdahulu mengembangkan perangkat pengambilan sampah pada saluran air menggunakan berbagai pendekatan, termasuk pompa penyaring dan perahu bermesin; masing-masing memiliki keterbatasan berupa efektivitas terhadap sampah mengapung di tengah aliran, kebutuhan operator, dan konsumsi daya tinggi. Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, penelitian ini mengadopsi konsep pengangkut sampah berbasis konveyor yang bergerak sepanjang lintasan jembatan sehingga operasi lebih aman dan hemat daya. Sistem kendali menggunakan mikrokontroler ESP8266 yang terhubung ke aplikasi Blynk, memungkinkan kontrol dan monitoring real-time tanpa biaya layanan GSM, sementara deteksi level penampungan menggunakan sensor ultrasonik (HC-SR04) dengan ambang empiris 12 cm. Pemilihan komponen, arsitektur kendali, dan protokol pengujian (variasi volume sampah dan pola penyebaran) diadaptasi dari studi-studi sebelumnya dan dimodifikasi untuk mengoptimalkan aspek keselamatan, kemudahan operasi, dan replikasi di lapangan.

2.2. Survei Lapangan

Survei lapangan dilakukan di area bawah jembatan yang sering mengalami akumulasi sampah untuk memvalidasi kebutuhan fungsional alat dan menginformasi desain prototipe, observasi menunjukkan pembersihan saat ini masih bergantung pada jaring dan tenaga manusia sehingga berisiko dan kurang efisien, serta sampah cenderung menumpuk pada penampang di bawah jembatan sehingga mendukung konsep konveyor yang bergerak sepanjang lintasan jembatan sebagai solusi pasif yang lebih aman. Dari pemantauan aliran dan titik akumulasi ditetapkan orientasi pemasangan konveyor, posisi sensor ultrasonik, dan jalur pergerakan alat, sementara keterbatasan lingkungan seperti paparan air atau kelembapan dan ruang lintasan yang

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

sempit menentukan pemilihan material tahan air dan dimensi struktur yang kompak namun kokoh. Ketersediaan jaringan lokal mendorong penggunaan modul Wi-Fi berbasis ESP8266 dan aplikasi Blynk untuk kontrol serta monitoring real-time tanpa biaya GSM, dan pemasangan sensor ultrasonik (HC-SR04) diatur serta dikalibrasi untuk deteksi level penampungan dengan threshold empiris. Survei juga merancang skenario uji lapangan (variasi volume dan pola penyebaran sampah) yang kemudian digunakan untuk mengukur efektivitas pengangkutan; hasil awal menunjukkan performa terbaik ketika sampah terfokus pada satu area dan menurun untuk kondisi penyebaran merata, informasi yang menjadi umpan balik penting untuk penyesuaian ukuran penampang, penempatan sensor, serta logika kontrol prototipe.

2.3. Pengukuran dan Pengumpulan Data

Pengukuran dan pengumpulan data dilakukan untuk mengevaluasi kinerja prototipe pengangkut sampah secara kuantitatif dan untuk memastikan replikasi eksperimen. Variabel utama yang diukur meliputi pembacaan jarak dari sensor ultrasonik (HC-SR04) sebagai indikator level penampungan, massa atau volume sampah yang berhasil diangkat oleh konveyor pada setiap uji, durasi operasi konveyor, serta parameter operasi yang direkam berupa status perintah (ON/OFF) dan posisi pergerakan konveyor (kiri/kanan/diam) yang dikirim melalui antarmuka aplikasi Blynk dan dicatat oleh mikrokontroler ESP8266[3]. Sebelum pelaksanaan uji, dilakukan kalibrasi sensor ultrasonik dengan pengukuran pada beberapa titik referensi (misalnya 2 cm, 5 cm, 8 cm, dan 12 cm) untuk menentukan offset dan varians pembacaan; koreksi offset diterapkan pada perangkat lunak pengolahan data sehingga pembacaan lapangan terstandardisasi. Untuk operationalisasi indikator penuh, digunakan ambang empiris jarak < 12 cm berdasarkan pengujian pendahuluan.

Protokol eksperimen dirancang untuk merefleksikan kondisi lapangan yang ditemukan pada survei: variasi jumlah sampah (setengah kapasitas, kapasitas penuh, dan dua kali kapasitas — pada studi acuan menggunakan contoh numerik 210, 420, dan 840 unit/volume) dan pola penyebaran sampah (menyebar, memusat kiri, memusat kanan). Setiap kombinasi skenario diuji berulang minimal 3–5 kali untuk mengurangi pengaruh variabilitas acak; durasi tiap uji ditetapkan 180 detik. Selama operasi, pembacaan ultrasonik dipolling pada frekuensi 2–5 pembacaan per detik (frekuensi disesuaikan untuk mengoptimalkan trade-off antara real-time monitoring dan noise pembacaan) dan disimpan bersama timestamp, perintah Blynk, dan status aktuator pada log elektronik. Untuk verifikasi dan dokumentasi, seluruh uji direkam menggunakan kamera sehingga analisis visual dapat dilakukan bila diperlukan.

Pengukuran massa/volume sampah terangkat dilakukan dengan menimbang penampung sebelum dan sesudah setiap uji; apabila penimbangan tidak memungkinkan, digunakan metode pengukuran volume terkompresi dan dikonversi ke estimasi massa dengan densitas asumsi yang dijelaskan. Analisis kuantitatif utama menggunakan persentase sampah terangkat yang dihitung sebagai berikut :

$$\%\ sampah\ terangkat = \frac{volume\ yang\ terangkat}{volume\ awal\ yang\ lewat}\ x100\%$$

Untuk setiap kondisi dilaporkan nilai rata-rata dan simpangan baku dari pengulangan uji; outlier yang disebabkan oleh kegagalan mekanik atau gangguan eksternal dicatat sebagai insiden dan dikeluarkan dari analisis utama dengan penjelasan terdokumentasi. Selain metrik kuantitatif, log waktu dan rekaman video dianalisis secara kualitatif untuk mengidentifikasi penyebab kegagalan pengangkutan (mis. posisi relatif sampah terhadap konveyor, selip belt, atau kesalahan pembacaan sensor) serta untuk menguji reliabilitas ambang sensor yang digunakan.

Semua data elektronik disimpan dalam format CSV dengan struktur kolom standar (timestamp, perintah Blynk, status aktuator, pembacaan ultrasonik, event) dan diberi kode uji yang mengaitkan setiap file dengan rekaman video dan catatan lapangan. Prosedur manajemen

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

data mencakup backup ganda (salinan lokal dan penyimpanan cloud) serta pencatatan kondisi lingkungan (cuaca, kondisi aliran) yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran. Dokumentasi kalibrasi, prosedur pengujian, dan template lembar pengumpulan data disertakan dalam lampiran agar eksperimen dapat ditiru dan diverifikasi oleh peneliti lain.

2.4. Analisis Data

Analisis data dilakukan secara kuantitatif untuk mengevaluasi kinerja prototipe dengan perhitungan metrik utama yaitu persentase sampah terangkat kemudian disajikan dalam bentuk ringkasan deskriptif (rata-rata, median, simpangan baku, rentang) untuk setiap kondisi eksperimen (variasi volume dan pola penyebaran) sesuai protokol uji yang diadopsi dari studi pendahulu. Untuk pengujian inferensial, terlebih dahulu dilakukan uji normalitas dan uji homogenitas varian, apabila asumsi normalitas dan homogenitas terpenuhi dilanjutkan dengan ANOVA satu arah diikuti uji post-hoc Tukey untuk membandingkan rata-rata antar kondisi, sedangkan jika asumsi tidak terpenuhi digunakan uji non-parametrik (Kruskal–Wallis dan uji Dunn) untuk menentukan signifikansi perbedaan ($\alpha = 0{,}05$).

3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian dilakukan di sungai yang mempunyai arus untuk dapat membawa sampah. Jumlah sampah dikategorikan menjadi setengah dari kapasitas volume penampungan yaitu 210 $\boldsymbol{cm^3}$, sesuai kapasitas penampungan yaitu 420 $\boldsymbol{cm^3}$, dan dua kali kapasitas penampungan yaitu 840 $\boldsymbol{cm^3}$. Didapatkan hasil yang ditunjukan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Data Hasil Pengujian

No.	Volume Kapasitas Penampung (cm^3)	Volume sampah yang disebar (cm^3)	Jarak rata-rata deteksi ultrasonik (cm)	Area sampah yang disebar	Waktu Pengujian (detik)	Volume rata-rata sampah yang terangkat (%)
1.	420	210	12	menyebar	180	85,6
2.	420	210	12	Kanan	180	92,8
3.	420	210	12	kiri	180	93,6
4.	420	420	12	menyebar	180	39,2
5.	420	420	8,4	Kanan	180	79,2
6.	420	420	9,4	kiri	180	71,2
7.	420	840	8,2	menyebar	180	29
8.	420	840	4,3	Kanan	180	46,8
9.	420	840	5,1	kiri	180	41,6

Berdasarkan hasil pengujian diperlihatkan bahwa sampah dapat lebih banyak terambil pada saat kondisi sampah memusat pada satu area. Saat sampah yang melewati sungai berjumlah setengah volume, sampah yang banyak terangkat adalah sampah yang memusat di area kiri dengan persentase 93,6%. Pada pengujian sampah yang berjumlah sesuai kapasitas dan dua kali kapasitas juga sama, yaitu sebesar 79,2% dan 46,8%. Hal ini dikarenakan cakupan konveyor

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

untuk mengambil sampah menjadi lebih sedikit, sehingga sampah yang datang dapat lebih banyak terambil.

Pembacaan ultrasonik jika kurang dari 12 cm maka hal itu menandakan sebagian area penampungan sampah telah penuh. Hal ini dibuktikan melalui Tabel pengujian secara keseluruhan. Dimana semakin kecil jarak yang dideteksi oleh ultrasonik menandakan area kiri penampungan mulai penuh. Sedangkan semakin nilai deteksinya mendekati 12 cm maka area kanan penampang yang mulai penuh. Jika deteksi ultrasonik memperlihatkan angka 12 cm, maka hal ini menandakan semua area penampungan sampah belum penuh. Error rata-rata dari pembacaan ultrasonik adalah sebesar 0,62%

4. Kesimpulan

Sistem pengangkut sampah di sungai yang terdapat jembatan dibuat dalam model prototype. Prototype menggunakan mikrokontroler ESP8266 dengan Aplikasi Blynk sebagai interface dengan pengguna. Sampah diangkut menggunakan konveyor, sehingga sampah masuk ke penampungan sampah. Penampungan sampah sudah tersedia ultrasonic [5] untuk mengetahui penuh atau tidaknya penampungan. Saat penampungan penuh, user dapat mengetahuinya dari informasi aplikasi Blynk.

Cara kerja prototype pengangkut sampah di sungai ini adalah dengan menggunakan aplikasi Blynk sebagai perintah penggunaan alat. Data yang dikirim oleh pengguna dari Blynk diterima oleh mikrokontroler ESP8266 dan diteruskan untuk menggerakkan servo [4]. Servo berfungsi menggerakkan konveyor sehingga sampah yang ada di depan konveyor dapat terangkat. Selain itu servo lainnya dapat berfungsi sebagai penggerak konveyor ke arah kiri maupun kanan pada lintasan yang telah disediakan. Sampah yang terangkat masuk ke penampungan sampah yang telah dipasang sensor ultrasonik untuk mengetahui apakah penampungan sudah penuh atau tidak. Jika pembacaan kurang dari 12 cm pada display, maka penampungan sudah dianggap penuh di suatu area. Error rata-rata dari pembacaan ultrasonik adalah sebesar 0,62 %. Sedangkan hasil pengujian untuk pengangkatan sampah dengan jumlah terbanyak adalah saat sampah memusat di sisi kanan sungai dengan persentase 93,6% . Persentase terendah di dapat saat keadaan sampah menyebar dengan persentase 29% sampah yang terangkat.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik. Penulis juga menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Garut serta semua pihak yang telah berkontribusi dan bekerja sama dalam penelitian ini.

Referensi

[1] T. A. Wiharso, H. Susilawati, M. A. Yahya, The prototype of automatic garbage carrier from a small scale drain using Arduino Uno , Institute of Physics Publishing, vol. 1402, 2019.

[2] S. S. Hari, R. Rahul, H. Umesh Prabhu, V. Balasubramanian, Android application controlled water trash bot using internet of things, ICEES, February 2021.

[3] A. Satriadi, Wahyudi, Y. Christiyono, PERANCANGAN HOME AUTOMATION BERBASIS NodeMCU, Transient, vol.8, no.1, 2019.

[4] Sujarwata, PENGENDALI MOTOR SERVO BERBASIS MIKROKONTROLER BASIC STAMP 2SX UNTUK MENGEMBANGKAN SISTEM ROBOTIKA, vol.5, no.1, Mei 2013.

[5] F. Puspasari, I. Fahrurrozi, Sensor Ultrasonik HCSR04 Berbasis Arduino Due untuk Sistem Monitoring Ketinggian, JURNAL FISIKA DAN APLIKASINYA, vol.15, no.2, 2019.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

ID: 53

Rancang Bangun Sistem Pengukur Kualitas Air Berbasis Mikrokontroler Pada Mata Air Cikupa

Design And Construction Of A Microcontroller-Based Water Quality Measurement System At Cikupa Spring

Fajar Rahmat Akbar[1], Hikam Alpijar[2], Akhmad Fauzi Ikhsan[3], Tri Arif Wiharso[4]
[1,2,3,4] Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Garut
Jl. Jati No. 42B Tarogong, Garut 44151 – Jawa Barat – Indonesia
fajar.rahmatakbar24@gmail.com[1], akhmadfauzi@uniga.ac.id[3]

Abstrak – *Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem pengukur kualitas air berbasis mikrokontroler untuk pemantauan Mata Air Cikupa. Sistem yang dikembangkan menggunakan beberapa sensor, yaitu sensor pH (PH-4502C) untuk mengukur tingkat keasaman, sensor TDS (V1.0) untuk mengukur kadar padatan terlarut, sensor kekeruhan air (SEN0189) untuk mengukur kejernihan, sensor suhu air (DS18B20), sensor suhu dan kelembaban udara (DHT11), serta sensor debit air (YF-S201). Semua sensor dihubungkan ke mikrokontroler ESP32 yang berfungsi sebagai pusat pengolah data. Hasil pembacaan sensor ditampilkan pada LCD 20×4 dan disimpan pada kartu microSD sebagai data hasil pengukuran. Pengujian dilakukan di lokasi Mata Air Cikupa untuk memperoleh data kondisi aktual. Hasil pengukuran menunjukkan nilai pH antara 7,14–7,58, TDS 402–408 ppm, kekeruhan 2,5–4,5 NTU, suhu air 19,9–20,7 °C, dan debit 1.170–1.608 L/jam. Berdasarkan hasil tersebut, air dari Mata Air Cikupa masih memenuhi standar kualitas air minum menurut Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492 Tahun 2010.*

Kata Kunci*: kualitas air, mikrokontroler, pH, TDS, kekeruhan, Mata Air Cikupa.*

Abstract – *This research aims to design and develop a microcontroller-based water quality measurement system for monitoring the Cikupa Spring. The system integrates several sensors, including a pH sensor (PH-4502C) to measure acidity, a TDS sensor (V1.0) to determine total dissolved solids, a turbidity sensor (SEN0189) to measure water clarity, a water temperature sensor (DS18B20), an air temperature and humidity sensor (DHT11), and a water flow sensor (YF-S201). All sensors are connected to an ESP32 microcontroller that functions as the main data processor. The measurement results are displayed on a 20×4 LCD and stored on a microSD card as measurement data. Field testing was conducted at the Cikupa Spring to obtain actual water quality data. The results show pH values ranging from 7.14 to 7.58, TDS between 402 and 408 ppm, turbidity levels of 2.5–4.5 NTU, water temperature between 19.9–20.7 °C, and flow rate of 1,170–1,608 L/h. Based on these findings, the water quality of Cikupa Spring meets the drinking water standards set by the Indonesian Ministry of Health Regulation No. 492 of 2010.*

Keywords*: Water Quality, Microcontroller, pH, TDS, Turbidity, Cikupa Spring.*

1. Pendahuluan

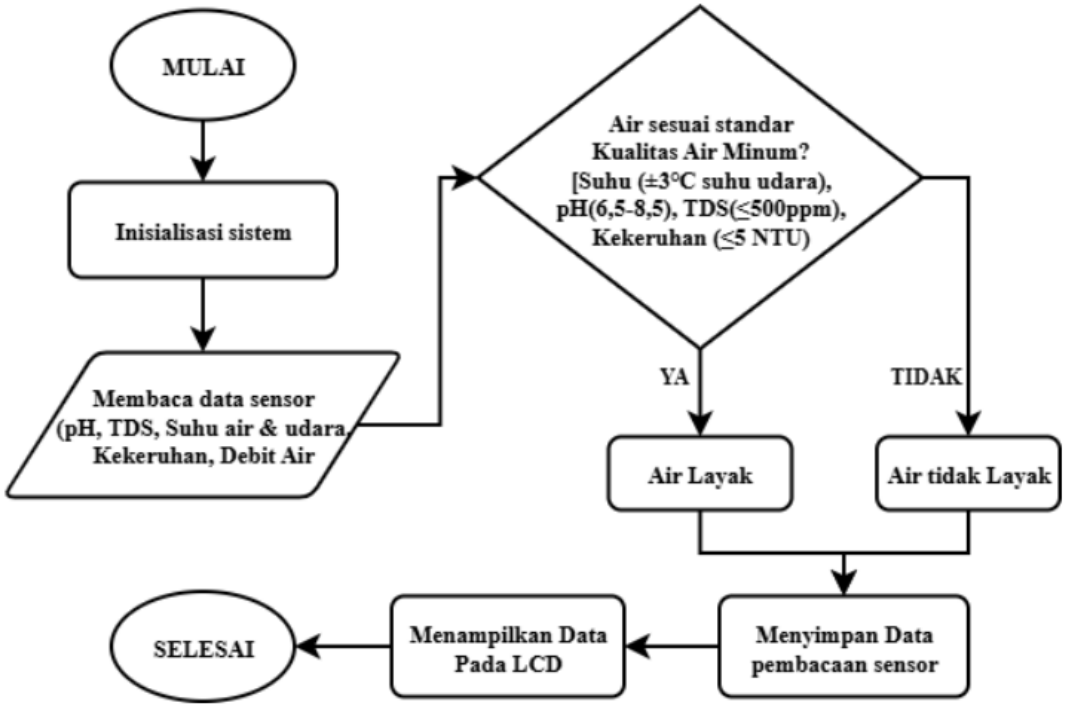
Air merupakan kebutuhan dasar yang vital bagi manusia, di mana sekitar 70–80% tubuh manusia terdiri dari air [1] dan membutuhkan asupan cairan sekitar dua liter per hari [2]. Di wilayah perdesaan, masyarakat umumnya bergantung pada mata air alami sebagai sumber utama air bersih. Salah satunya adalah Mata Air Cikupa di Kampung Papandak, Kecamatan Wanaraja, Kabupaten Garut, yang telah dimanfaatkan masyarakat selama bertahun-tahun dan diyakini aman untuk dikonsumsi tanpa pengolahan tambahan.

Namun, hingga kini belum terdapat data ilmiah yang memvalidasi kualitas air dari mata air tersebut [3]. Kondisi ini penting untuk dikaji, mengingat potensi pencemaran lingkungan yang dapat memengaruhi kualitas air. Data BPS tahun 2021 mencatat sekitar 10.000 desa di Indonesia menghadapi permasalahan pencemaran air, yang menunjukkan perlunya pemantauan kualitas air secara berkelanjutan [4].

Berdasarkan latar belakang tersebut, diperlukan penelitian yang mampu menghasilkan data ilmiah mengenai kualitas air Mata Air Cikupa. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem pengukur kualitas air berbasis mikrokontroler yang dapat mengukur parameter penting seperti pH, suhu, kekeruhan (turbidity), total padatan terlarut (TDS), dan debit air. Data hasil pengukuran disimpan dan ditampilkan secara langsung agar masyarakat dapat memantau kondisi air dengan mudah dan memastikan kelayakannya untuk dikonsumsi.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 28. Flowchart sistem Pengukur kualitas air

2.1. Studi Literatur

Menurut Kementrian kesehatan republik indonesia, terdapat beberapa parameter yang harus dipenuhi agar air dapat dikonsumsi secara langsung [5] sesuai Tabel 1.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Tabel 3. Standar Kualitas Air

No	Jenis Parameter	Satuan	Kadar Maksimal yang diperbolehkan
1	Parameter yang berhubungan langsung dengan kesehatan		
	a. Mikrobiologi		
	1) E.Coli	Jumlah per 100 ml sampel	0
	2) Total Bakteri Koliform	Jumlah per 100 ml sampel	0
	b. Kimia An-organik		
	1) Arsen	mg/1	0,01
	2) Fluorida	mg/1	1,5
	3) Total Kromium	mg/1	0,05
	4) Kadmium	mg/1	0,003
	5) Nitrit	mg/1	3
	6) Nitrat	mg/1	50
	7) Sianida	mg/1	0,07
	8) Selenium	mg/1	0,01
2	Parameter yang tidak berhubungan langsung dengan kesehatan		
	a. Parameter fisik		
	1) Bau		Tidak berbau
	2) Warna	TCU	15
	3) Total zat padat terlarut (TDS)	mg/1	500
	4) Kekeruhan	NTU	5
	5) Rasa		Tidak berasa
	6) Suhu	Celcius	Suhu udara ±3°C
	b. Parameter kimiawi		
	1) Alumunium	mg/1	0,2
	2) Besi	mg/1	0,2
	3) Kesadahan	mg/1	500
	4) Khlorida	mg/1	250
	5) Mangan	mg/1	04
	6) pH		6,5-8,5

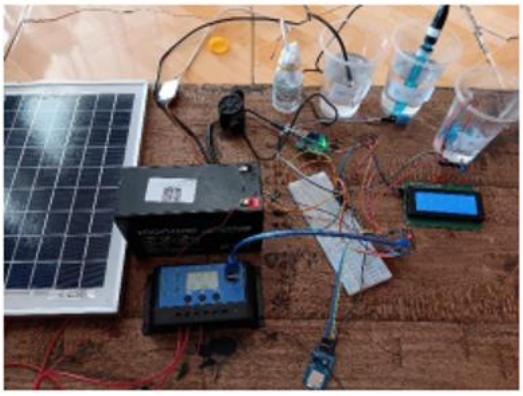
ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

2.2. Survei Lapangan

Survei lapangan dilakukan di Mata Air Cikupa, Kampung Papandak, Kecamatan Wanaraja, Kabupaten Garut, yang merupakan sumber utama air bersih bagi masyarakat setempat. Lokasi ini dipilih karena telah dimanfaatkan lebih dari seratus tahun dan tidak pernah mengalami kekeringan. Pengamatan dilakukan terhadap kondisi sumber air, kejernihan, suhu lingkungan, serta aktivitas masyarakat di sekitar lokasi yang berpotensi memengaruhi kualitas air. Hasil survei digunakan untuk menentukan titik pengambilan sampel dan penempatan sensor pada sistem pengukur kualitas air berbasis mikrokontroler yang dirancang, sehingga data yang diperoleh mewakili kondisi aktual di lapangan.

2.3. Pengukuran dan Pengumpulan Data

Pengukuran dan pengumpulan data dilakukan secara langsung di lokasi Mata Air Cikupa setelah sistem pengukur kualitas air selesai dirakit dan dikalibrasi. Sistem menggunakan beberapa sensor utama, yaitu sensor pH (PH-4502C), sensor TDS (V1.0), sensor kekeruhan air (SEN0189), sensor suhu air (DS18B20), sensor suhu dan kelembaban udara (DHT11), serta sensor debit air (YF-S201). Semua sensor dihubungkan ke mikrokontroler ESP32 yang berfungsi sebagai pusat pemrosesan data. Setiap sensor membaca nilai parameter air dalam interval waktu tertentu, kemudian hasil pengukuran ditampilkan pada LCD 20×4 dan disimpan pada kartu microSD sebagai data hasil pengukuran sesuai Gambar 2.



Gambar 2. Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

Proses pengambilan data dilakukan beberapa kali pada waktu yang berbeda untuk mendapatkan hasil yang representatif terhadap kondisi lingkungan. Data hasil pengukuran dicatat dalam tabel yang memuat parameter pH, TDS, turbidity, suhu udara, suhu air, debit air, dan keterangan kondisi pengukuran. Selanjutnya, hasil pengukuran dibandingkan dengan standar kualitas air minum berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492 Tahun 2010 untuk menentukan tingkat kelayakan air dari Mata Air Cikupa sesuai Tabel 2.

Tabel 4. kelayakan parameter kualitas air minum

No	Parameter	Standar
1	Suhu air	±3°C suhu udara
2	pH	6.5 – 8.5
3	Total zat padat terlarut (TDS)	≥ 500 ppm
4	Kekeruhan	≥ 5 NTU

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

2.4. Analisis Data

Analisis data dilakukan berdasarkan hasil pengukuran parameter kualitas air yang diperoleh dari sistem pengukur berbasis mikrokontroler. Parameter yang diukur meliputi pH, TDS, kekeruhan (turbidity), suhu udara, suhu air, dan debit air. Nilai-nilai hasil pengukuran kemudian dibandingkan dengan standar baku mutu kualitas air minum yang tercantum dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492 Tahun 2010 untuk menentukan kelayakan air dari Mata Air Cikupa.

3. Hasil dan Pembahasan

Untuk sensor kekeruhan karena terpengaruh oleh noise cahaya luar, berdasarkan hasil kalibrasi diperoleh persamaan kalibrasi untuk ketiga periode waktu sebagai berikut.

Tabel 5. Persamaan kalibrasi kekeruhan untuk 3 periode waktu

No	Periode Waktu	Persamaan kekeruhan
1	Pagi	$y = -0.6215 \cdot X + 1420$
2	Siang	$y = -0.6316 \cdot X + 1449.8$
3	Sore	$y = -0.6288 \cdot X + 1440.2$

Berikut ini adalah data hasil pengujian kualitas air pada Mata Air Cikupa berdasarkan beberapa parameter, yaitu pH, suhu udara, suhu air, TDS, kekeruhan, dan debit air. Pengujian dilakukan dalam tiga periode waktu, yaitu pagi, siang, dan sore. Pada setiap periode waktu diperoleh 12 data pengukuran, sehingga total keseluruhan adalah 34 data, dengan rincian data ke-1 hingga ke-12 untuk periode pagi, data ke-13 hingga ke-24 untuk periode siang, dan data ke-25 hingga ke-34 untuk periode sore.

Tabel 6. Hasil pengujian kualitas air minum pada mata air Cikupa

No	pH	TDS (ppm)	Turbidity (NTU)	Suhu udara	Suhu air	Debit (L/jam)	Keterangan
1	7.3	403.73	3.84	22.19	19.9	1558.95	Air Layak
2	7.3	403.36	4.01	22.19	19.9	1720.86	Air Layak
3	7.27	403.61	3.83	22.19	20	1647.43	Air Layak
4	7.29	403.61	4.04	22.19	19.9	1669.1	Air Layak
5	7.46	406.11	3.85	22.19	20	1700.4	Air Layak
6	7.14	405.61	2.73	22.25	20	1632.38	Air Layak
7	7.47	403.73	4.19	22.19	20	1684.75	Air Layak
8	7.48	405.86	4.12	22.19	20.1	1814.76	Air Layak
9	7.3	405.73	2.57	22.19	20	1770.69	Air Layak
10	7.3	404.48	3.82	22.19	20.1	1746.14	Air Layak
11	7.3	404.11	4.29	22.19	20.1	1688.96	Air Layak
12	7.32	404.11	3.81	22.19	20.1	1747.35	Air Layak
13	7.33	405.86	3.78	22.19	20.4	1831.01	Air Layak
14	7.32	404.98	2.89	22.25	20.4	1847.27	Air Layak
15	7.18	406.86	2.8	22.19	20.5	1674.52	Air Layak
16	7.34	407.11	3.58	22.25	20.4	1667.9	Air Layak
17	7.34	407.48	3.28	22.25	20.5	1608.31	Air Layak

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

No	pH	TDS (ppm)	Turbidity (NTU)	Suhu udara	Suhu air	Debit (L/jam)	Keterangan
18	7.34	406.23	4.03	22.25	20.5	1742.53	Air Layak
19	7.51	405.48	2.63	22.25	20.5	1690.17	Air Layak
20	7.34	404.61	2.91	22.25	20.6	1700.87	Air Layak
21	7.36	405.73	2.51	22.25	20.5	1798.51	Air Layak
22	7.47	405.61	3.55	22.19	20.6	1775.64	Air Layak
23	7.37	405.98	2.73	22.19	20.6	1632.38	Air Layak
24	7.26	406.61	3.44	22.19	20.6	1677.53	Air Layak
25	7.36	405.98	4.14	22.25	20.5	1712.44	Air Layak
26	7.36	406.86	3.47	22.19	20.5	1593.26	Air Layak
27	7.54	406.48	3.97	22.19	20.6	1645.62	Air Layak
28	7.55	408.1	4.25	22.19	20.5	1682.34	Air Layak
29	7.48	405.61	2.8	22.25	20.6	1679.93	Air Layak
30	7.38	406.86	3.42	22.19	20.6	1680.54	Air Layak
31	7.4	403.61	3.91	22.19	20.6	1657.66	Air Layak
32	7.38	407.11	3.12	22.25	20.7	1676.92	Air Layak
33	7.58	408.1	2.84	22.25	20.6	1729.29	Air Layak
34	7.55	406.98	3.23	22.25	20.7	1687.16	Air Layak
35	7.22	407.61	2.63	22.25	20.7	1744.34	Air Layak
36	7.24	408.35	3.01	22.19	20.7	1770.22	Air Layak

Berdasarkan hasil pengukuran menggunakan sensor pH pada Mata Air Cikupa, diperoleh nilai pH berkisar antara 7,14 hingga 7,58. Rentang tersebut menunjukkan bahwa tingkat keasaman air berada pada kategori netral hingga sedikit basa, masih sesuai dengan batas standar air layak konsumsi. Pengambilan data dilakukan pada waktu dan kondisi yang berbeda untuk memastikan kestabilan sensor serta menggambarkan kondisi air secara representatif. Untuk memperoleh hasil yang lebih presisi, pengujian sensor pH sebaiknya dilakukan pada kondisi air tenang, karena aliran atau getaran dapat menyebabkan fluktuasi pembacaan. Oleh karena itu, proses pengukuran dapat dilakukan dengan menampung sampel air ke dalam wadah agar kondisi stabil dan hasil pengukuran lebih akurat. Secara umum, nilai pH yang diperoleh relatif stabil tanpa menunjukkan perubahan ekstrem atau indikasi kontaminasi. Berdasarkan hasil tersebut, air dari Mata Air Cikupa memenuhi standar kualitas air minum menurut Permenkes RI Nomor 492 Tahun 2010 (pH 6,5–8,5), sehingga dinyatakan layak untuk dikonsumsi langsung.

Hasil pengujian menggunakan sensor Total Dissolved Solids (TDS) pada Mata Air Cikupa menunjukkan nilai TDS berada pada rentang 402,61 hingga 408,35 ppm. Rentang tersebut mengindikasikan bahwa jumlah padatan terlarut dalam air tergolong rendah dan masih jauh di bawah batas maksimum yang ditetapkan untuk air layak konsumsi. Pengambilan data dilakukan pada beberapa kondisi dan waktu berbeda guna memastikan akurasi serta kestabilan sensor dalam membaca nilai TDS. Sensor TDS diketahui sensitif terhadap kondisi fisik lingkungan, terutama terhadap pergerakan air, sehingga pengukuran sebaiknya dilakukan dalam kondisi air tenang untuk meminimalkan fluktuasi data. Prosedur pengujian yang lebih stabil dapat dicapai dengan menampung sampel air ke dalam wadah sebelum dilakukan pengukuran. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan nilai TDS yang konsisten tanpa fluktuasi berarti di seluruh proses pengambilan data. Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Tahun 2010, batas maksimum TDS yang diperbolehkan adalah 500 ppm, sehingga air dari Mata Air Cikupa memenuhi standar kualitas air minum dan aman untuk dikonsumsi.

Hasil pengujian kekeruhan air pada Mata Air Cikupa menggunakan sensor menunjukkan nilai antara 2,51 hingga 4,29 NTU, yang menandakan tingkat kejernihan air masih baik dan berada di bawah batas maksimum 5 NTU sesuai Permenkes RI No. 492 Tahun 2010. Pengukuran dilakukan beberapa kali dalam kondisi lingkungan berbeda dan menghasilkan data yang konsisten. Sensor turbidity sensitif terhadap aliran atau getaran air, sehingga pengukuran sebaiknya dilakukan dalam kondisi air tenang agar pembacaan lebih stabil. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa kekeruhan air Mata Air Cikupa berada dalam kategori aman dan layak untuk dikonsumsi langsung.

Pengujian suhu pada Mata Air Cikupa menggunakan sensor suhu udara dan sensor suhu air menunjukkan bahwa suhu udara berkisar antara 22,19–22,25°C, sedangkan suhu air berada pada 19,9–20,7°C. Selisih suhu sekitar 1,5–2,3°C masih dalam batas wajar dan menunjukkan keseimbangan dengan suhu lingkungan. Mengacu pada Permenkes RI No. 492 Tahun 2010, suhu air yang baik sebaiknya mendekati suhu udara sekitar. Berdasarkan hasil tersebut, suhu air di Mata Air Cikupa dinyatakan stabil dan memenuhi standar kualitas air minum.

Pengukuran debit pada Mata Air Cikupa dilakukan sebagai parameter pendukung untuk mengetahui potensi dan kestabilan sumber air, meskipun debit bukan termasuk indikator kualitas air minum menurut Permenkes RI No. 492 Tahun 2010. Debit menggambarkan volume air yang keluar dari sumber dalam satuan waktu dan penting untuk menilai keberlanjutan pasokan air bagi masyarakat. Hasil pengujian menunjukkan nilai debit berkisar antara 1.558,95 hingga 1.847,27 liter per jam, dengan variasi yang masih tergolong stabil untuk ukuran mata air alami. Pengukuran dilakukan pada salah satu aliran dengan debit terkecil karena keterbatasan sensor. Fluktuasi debit dipengaruhi oleh kondisi cuaca, kelembapan tanah, dan tekanan lingkungan sekitar. Secara umum, nilai tersebut menunjukkan bahwa Mata Air Cikupa memiliki potensi debit yang cukup stabil dan dapat mendukung kebutuhan air masyarakat dalam skala kecil hingga menengah.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian, sistem pengukur kualitas air yang dirancang untuk Mata Air Cikupa di Kampung Papandak telah berfungsi dengan baik dan efektif. Sistem ini menggunakan beberapa sensor, yaitu pH (PH-4502C), TDS (V1.0), turbidity (SEN0189), suhu air (DS18B20), suhu dan kelembapan udara (DHT11), serta debit air (YF-S201) yang terhubung ke mikrokontroler ESP32. Seluruh sensor mampu mengukur dan menampilkan data secara real-time melalui LCD 20×4 serta menyimpannya ke kartu microSD. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem bekerja optimal pada kondisi air tenang dan seluruh parameter utama berada dalam batas standar air minum menurut Permenkes RI No. 492 Tahun 2010, yaitu pH 7,14–7,58 (netral), TDS 402–408 ppm, kekeruhan 2,5–4,5 NTU, suhu air 19,9–20,7 °C, dan debit 1.170–1.608 L/jam. Dengan demikian, air dari Mata Air Cikupa dinyatakan memenuhi kriteria air layak minum dan dapat dikonsumsi secara langsung.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Universitas Garut, khususnya Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik, atas dukungan dan fasilitas yang diberikan selama proses penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada masyarakat Kampung Papandak, Kecamatan Wanaraja, Kabupaten Garut, yang telah memberikan izin dan membantu selama kegiatan pengambilan data di lokasi Mata Air Cikupa. Dukungan dari dosen pembimbing dan rekan-rekan mahasiswa yang turut membantu dalam proses perancangan dan pengujian sistem juga sangat berarti dalam penyelesaian penelitian ini.

Referensi

[1] M. K. Dewi Andriani, S.Kep.Ns., "MENGENAL PENTINGNYA CAIRAN DALAM TUBUH," Artikel Kesehatan STIKes Adi Husada. Accessed: Oct. 27, 2025. [Online]. Available: https://adihusada.ac.id/artikel.php?info=active&artikel=16

[2] S. Kusumawardani *et al.*, "Analisis Konsumsi Air Putih Terhadap Konsentrasi Siswa Diterima," *Holistika J. Ilm. PGSD*, vol. 4, no. 2, pp. 91–95, 2020.

[3] D. Novriadhy, "Kualitas Air Bersih Dan Potensi Dampaknya Terhadap Kesehatan Masyarakat Di Kabupaten Muara Enim," *J. Ekol. Kesehat.*, vol. 19, no. 1, pp. 35–44, 2020, doi: 10.22435/jek.v19i1.2360.

[4] V. A. Dihni, "Pencemaran Air Terjadi di 10 Ribu Desa/Kelurahan Indonesia," databoks. Accessed: Oct. 26, 2025. [Online]. Available: https://databoks.katadata.co.id/lingkungan/statistik/a249bf6d2afb84b/pencemaran-air-terjadi-di-10-ribu-desakelurahan-indonesia?utm_source=chatgpt.com

[5] Kementerian Kesehatan RI, "Persyaratan Kualitas Air Minum Nomor 492/PERMENKES/PER/IV/2010," *Peratur. Menteri Kesehat. Republik Indones.*, no. 492, 2010, [Online]. Available: http://sertifikasibbia.com/upload/permenkes2.pdf

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

ID: 54

Sistem Pendeteksi Kebakaran Dengan Sensor Suhu dan Gas Beracun

Fire Detection System With Temperature and Toxic Gas Sensors

Al Fathir Zaki Mustofa[1], Ahmad Yusuf Darmawan[1], Allin Junikhah[1], Andini Aulia Putri[2], Azmi Fash Shalna Zaiba[2], Muhammad Salman Alfarisi[2], Muhammad Athourrahman[2], Ferdian Surya Agung[2]

[1]Department of Electrical Engineering, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Gajayana Street No. 50, +62-341 551-354

[2]Department of Informatics Engineering, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Gajayana Street No. 50, +62-341-551-354

akuntugasfathir@gmail.com[1], ahmadyusufdarmawan495@gmail.com[1], allin@uin-malang.ac.id[1*], andinicantik324@gmail.com[2], azmifashaa@gmail.com[2], fa250305@gmail.com[2], atokur77@gmail.com[2], ferdiam14141@gmail.com[2]

Abstrak – *Kebakaran merupakan salah satu bencana yang paling sering terjadi dan dapat menimbulkan kerugian besar, baik secara material maupun korban jiwa. Deteksi dini kebakaran sangat penting agar tindakan pencegahan dan penanganan dapat dilakukan dengan cepat dan tepat. Sistem deteksi kebakaran konvensional umumnya memberikan peringatan sederhana tanpa kemampuan pemantauan kondisi lingkungan secara menyeluruh. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem pendeteksi kebakaran berbasis mikrokontroler Arduino Uno yang mampu mendeteksi kenaikan suhu dan keberadaan gas beracun secara real-time serta memberikan peringatan otomatis kepada pengguna. Sistem ini menggunakan sensor suhu dan kelembapan DHT11 untuk mengukur suhu lingkungan dan sensor gas MQ-2 untuk mendeteksi gas berbahaya seperti asap, metana, LPG, dan karbon monoksida (CO). Data dari kedua sensor diolah oleh Arduino Uno dan hasilnya ditampilkan pada LCD 16x2. Apabila suhu atau kadar gas melampaui ambang batas yang ditentukan, sistem akan mengaktifkan indikator LED merah, buzzer sebagai alarm suara, serta kipas DC 5V untuk membantu pendinginan area yang terdeteksi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja secara efektif dengan respon waktu kurang dari satu detik saat kondisi bahaya terdeteksi. Sensor MQ-2 memberikan respons cepat terhadap asap dan gas pembakaran, sedangkan sensor DHT11 mampu membaca suhu dengan tingkat akurasi ±2°C. Sistem ini terbukti mampu mendeteksi potensi kebakaran lebih awal dan memberikan peringatan secara visual serta auditori secara bersamaan. Dengan biaya yang relatif rendah dibandingkan dengan sistem alarm lainnya serta konfigurasi yang sederhana, sistem ini dapat menjadi solusi alternatif deteksi dini kebakaran berskala kecil untuk rumah, kantor, atau laboratorium.*

Kata Kunci*: Arduino Uno, Deteksi kebakaran, DHT11, MQ-2, Sensor gas, Sensor suhu.*

Abstract – *Fire is one of the most frequent disasters and can cause major losses, both in terms of material and human casualties. Early detection of fire is crucial so that preventive and handling measures can be taken quickly and accurately. Conventional fire detection systems generally provide simple warnings without the ability to monitor environmental conditions comprehensively. Therefore, this study aims to design and build a fire detection system based on the Arduino Uno microcontroller that is capable of detecting temperature increases and the presence of toxic gases in real-time and providing automatic warnings to users. This system uses a DHT11 temperature and humidity sensor to measure environmental temperature and an MQ-2 gas sensor to detect hazardous gases such as smoke, methane, LPG, and carbon monoxide (CO). Data from both sensors is processed by the Arduino Uno and the results are displayed on a 16x2 LCD. If the temperature or gas content exceeds the specified threshold, the system will activate a red LED indicator, a buzzer as an audible alarm, and a 5V DC fan to help cool the detected area. Test results show that the system is able to work effectively with a response time of less than one second when a dangerous condition is detected. The MQ-2 sensor provides a rapid response to smoke and combustion*

gases, while the DHT11 sensor can read temperature with an accuracy of ±2°C. This system has been proven to detect potential fires early and provide visual and auditory warnings simultaneously. With its relatively low cost and simple configuration, this system can be an alternative solution for small-scale early fire detection in homes, offices, or laboratories.

***Keywords**: Arduino Uno, DHT11, Fire detection, Gas sensor, MQ-2, Temperature sensor.*

1. Pendahuluan

Kebakaran merupakan salah satu bencana yang sering terjadi dan dapat menimbulkan kerugian yang besar, baik materi maupun jiwa. Selain kerusakan fisik, kebakaran juga mengganggu aktivitas sosial, merusak infrastruktur, dan menyebabkan hilangnya mata pencaharian [1]. Di tingkat global, kebakaran hutan dan vegetasi berkontribusi pada kerugian ekonomi, kerusakan lingkungan, dan memperburuk perubahan iklim [2] [3]. Kebakaran dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti korsleting listrik [4], kelalaian manusia [5], dan faktor alam[6]. Pendeteksi kebakaran saat ini sangat penting untuk meminimalisir kerugian yang ditimbulkan. Sistem deteksi kebakaran konvensional umumnya menggunakan sensor asap dan sensor panas yang hanya memberikan peringatan sederhana berupa bunyi alarm. Sistem ini memiliki beberapa kelemahan, seperti keterlambatan deteksi [7], kurangnya informasi detail mengenai penyebab kebakaran[8], dan keterbatasan jangkauan [9].

Untuk mengatasi kelemahan tersebut, dibutuhkan sistem deteksi kebakaran yang lebih canggih dan efektif. Sistem deteksi kebakaran berbasis mikrokontroler dan sensor dapat menjadi solusi yang tepat. Sistem ini dapat mendeteksi kebakaran dengan lebih cepat dan akurat [10], memberikan informasi detail mengenai penyebab kebakaran [11], dan dapat dipantau dari jarak jauh [12]. Proyek ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem deteksi kebakaran berbasis mikrokontroler Arduino Uno yang dilengkapi dengan sensor suhu (DHT11), sensor gas (MQ-2), dan komponen output berupa LCD, LED merah, buzzer, dan kipas DC. Sistem ini diharapkan dapat mendeteksi kebakaran dengan lebih cepat dan efektif, memberikan peringatan dini kepada pengguna, dan membantu meminimalisir kerugian yang ditimbulkan.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui tiga tahapan utama, yaitu perancangan sistem (*system design*), implementasi perangkat keras dan perangkat lunak (*hardware and software implementation*), serta pengujian dan analisis sistem (*testing and analysis*). Setiap tahap disusun secara sistematis untuk memastikan bahwa sistem pendeteksi kebakaran berbasis Arduino Uno dapat berfungsi secara optimal, efisien, dan mampu memberikan hasil deteksi yang akurat terhadap potensi kebakaran. Sistem pendeteksi kebakaran yang dirancang diharapkan mampu bekerja secara real-time, akuratif, dan andalan dalam memberikan peringatan dini terhadap potensi kebakaran di lingkungan sekitar. Secara umum, sistem pendeteksi kebakaran dengan sensor suhu dan gas beracun berbasis mikrokontroler Arduino Uno dibagi menjadi tiga bagian utama yaitu input, proses, dan output.



Gambar 1. Diagram alur tahapan penelitian

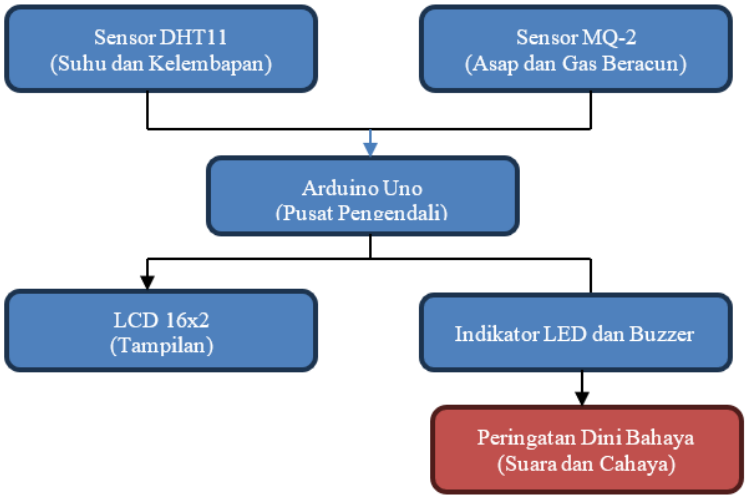
ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Perancangan Sistem

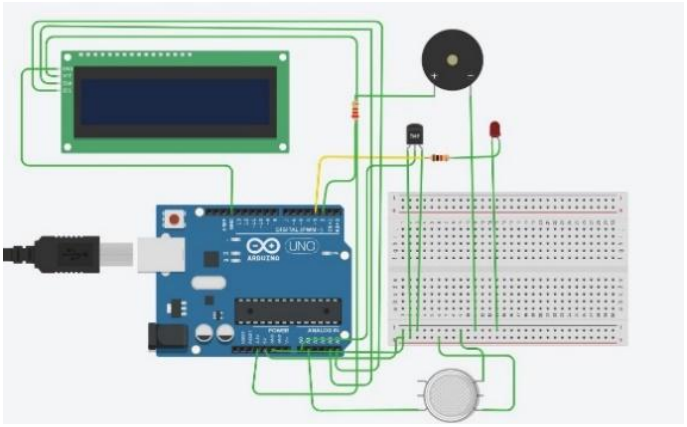
Sistem ini dirancang dengan mengintegrasikan dua jenis sensor utama, yaitu sensor suhu dan kelembapan DHT11 serta sensor gas MQ-2, yang berperan dalam mendeteksi peningkatan suhu dan keberadaan gas berbahaya seperti asap, LPG, metana, dan karbon monoksida (CO).

Kedua sensor tersebut mengirimkan data secara real-time ke mikrokontroler Arduino Uno untuk diolah dan dibandingkan dengan nilai ambang batas yang telah ditetapkan. Hasil pemrosesan data kemudian ditampilkan pada LCD 16x2 sebagai informasi kondisi lingkungan. Apabila suhu dan kadar gas melebihi ambang batas, sistem secara otomatis mengaktifkan indikator LED merah sebagai tanda visual bahaya, buzzer sebagai alarm suara, serta kipas DC 5V sebagai respon awal untuk membantu proses pendinginan di area yang terdeteksi panas atau berasap.



Gambar 2. Blok diagram sistem

Program ini menggunakan Arduino Uno untuk membaca sensor api (flame sensor) dan sensor gas beracun MQ-2, kemudian menampilkan hasilnya pada LCD 16x2 berbasis I2C. Jika sensor mendeteksi api (flameValue = LOW) atau nilai gas melebihi ambang batas (gasValue > 500), Arduino akan mengaktifkan buzzer, LED merah, dan motor kipas sebagai sistem peringatan dini. Jika tidak ada bahaya, semua indikator akan dimatikan. Pembacaan sensor ditampilkan secara real-time di LCD pada kedua barisnya.



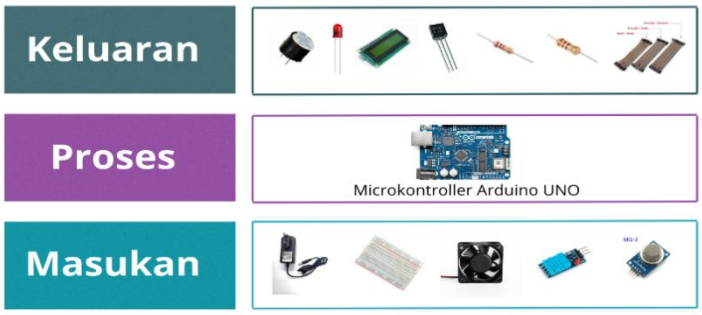
Gambar 3. Desain rangkaian sistem

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Pada gambar di atas, sistem dirancang menggunakan Arduino Uno sebagai pusat pengendali. Rangkaian ini mengintegrasikan beberapa komponen utama, yaitu sensor DHT11 untuk mendeteksi suhu dan kelembaban, sensor MQ-2 untuk mendeteksi keberadaan asap beracun, sebuah LCD 16x2 untuk menampilkan data, sebuah LED merah sebagai indikator bahaya, dan buzzer sebagai alat peringatan.

3.2. Implementasi

Proses implementasi diawali dengan perakitan sistem, di mana semua komponen elektronik dirangkai pada breadboard sesuai dengan desain rangkaian yang telah dibuat sebelumnya. Setiap koneksi antara sensor, mikrokontroler, dan perangkat keluaran diperiksa untuk memastikan tidak terjadi kesalahan sambungan.



Gambar 4. Komponen sistem

Sistem ini memanfaatkan kombinasi sensor suhu dan kelembaban DHT11 serta sensor gas MQ-2 sebagai perangkat utama untuk memantau kondisi lingkungan secara real-time dan mendeteksi peningkatan suhu dan keberadaan gas beracun secara otomatis. Arduino Uno sebagai pusat kendali yang memproses data dari sensor DHT11 (suhu dan kelembaban) dan sensor MQ-2 (asap/gas). Data dari kedua sensor ditampilkan secara real-time pada LCD 16x2 menggunakan komunikasi I2C. Apabila suhu melebihi 50°C atau sensor MQ-2 membaca nilai lebih dari 300, sistem akan mengaktifkan LED merah dan buzzer sebagai tanda bahaya. Adaptor DC 5V digunakan untuk menyuplai daya ke seluruh komponen agar sistem bekerja stabil dan efisien.

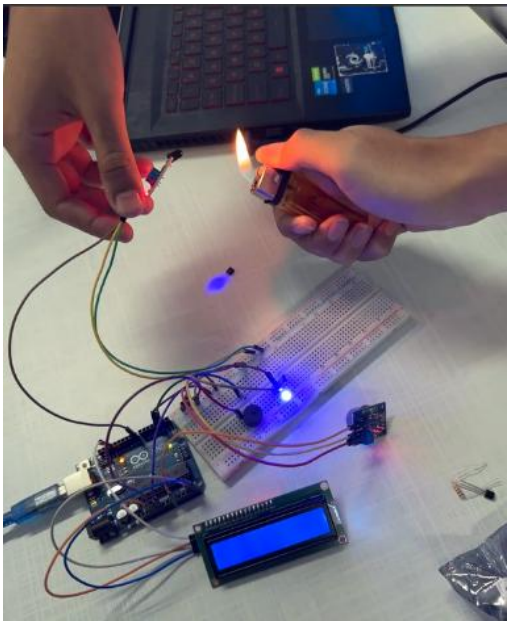
Setelah proses perakitan selesai, tahap berikutnya adalah pemrograman Arduino. Mikrokontroler Arduino Uno diprogram menggunakan Arduino IDE dengan kode yang telah disusun berdasarkan logika kerja sistem. Program tersebut meliputi proses pembacaan data dari sensor DHT11 dan MQ-2, pengolahan data, serta pengaktifan keluaran seperti LED, buzzer, motor, dan LCD 16x2. Selama proses implementasi, dilakukan dokumentasi untuk mendukung hasil penelitian dan memvisualisasikan rancangan sistem secara nyata.

3.3. Pengujian Sistem

Tahap terakhir adalah pengujian perangkat, yang dilakukan untuk memastikan sistem berfungsi sesuai dengan rancangan. Pengujian dilakukan dengan berbagai skenario lingkungan, mulai dari kondisi normal hingga kondisi di mana terdapat peningkatan suhu dan keberadaan gas atau asap. Melalui tahap ini, kinerja sistem diamati dan dicatat untuk menentukan tingkat akurasi serta kecepatan respon alat terhadap kondisi kebakaran yang disimulasikan.

Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh komponen pada alat pendeteksi kebakaran berbasis Arduino Uno dapat berfungsi dengan baik sesuai dengan rancangan. Pengujian ini juga bertujuan untuk mengevaluasi tingkat akurasi sensor, kecepatan respon sistem, dan efektivitas keluaran (*buzzer*, LED, dan LCD) dalam memberikan peringatan dini terhadap potensi kebakaran.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 5. Proses Pengujian sistem

Pengujian sistem dilakukan dalam tiga kondisi lingkungan berbeda untuk menilai kinerja alat. Pada kondisi normal dengan suhu 25°C, kelembaban 45%, dan tanpa adanya asap, sistem menampilkan data pada layar LCD, sementara LED dan buzzer tetap tidak aktif karena tidak terdeteksi bahaya. Pada kondisi abnormal dengan suhu meningkat hingga 35°C, kelembaban menurun menjadi 20%, dan terdapat asap di sekitar sensor, sistem secara otomatis mengaktifkan LED merah dan buzzer sebagai peringatan bahaya, serta menampilkan data kondisi pada LCD. Sedangkan pada kondisi fluktuatif, ketika suhu dan kelembaban berubah dengan cepat, sistem mampu mendeteksi perubahan tersebut dan memperbarui data secara real-time tanpa gangguan.

Tabel 1. Pengujian sistem.

No	Kondisi Lingkungan	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Asap	LED Merah	Buzzer	Tampilan LCD	Respon Sistem
1	Normal	25	45	Tidak ada	Mati	Mati	Menampilkan data normal	Stabil
2	Abnormal (Panas + Asap)	35	20	Ada	Menyala	Aktif	Menampilkan data abnormal	< 1 detik
3	Fluktuatif	Berubah	Berubah	-	Sesuai kondisi	Sesuai kondisi	Data berubah real-time	Cepat

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem bekerja akurat dan responsif, dengan waktu respon kurang dari satu detik saat kondisi bahaya terdeteksi, sehingga mampu memberikan peringatan dini terhadap potensi kebakaran secara efektif. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem pendeteksi kebakaran dengan sensor suhu dan gas beracun berbasis mikrokontroler Arduino Uno mampu berfungsi dengan baik dalam melakukan proses monitoring dan deteksi dini kebakaran.

Kinerja sistem menunjukkan bahwa alat ini memiliki respon cepat dan akurasi tinggi dalam mendeteksi perubahan lingkungan, dengan waktu reaksi kurang dari satu detik setelah kondisi bahaya terdeteksi. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan peringatan dini secara efektif kepada pengguna sebelum kebakaran berkembang lebih besar. Selain itu, penggunaan mikrokontroler Arduino Uno sebagai pusat kendali memberikan keunggulan dalam fleksibilitas

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

pemrograman, kemudahan integrasi sensor, dan efisiensi daya. Kombinasi antara sensor DHT11 dan MQ-2 menjadikan sistem ini tidak hanya mendeteksi suhu tinggi, tetapi juga dapat mengidentifikasi adanya gas berbahaya, sehingga meningkatkan keandalan sistem secara keseluruhan.

Dengan demikian, sistem ini dapat diimplementasikan sebagai alat deteksi kebakaran sederhana namun efektif untuk lingkungan rumah tangga, laboratorium, maupun ruang kerja. Sistem juga memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut dengan penambahan modul *Internet of Things* (IoT) agar pengguna dapat melakukan pemantauan jarak jauh melalui perangkat berbasis web atau aplikasi mobile.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini membuktikan bahwa sistem pendeteksi kebakaran berbasis Arduino Uno dapat berfungsi akurat, responsif, dan efisien dalam memberikan peringatan dini terhadap potensi kebakaran, sehingga berkontribusi pada upaya pencegahan kerugian material dan keselamatan jiwa manusia.

4. Kesimpulan

Sistem pemantauan lingkungan yang telah dirancang dan dibangun dengan menggunakan Arduino Uno berhasil dalam memberikan informasi terkini mengenai suhu, kelembaban, dan keberadaan asap di sekitar. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, sistem sensor DHT11 berhasil menangkap data suhu dan kelembaban dengan akurat. Informasi ini ditampilkan secara real-time pada LCD 16x2, sehingga pengguna dapat dengan mudah memantau kondisi lingkungan.

Sensor MQ-2 terbukti efektif dalam mendeteksi keberadaan asap atau gas berbahaya. Ketika konsentrasi gas mencapai batas yang telah ditentukan, sistem memberikan peringatan langsung melalui bunyi buzzer dan perubahan warna LED merah menjadi kuning. LCD 16x2 menampilkan data suhu, kelembaban, dan status asap secara jelas. LED merah berfungsi sebagai indikator visual yang mudah dipahami: Mati untuk kondisi normal dan Menyala ketika asap terdeteksi. Buzzer memberikan peringatan tambahan dalam keadaan bahaya. Semua komponen sistem bekerja secara efektif dalam satu rangkaian, baik secara fisik maupun dalam program Arduino.

Sistem ini mampu meningkatkan keamanan lingkungan melalui deteksi dini, memberikan alternatif solusi hemat biaya untuk pemantauan lingkungan. Sistem ini telah menunjukkan kinerja yang baik dalam simulasi Tinkercad dan memiliki potensi untuk diterapkan di lingkungan nyata dalam skala kecil.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Program Studi Teknik Elektro dan Teknik Informatika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, atas segala fasilitas laboratorium, sarana, serta dukungan yang diberikan selama proses penelitian ini berlangsung. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan masukan berharga dalam setiap tahap penelitian, mulai dari perancangan, implementasi, hingga pengujian sistem. Tidak lupa, penulis juga berterima kasih kepada rekan-rekan mahasiswa yang telah membantu dan memberikan dukungan baik secara teknis maupun moral, sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.

Referensi

[1] Rafi Ramadhan Lubis, Felisa Jauzarafa, Arya Pranata Sidabutar, and Berlianti Berlianti, "Kebakaran Pasar Horas Pematang Siantar : Dampak pada Komunitas Pedagang dan Strategi Pemulihan," *Jurnal Kajian dan Penelitian Umum*, vol. 2, no. 6, pp. 43–46, Dec. 2024, doi: 10.47861/jkpu-nalanda.v2i6.1392.

[2] D. M. J. S. Bowman, C. A. Kolden, J. T. Abatzoglou, F. H. Johnston, G. R. van der Werf, and M. Flannigan, "Vegetation fires in the Anthropocene," *Nat Rev Earth Environ*, vol. 1, no. 10, pp. 500–515, Aug. 2020, doi: 10.1038/s43017-020-0085-3.

[3] Z. Han, G. Geng, Z. Yan, and X. Chen, "Economic Loss Assessment and Spatial–Temporal Distribution Characteristics of Forest Fires: Empirical Evidence from China," *Forests*, vol. 13, no. 12, p. 1988, Nov. 2022, doi: 10.3390/f13121988.

[4] A. H. Hardiansyah, R. S. Hartati, and Y. Divayana, "Proteksi Konsleting Listrik Dengan Memutus Jarak Jauh Arus 3 Phasa Beban Besar Dengan Kombinasi Solid State Relay (SSR) dan IoT NodeMCU 8266 Menggunakan Aplikasi Blynk di Sub Panel Gedung Telkomsel Smart Office Renon Denpasar," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 22, no. 1, p. 71, Jun. 2023, doi: 10.24843/MITE.2023.v22i01.P09.

[5] S. Costafreda-Aumedes, C. Comas, and C. Vega-Garcia, "Human-caused fire occurrence modelling in perspective: a review," *Int J Wildland Fire*, vol. 26, no. 12, pp. 983–998, Dec. 2017, doi: 10.1071/WF17026.

[6] P. C. Ajeje, "MAINTENANCE PROCEDURES FOR RURAL DISTRIBUTION NETWORKS - RDN'S AIMING AT THE PREVENTION OF FOREST FIRES," *Journal of Engineering Research*, vol. 4, no. 8, pp. 2–9, Mar. 2024, doi: 10.22533/at.ed.317482406039.

[7] S. Sawant, S. Kumbhar, B. Chauhan, G. Chaudhari, and P. Thakkar, "Integrated Fire Detection System using ML and IOT," *Int J Res Appl Sci Eng Technol*, vol. 12, no. 4, pp. 1738–1741, Apr. 2024, doi: 10.22214/ijraset.2024.60063.

[8] B. Senthilnayaki, M. A. Devi, S. A. Roseline, and P. Dharanyadevi, "Deep Learning-Based Fire and Smoke Detection System," in *2024 Second International Conference on Emerging Trends in Information Technology and Engineering (ICETITE)*, IEEE, Feb. 2024, pp. 1–6. doi: 10.1109/ic-ETITE58242.2024.10493463.

[9] F. Safarov, S. Muksimova, M. Kamoliddin, and Y. I. Cho, "Fire and Smoke Detection in Complex Environments," *Fire*, vol. 7, no. 11, p. 389, Oct. 2024, doi: 10.3390/fire7110389.

[10] F. Firdaus, Y. Tjandi, and A. Pratama, "DESIGN OF A FIRE DETECTION SYSTEM USING FIRE AND SMOKE SENSORS BASED ON ARDUINO MICROCONTROLLER," *Jurnal Media Elektrik*, vol. 21, no. 2, pp. 92–97, May 2024, doi: 10.59562/metrik.v21i2.2211.

[11] Q. Wang, J. Lin, Y. Zhou, H. Luo, and R. Zhao, "Indoor Fire Detection System Based on Multi-sensor Information Fusion Algorithm," in *2023 IEEE 4th International Conference on Pattern Recognition and Machine Learning (PRML)*, IEEE, Aug. 2023, pp. 637–641. doi: 10.1109/PRML59573.2023.10348244.

[12] E. Alfonsius, "Development of a Prototype Room Security Monitoring System for Early Fire Detection Using a Prototyping Method Based on Sensors and IoT," *MATICS: Jurnal Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi (Journal of Computer Science and Information Technology)*, vol. 17, no. 1, pp. 42–51, Mar. 2025, doi: 10.18860/mat.v17i1.29521.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

ID: 55

Perancangan dan Implementasi Sistem MPPT Berbasis Fuzzy Logic dengan Konverter Buck–Boost untuk Optimalisasi Daya Panel Surya

Design and Implementation of an MPPT System Based on Fuzzy Logic with a Buck–Boost Converter for Solar Panel Power Optimization

Nanang Rohadi
Electrical Engineering, Faculty of Mathematics and Natural Science, Universitas Padjadjaran
Sumedang 45363, Indonesia
Faculty of Mathematics and Natural Science, Universitas Padjadjaran
nanang.rohadi@unpad.ac.id

Abstrak – *Energi surya merupakan sumber energi terbarukan yang potensial, namun efisiensi sistem fotovoltaik (PV) sangat dipengaruhi oleh variasi iradiasi, temperatur, dan beban. Penelitian ini mengusulkan sistem* Maximum Power Point Tracking *(MPPT) berbasis* Fuzzy Logic Control *(FLC) yang diintegrasikan dengan konverter* Buck–Boost *untuk mempertahankan operasi panel surya pada titik daya maksimum secara adaptif. Prototipe dibangun menggunakan modul PV 50 Wp, sensor INA219, dan mikrokontroler 8-bit sebagai pengendali utama. Hasil pengujian menunjukkan efisiensi pelacakan daya di atas 97 %,* steady-state error *di bawah 2,2 %, serta peningkatan daya hingga 106 % dibanding sistem* direct coupling*. Sistem juga menunjukkan respon cepat dengan waktu konvergensi hanya 5–6 iterasi dan osilasi daya yang minimal. Integrasi FLC dan konverter* Buck–Boost *terbukti meningkatkan kestabilan dan efisiensi sistem PV terhadap variasi beban maupun kondisi lingkungan, sehingga efektif diterapkan pada sistem energi surya adaptif berskala lebih luas.*

Kata Kunci*: Panel surya, Fuzzy logic control, MPPT, Buck–Boost Converter, Energi terbarukan..*

Abstract – *Solar energy is a promising renewable resource; however, the efficiency of photovoltaic (PV) systems is highly affected by variations in irradiance, temperature, and load. This study proposes a Maximum Power Point Tracking (MPPT) system based on Fuzzy Logic Control (FLC) integrated with a Buck–Boost Converter to adaptively maintain PV operation at the maximum power point. The prototype employs a 50 Wp PV module, an INA219 voltage–current sensor, and an 8-bit microcontroller as the main controller. Experimental results demonstrate a tracking efficiency above 97%, a steady-state error below 2.2%, and a power improvement of up to 106% compared with the direct coupling system. The proposed system exhibits a fast response with convergence achieved within 5–6 iterations and minimal power oscillation. The integration of FLC with a Buck–Boost converter effectively enhances the stability and efficiency of PV systems under varying load and environmental conditions, making it suitable for scalable and adaptive solar energy applications.*

Keywords*: Photovoltaic, Fuzzy logic control, MPPT, Buck–Boost Converter, Renewable energy.*

1. Pendahuluan

Energi surya merupakan sumber energi terbarukan yang prospektif karena ramah lingkungan, melimpah, dan berkelanjutan [1]. Teknologi fotovoltaik (PV) memungkinkan konversi energi matahari menjadi listrik, namun kinerjanya sangat dipengaruhi oleh iradiasi, suhu, dan beban [2], [3]. Variasi kondisi ini menyebabkan pergeseran Maximum Power Point (MPP), sehingga diperlukan metode Maximum Power Point Tracking (MPPT) untuk menjaga efisiensi sistem [4].

Algoritma MPPT konvensional seperti *Perturb and Observe* (P&O) dan *Incremental Conductance* (IncCond) banyak digunakan karena sederhana, tetapi masih menghadapi masalah berupa osilasi daya dan respon lambat pada perubahan lingkungan [5], [6]. Modifikasi yang diusulkan, seperti penyesuaian ukuran langkah atau adaptasi berbasis parameter dinamis, hanya meningkatkan sebagian aspek kinerja dan belum sepenuhnya menyelesaikan persoalan stabilitas [6].

Sebagai alternatif, metode berbasis kecerdasan buatan, khususnya Fuzzy Logic Control (FLC), menawarkan kemampuan adaptif tanpa model matematis kompleks. FLC mampu menghasilkan duty cycle optimal secara real-time, dengan studi terkini menunjukkan efisiensi pelacakan yang cukup tinggi serta osilasi daya yang lebih rendah dibanding algoritma konvensional [6]-[8]. Namun, sebagian besar penelitian masih berbasis simulasi, sehingga bukti eksperimental yang komprehensif masih terbatas.

Untuk mengatasi kesenjangan tersebut, penelitian ini merancang dan mengimplementasikan prototipe Fuzzy Logic-MPPT berbasis mikrokontroler dengan topologi Buck–Boost Converter. Prototipe diuji secara eksperimental pada variasi beban dan waktu operasi. Hasilnya diharapkan dapat memberikan validasi nyata efektivitas FLC dalam meningkatkan efisiensi konversi energi PV, sekaligus memperkuat penerapan metode cerdas pada sistem energi terbarukan skala komersial.

2. Prinsip Dasar MPPT Berbasis Fuzzy Logic dengan Konventer Buck-Boost

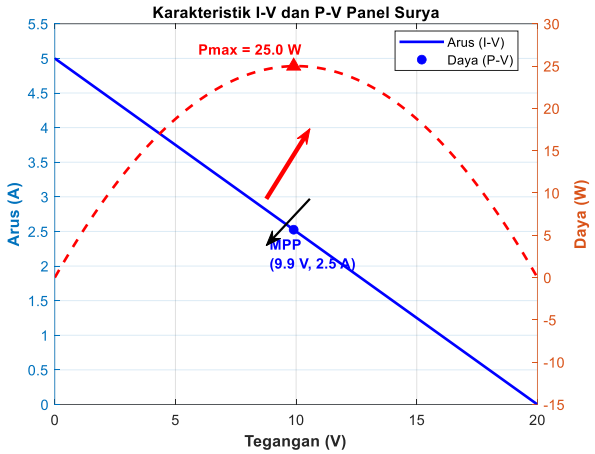
Panel fotovoltaik (PV) mengubah energi cahaya menjadi energi listrik melalui efek fotovoltaik, di mana foton yang diserap menghasilkan pasangan elektron–hole yang membentuk arus listrik. Karakteristik utama panel ditunjukkan oleh kurva arus–tegangan (*I–V*) dan daya–tegangan (*P–V*). Titik operasi optimalnya disebut *Maximum Power Point* (MPP), yaitu saat daya keluaran maksimum tercapai. Posisi MPP bergeser mengikuti perubahan iradiasi dan temperatur—peningkatan iradiasi menaikkan arus, sedangkan suhu tinggi menurunkan tegangan [9], [10].

Hubungan daya dirumuskan sebagai $P=V\times I$, dan kondisi MPP ditentukan oleh

$$\frac{dP}{dV} = 0 \iff \frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V} \tag{1}$$

Gambar 1 menunjukkan karakteristik *I–V* dan *P–V* panel surya, di mana MPP menjadi titik kendali utama untuk menjaga efisiensi konversi energi.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

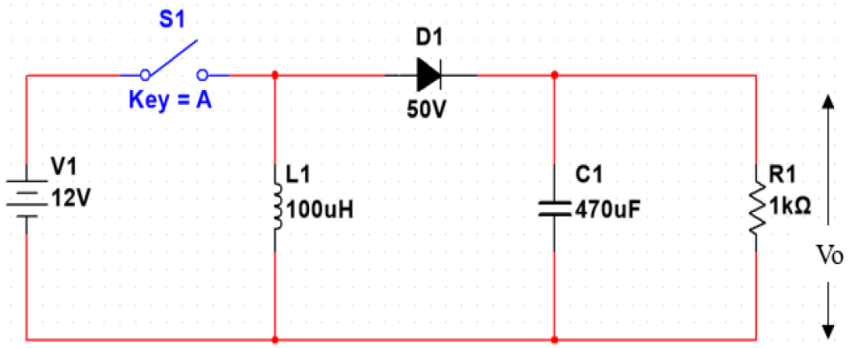


Gambar 1. Karakteristik *I-V* dan *P-V* Panel Surya

Untuk mempertahankan operasi pada MPP, digunakan konverter DC–DC tipe *Buck–Boost* yang mampu menaikkan maupun menurunkan tegangan keluaran sesuai kebutuhan beban [11]. Hubungan antara tegangan input (Vin) dan output (Vout) ditentukan oleh *duty cycle* (D) sinyal PWM [12], [13]:

$$V_{out} = \frac{D}{1 - D} \cdot V_{in}$$

Ketika saklar MOSFET *ON*, energi disimpan dalam induktor; saat *OFF*, energi dilepaskan melalui dioda ke beban. Skema dasar rangkaian ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema Buck-Boost Converter

Untuk mengontrol titik daya maksimum secara adaptif, digunakan *Fuzzy Logic Control* (FLC) yang tidak memerlukan model matematis kompleks [14]. FLC terdiri dari tiga tahap utama: *fuzzifikasi*, *inferensi berbasis aturan*, dan *defuzzifikasi*. Pada sistem MPPT, masukan berupa *error* daya (E) dan perubahan *error* (*ΔE*) dikonversi ke variabel linguistik (NB, NS, ZE, PS, PB) untuk menghasilkan perubahan *duty cycle* optimal.

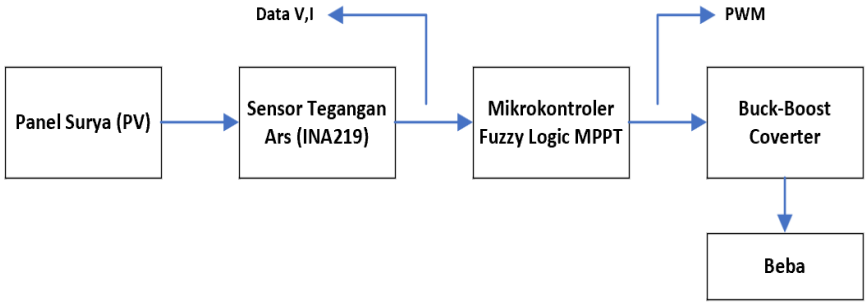
Aturan inferensi, seperti "*IF E is PB AND ΔE is PS THEN ΔDuty is PB*," menghasilkan keluaran numerik melalui proses *defuzzifikasi* untuk mengatur PWM konverter. Metode ini memberikan respon cepat, kestabilan tinggi, dan adaptivitas lebih baik dibanding algoritma konvensional seperti *Perturb and Observe* dan *Incremental Conductance*. Integrasi FLC dengan konverter Buck–Boost terbukti efektif menjaga operasi panel di titik daya maksimum meskipun terjadi fluktuasi iradiasi dan beban.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

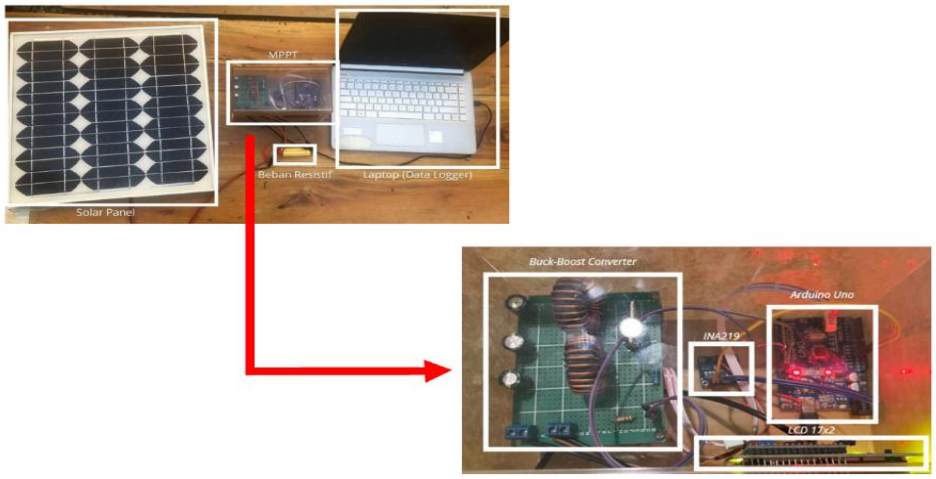
3. Desain dan Implementasi Eksperimental Sistem MPPT Berbasis Fuzzy Logic

Penelitian ini merancang dan mengimplementasikan sistem *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) berbasis *Fuzzy Logic Control* (FLC) yang diintegrasikan dengan konverter *Buck–Boost* untuk meningkatkan efisiensi konversi daya panel surya. Sistem dikembangkan dalam bentuk kendali tertutup (*closed-loop*), di mana sensor tegangan–arus INA219 mengukur parameter Vpv dan Ipv secara *real-time*, sedangkan mikrokontroler 8-bit menghasilkan sinyal PWM berdasarkan algoritma fuzzy guna menjaga operasi panel pada titik daya maksimum.

Struktur sistem ditunjukkan pada Gambar 3, terdiri atas panel surya 50 Wp, sensor INA219, mikrokontroler, serta konverter *Buck–Boost* dengan induktor 80 µH, kapasitor 470 µF, MOSFET IRL3705N, dan dioda Schottky MBR1060. Tata letak fisik rangkaian ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 3. Diagram blok sistem Fuzzy-MPPT berbasis mikrokontroler



Gambar 4. Prototipe Sistem Fuzzy-MPPT dengan Konverter Buck–Boost

Algoritma *Fuzzy Logic Control* (FLC) dalam sistem ini berfungsi mengadaptasi *duty cycle* sinyal PWM berdasarkan perubahan daya keluaran panel. Nilai *error* daya $E(k) = P(k) - P(k-1)$ dan perubahan *error* $\triangle E(k)$ menjadi masukan utama untuk menentukan koreksi *duty cycle* ($\triangle D$). Proses inferensi fuzzy memanfaatkan aturan linguistik yang merepresentasikan hubungan nonlinier antara kondisi daya dan aksi kendali, sehingga sistem mampu menyesuaikan titik operasi panel menuju MPP secara cepat dan stabil tanpa memerlukan model matematis yang kompleks.

Pengujian eksperimental dilakukan dengan dua skenario, yaitu variasi beban (5 Ω, 10 Ω, 100 Ω) dan variasi waktu (10.00–16.00 WIB). Setiap pengujian mencatat parameter tegangan, arus, daya, iradiasi, dan temperatur setiap 100 ms hingga sistem mencapai keadaan tunak. Evaluasi

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

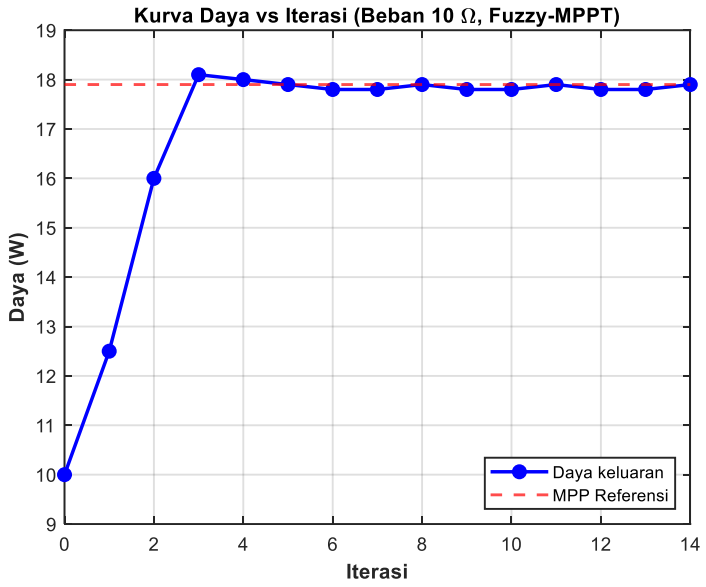
dilakukan berdasarkan efisiensi pelacakan, *steady-state error*, dan waktu konvergensi untuk menilai kinerja sistem.

4. Hasil Eksperimen dan Analisa Kerja

Prototipe sistem *MPPT* berbasis *Fuzzy Logic Control* (FLC) dengan konverter *Buck–Boost* berhasil diimplementasikan menggunakan mikrokontroler 8-bit dan sensor INA219. Sistem mampu menyesuaikan *duty cycle* secara adaptif untuk menjaga operasi panel surya tetap berada di sekitar titik daya maksimum pada berbagai kondisi lingkungan.

Gambar 5 menunjukkan karakteristik konvergensi daya keluaran sistem MPPT berbasis Fuzzy Logic pada beban 10 Ω. Terlihat bahwa daya awal sebesar sekitar 10 W meningkat tajam selama tiga iterasi pertama hingga mencapai 18,1 W, yang mendekati nilai titik daya maksimum (MPP) sebesar 17,9 W. Setelah iterasi keempat, sistem memasuki kondisi tunak dengan fluktuasi daya yang sangat kecil di sekitar nilai MPP, menandakan bahwa algoritma fuzzy berhasil menstabilkan keluaran tanpa osilasi signifikan.

Hasil ini konsisten dengan data pada Tabel 1, di mana efisiensi pelacakan untuk beban 10 Ω tercatat sebesar 98,9%, nilai tertinggi dibandingkan kondisi beban lain. Tingginya efisiensi tersebut menunjukkan bahwa kombinasi antara mekanisme inferensi fuzzy dan konverter Buck–Boost mampu menyesuaikan duty cycle secara adaptif terhadap perubahan daya. Dengan waktu konvergensi hanya sekitar 5–6 iterasi, sistem menunjukkan performa dinamis yang cepat dan stabil dalam mencapai serta mempertahankan titik daya maksimum.



Gambar 5. Kurva daya terhadap iterasi pengendalian pada beban 10 Ω.

Data hasil pengujian dirangkum pada Tabel 1, yang memperlihatkan efisiensi pelacakan daya sistem tetap tinggi pada berbagai kondisi pengujian.

Tabel 1. Hasil Eksperimen Fuzzy-MPPT.

Kondisi Uji	Daya (W)	Efisiensi Pelacakan (%)
Beban 5 Ω	12,5	98,2
Beban 10 Ω	17,8	98,9
Beban 100 Ω	5,9	97,8
Pukul 10.00 WIB	15,2	97,5
Pukul 12.00 WIB	21,7	99,1
Pukul 14.00 WIB	18,4	98,6
Pukul 16.00 WIB	12,1	97,3

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Secara keseluruhan, sistem menunjukkan efisiensi tinggi, respon cepat, dan kestabilan daya yang baik di berbagai kondisi. Hasil ini membuktikan bahwa integrasi *Fuzzy Logic Control* dengan konverter *Buck–Boost* efektif dalam meningkatkan performa pelacakan titik daya maksimum dan efisiensi konversi energi pada sistem fotovoltaik.

5. Kesimpulan

Sistem *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) berbasis *Fuzzy Logic Control* (FLC) dengan konverter *Buck–Boost* telah berhasil dirancang dan diuji secara eksperimental. Hasil menunjukkan sistem mampu menyesuaikan *duty cycle* secara adaptif untuk menjaga operasi panel surya pada titik daya maksimum dengan efisiensi pelacakan di atas 97% dan *steady-state error* di bawah 2,2%. Waktu konvergensi yang cepat (5–6 iterasi) dan osilasi daya yang minimal membuktikan respon dinamis dan kestabilan sistem yang tinggi. Integrasi metode FLC dengan konverter *Buck–Boost* terbukti efektif meningkatkan efisiensi konversi energi dan dapat menjadi dasar pengembangan sistem fotovoltaik cerdas pada skala aplikasi yang lebih luas.

Referensi

[1] S. Kalyan, S. Dawn, et al., "Solar integrated Wind Turbines for Sustainable Energy Generation from Urban Highways," *2024 1st International Conference on Sustainability and Technological Advancements in Engineering Domain (SUSTAINED)*, Faridabad, India, 2024, pp. 168-173, doi: 10.1109/SUSTAINED63638.2024.11074106.

[2] A. M. Gabor et al., "The Impact of Cracked Solar Cells on Solar Panel Energy Delivery," *2020 47th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)*, Calgary, AB, Canada, 2020, pp. 0810-0813, doi: 10.1109/PVSC45281.2020.9300743.

[3] R. Kapoor, B. G. Babu, P. Upadhyay and D. R. Kumar, "Daily Solar Irradiance Forecasting for Optimum Load Distribution Planning in Hybrid Electrical Power System," *2024 Second International Conference on Intelligent Cyber Physical Systems and Internet of Things (ICoICI),* Coimbatore, India, 2024, pp. 606-610, doi: 10.1109/ICoICI62503.2024.10696168.

[4] Z. Housheng, "Research on MPPT for Solar Cells Based on Flyback Converter," 2010 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, Changsha, China, 2010, pp. 36-39, doi: 10.1109/ICICTA.2010.140.

[5] M. S. Nkambule, A. N. Hasan and A. Ali, "MPPT under partial shading conditions based on Perturb & Observe and Incremental Conductance," *2019 11th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)*, Bursa, Turkey, 2019, pp. 85-90, doi: 10.23919/ELECO47770.2019.8990426.

[6] D. K. M. Idris, R. Birasa, C. S. Marțiș and D. R. Philippe, "Comparative Analysis of Classical and AI-Based MPPT Techniques in Stand-Alone PV Systems: Perturb and Observe, Incremental Conductance, and Fuzzy Logic," *2024 IEEE International Conference And Exposition On Electric And Power Engineering (EPEi)*, Iasi, Romania, 2024, pp. 139-144, doi: 10.1109/EPEi63510.2024.10758020.

[7] M. N. Nazirbhai and R. R. Gajjar, "Comparative Analysis of Perturb & Observe, Incremental Conductance and Fuzzy Logic Based Maximum Power Point Tracking Methods," *2023 IEEE Renewable Energy and Sustainable E-Mobility Conference (RESEM)*, Bhopal, India, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/RESEM57584.2023.10236212.

[8] N. Kumari C.H. and V. S. V. Kaumudi Pravallika, "Fuzzy based Improved Incremental Conductance MPPT algorithm in PV System," *2020 IEEE International Conference on Electronics, Computing and Communication Technologies (CONECCT),* Bangalore, India, 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/CONECCT50063.2020.9198384.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

[9] B. Srikanth, S. Sarangi and D. Guha, "Improved MPP Technique for Load and Irradiation Variations," *2022 IEEE Students Conference on Engineering and Systems (SCES),* Prayagraj, India, 2022, pp. 01-05, doi: 10.1109/SCES55490.2022.9887675.

[10] S. Pattanaik and K. C. Bhuyan, "Solar Cell Connected To SEPIC Converter Using Various Loads for Power Tracking," 2021 1st Odisha International Conference on Electrical Power Engineering, Communication and Computing Technology(ODICON), Bhubaneswar, India, 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/ODICON50556.2021.9428935.

[11] O. K. Islam, et al., "A Comprehensive Comparison Between Boost and Buck-Boost Converters in Solar MPPT With ANN," *2020 Emerging Technology in Computing, Communication and Electronics (ETCCE),* Bangladesh, 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/ETCCE51779.2020.9350867.

[12] I. Hussain, M. Zohaib and E. Babaei, "Modeling, Simulation of Buck Boost Converter with MPPT and Control of Battery Charging Application," 2019 3rd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT), Ankara, Turkey, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/ISMSIT.2019.8932883.

[13] F. Méndez-Díaz, B. Pico, E. Vidal-Idiarte, J. Calvente and R. Giral, "HM/PWM Seamless Control of a Bidirectional Buck–Boost Converter for a Photovoltaic Application," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 34, no. 3, pp. 2887-2899, March 2019, doi: 10.1109/TPEL.2018.2843393.

[14] H. Ishibuchi, "Prof. Lotfi A. Zadeh [Editor's Remarks]," *in IEEE Computational Intelligence Magazine,* vol. 14, no. 1, pp. 2-2, Feb. 2019, doi: 10.1109/MCI.2018.2881775.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

ID: 56

Desain dan Pengembangan Solar Tracker Otomatis Berbasis ESP32 dengan Algoritma Astronomis untuk Peningkatan Efisiensi Panel Surya

Design and Developent of an Automatic Solar Tracker Based on ESP32 with Astronomical Algorithm for Improving Solar Panel Efficiency

Nanang Rohadi
Electrical Engineering, Faculty of Mathematics and Natural Science, Universitas Padjadjaran
Sumedang 45363, Indonesia
Faculty of Mathematics and Natural Science, Universitas Padjadjaran
nanang.rohadi@unpad.ac.id

Abstrak – *Efisiensi panel surya statis terbatas akibat perubahan sudut datang sinar matahari sepanjang hari. Penelitian ini merancang dan mengembangkan sistem* solar tracker *otomatis satu sumbu berbasis mikrokontroler ESP32 dengan algoritma astronomis untuk mengoptimalkan penyerapan energi surya. Posisi matahari dihitung secara matematis berdasarkan koordinat geografis dan waktu lokal, kemudian dikonversi menjadi sudut azimut dan elevasi yang menggerakkan aktuator linear. Sensor inersia MPU6050 digunakan sebagai umpan balik sudut untuk mempertahankan posisi panel yang presisi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengikuti pergerakan matahari dengan rata-rata kesalahan pelacakan* $\pm\, 0{,}4^{o}$*, menghasilkan peningkatan daya keluaran sebesar 28,1%, serta efisiensi konversi energi meningkat dari 13,8% menjadi 17,6%. Dengan konsumsi daya rendah dan akurasi tinggi, sistem ini efektif dalam meningkatkan efisiensi panel surya dan layak diterapkan pada instalasi energi surya skala kecil hingga menengah.*

Kata Kunci*: Energi surya,* solar tracker*, ESP32, algoritma astronomis, efisiensi energi.*

Abstract – *The efficiency of static solar panels is limited by the varying incidence angle of sunlight throughout the day. This study presents the design and development of a single-axis automatic solar tracker based on an ESP32 microcontroller employing an astronomical algorithm to optimize solar energy absorption. The sun's position is mathematically determined from geographic coordinates and local time, converted into azimuth and elevation angles to drive a linear actuator. An MPU6050 inertial sensor provides angular feedback for precise panel alignment. Experimental results show that the system achieves an average tracking error of ± 0.42°, increases output power by 28.1%, and improves energy conversion efficiency from 13.8% to 17.6%. With low power consumption and high positional accuracy, the proposed system effectively enhances photovoltaic efficiency and is suitable for small- to medium-scale solar energy applications.*

Keywords*: Solar energy, solar tracker, ESP32, astronomical algorithm, energy efficiency*.

1. Pendahuluan

Energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang paling potensial karena ketersediaannya yang melimpah dan sifatnya yang berkelanjutan. Di Indonesia, intensitas rata-rata penyinaran matahari mencapai lebih dari 4,8 kWh/m² per hari [1], [2] sehingga menjadikannya alternatif strategis dalam upaya mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar

fosil. Namun demikian, efisiensi sistem fotovoltaik (PV) konvensional masih terbatas karena orientasi panel surya bersifat statis dan tidak dapat mengikuti perubahan posisi matahari sepanjang hari. Kondisi ini menyebabkan sudut datang cahaya tidak selalu tegak lurus terhadap permukaan panel, sehingga daya keluaran dapat menurun.

Salah satu solusi untuk mengatasi keterbatasan tersebut adalah dengan menggunakan sistem *solar tracker* yang mampu mengatur posisi panel surya agar selalu tegak lurus terhadap arah datangnya sinar matahari. Sistem pelacak berbasis *Light Dependent Resistor* (LDR) telah banyak digunakan karena strukturnya sederhana dan biayanya rendah. Namun, sistem ini kurang efektif pada kondisi cuaca berawan atau intensitas cahaya rendah [3]. Sebagai alternatif, pendekatan berbasis algoritma astronomis menawarkan keunggulan dalam hal akurasi dan ketahanan terhadap variasi lingkungan, karena posisi matahari dihitung secara matematis berdasarkan lintang, bujur, serta waktu lokal [4].

Kemajuan teknologi mikrokontroler seperti ESP32 memungkinkan penerapan sistem *solar tracker* berbasis algoritma astronomis dengan kemampuan komputasi tinggi, konsumsi daya rendah, serta konektivitas nirkabel yang terintegrasi. Dengan dukungan sensor inersia seperti MPU6050 dan aktuator linear, sistem ini dapat mengatur orientasi panel secara presisi dan adaptif terhadap perubahan posisi matahari secara waktu nyata. Pendekatan ini menjadikan sistem *solar tracker* lebih efisien dan stabil tanpa bergantung pada sensor cahaya eksternal.

Penelitian ini membahas perancangan dan pengembangan sistem *solar tracker* otomatis satu sumbu berbasis mikrokontroler ESP32 yang diintegrasikan dengan algoritma astronomis untuk mengoptimalkan penyerapan energi surya. Sistem ini menghitung sudut elevasi dan azimut matahari untuk menentukan posisi optimal panel, kemudian mengoreksi sudut kemiringan berdasarkan umpan balik dari sensor MPU6050. Metode penelitian menggunakan pendekatan *Research and Development (R&D)* melalui tahapan perancangan, pembuatan prototipe, serta pengujian lapangan.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengikuti pergerakan matahari dengan rata-rata kesalahan sudut ± 0,6° serta meningkatkan daya keluaran sebesar 30–40% dibandingkan dengan panel statis. Temuan ini membuktikan bahwa integrasi algoritma astronomis dengan sistem kendali berbasis ESP32 dapat meningkatkan akurasi pelacakan dan efisiensi konversi energi surya secara signifikan. Dengan demikian, sistem ini berpotensi diterapkan pada pembangkit energi surya skala kecil hingga menengah untuk mendukung efisiensi energi yang berkelanjutan.

2. Tinjauan Penelitian Terkait

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan efisiensi sistem fotovoltaik melalui pengembangan teknologi *solar tracker*. Sistem ini bertujuan menjaga posisi panel surya agar selalu tegak lurus terhadap arah datangnya sinar matahari, sehingga intensitas radiasi yang diterima dapat dimaksimalkan. Secara umum, pendekatan yang dikembangkan dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu pelacakan berbasis sensor cahaya dan pelacakan berbasis algoritma astronomis.

Sistem pelacak berbasis *Light Dependent Resistor* (LDR) bekerja dengan prinsip mendeteksi perbedaan intensitas cahaya pada beberapa titik sensor. Mikrokontroler kemudian mengatur motor penggerak agar panel bergerak ke arah dengan intensitas cahaya tertinggi [5]. S. Guduru. [6] melaporkan peningkatan daya keluaran menggunakan sistem pelacakan satu sumbu berbasis LDR dan motor servo. Namun, metode ini memiliki kelemahan dalam kondisi cuaca berawan atau ketika terdapat pantulan cahaya dari lingkungan sekitar, yang dapat menyebabkan kesalahan pelacakan. Secara teoritis, hubungan antara intensitas cahaya I yang diterima panel terhadap sudut datang sinar matahari (θ_i) mengikuti hukum kosinus sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (1) [7]):

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

$$I = I_0 cos\,(\theta_i) \tag{1}$$

dengan I_0 adalah intensitas maksimum radiasi matahari (W/m²), I adalah intensitas efektif pada permukaan panel, dan θ_i merupakan sudut datang sinar terhadap bidang panel. Persamaan ini menunjukkan bahwa semakin besar deviasi sudut, semakin kecil energi yang diterima, sehingga dibutuhkan sistem yang mampu menjaga posisi panel agar selalu tegak lurus terhadap matahari.

Sebagai alternatif dari metode sensor cahaya, pelacakan berbasis algoritma astronomis dikembangkan untuk menentukan posisi matahari secara matematis tanpa bergantung pada kondisi lingkungan. Sistem ini menghitung posisi matahari berdasarkan parameter lintang (φ), hari ke-n dalam tahun (DOY), serta waktu lokal (t). Beberapa parameter utama yang dihitung meliputi sudut deklinasi (δ), sudut elevasi (α), dan sudut azimut (Az). Perhitungan posisi matahari dirumuskan sebagai berikut [8]:

$$\delta = 23{,}44^o \times sin\left(\frac{360}{365}(DOY - 81)\right) \tag{2}$$

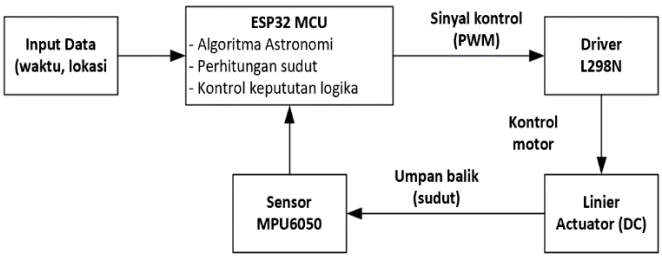
$$\propto = arcsin(sin\,\emptyset\,sin\,\delta + cos\,\emptyset\,cos\,\delta\,cos\,H) \tag{3}$$

$$Az = arccos\left(\frac{sin\,\delta - sin\,\alpha\,sin\,\emptyset}{cos\,\alpha\,cos\,\emptyset}\right) \tag{4}$$

dengan $H = 15^o(t - 12)$ s adalah sudut waktu yang menunjukkan posisi matahari terhadap meridian lokal. Melalui kombinasi persamaan (2)–(4), sistem dapat menentukan posisi optimal panel surya pada setiap waktu dalam satu hari secara presisi.

Chowdhury et al. [9] menerapkan *Sun Position Algorithm (SPA)* untuk sistem pelacakan dua sumbu dan memperoleh peningkatan efisiensi energi hingga 32%. Meski demikian, penelitian tersebut masih menggunakan mikrokontroler dengan kemampuan komputasi terbatas dan tanpa umpan balik posisi waktu nyata, sehingga presisi pelacakan belum optimal.

Integrasi algoritma astronomis dengan mikrokontroler modern seperti ESP32 menawarkan potensi signifikan karena perangkat ini memiliki prosesor cepat, konsumsi daya rendah, serta konektivitas nirkabel yang mendukung pemantauan dan kendali jarak jauh. Selain itu, penerapan sensor inersia seperti MPU6050 memungkinkan sistem untuk memperoleh umpan balik sudut yang lebih akurat dalam menjaga posisi panel. Konsep umum sistem pelacak surya berbasis algoritma astronomis yang dikembangkan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1. Diagram blok pada Gambar 1 menunjukkan ESP32 sebagai pusat kendali yang menerima input waktu dan lokasi untuk menghitung posisi matahari (azimut dan elevasi), menggerakkan aktuator linear melalui driver L298N, serta menerima umpan balik sudut dari sensor MPU6050 untuk koreksi posisi panel.



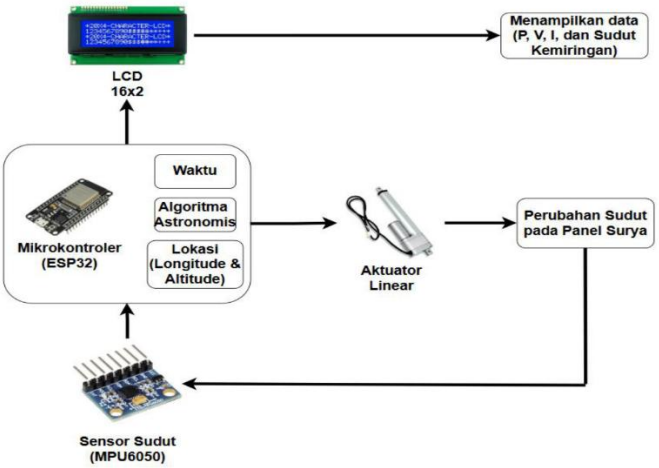
Gambar 1. Diagram Konseptual Sistem Pelacak Surya Berbasis Algoritma Astronomis

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Dari hasil kajian terhadap penelitian sebelumnya dapat disimpulkan bahwa metode pelacakan berbasis algoritma astronomis memiliki keunggulan dalam hal akurasi, efisiensi, dan ketahanan terhadap perubahan kondisi cuaca dibandingkan metode berbasis sensor cahaya. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada pengembangan sistem *solar tracker* satu sumbu berbasis ESP32 dan algoritma astronomis dengan umpan balik posisi, guna meningkatkan presisi pelacakan dan efisiensi konversi energi surya secara optimal.

3. Desain dan Implementasi Sistem

Sistem *solar tracker* berbasis algoritma astronomis ini dirancang untuk mengatur orientasi panel surya agar selalu tegak lurus terhadap arah datangnya sinar matahari. Secara fungsional, sistem terdiri dari tiga tahap utama: (1) perhitungan posisi matahari menggunakan algoritma astronomis, (2) pengendalian posisi panel melalui aktuator linear, dan (3) koreksi posisi menggunakan umpan balik dari sensor MPU6050. Diagram blok konseptual sistem ditunjukkan pada Gambar 1, sedangkan konektivitas perangkat keras seperti dijelaskan pada Gambar 2.



Gambar 2. Koneksitas perangkat keras sistem

Arsitektur Sistem

Arsitektur sistem terdiri dari empat komponen utama, yaitu mikrokontroler ESP32 [10] sebagai unit pengendali utama, sensor MPU6050 [11] sebagai pengukur sudut orientasi, driver motor L298N [12] sebagai penggerak, dan aktuator liniar sebagai mekanisme pelacak. ESP32 menjalankan algoritma astronomis untuk menghitung posisi matahari berdasarkan lintang, bujur, waktu lokal, dan *day of year (DOY)* sesuai persamaan (2)–(4). Hasil perhitungan berupa sudut azimut dan elevasi digunakan sebagai referensi untuk menggerakkan aktuator linear.

ESP32 berkomunikasi dengan sensor MPU6050 melalui antarmuka I²C dan dengan driver motor melalui sinyal PWM. Driver L298N mengatur rotasi motor DC aktuator untuk menyesuaikan kemiringan panel, sementara sensor MPU6050 memberikan umpan balik orientasi guna meminimalkan kesalahan sudut. Seluruh rangkaian mendapat catu daya DC yang dikondisikandari yaitu untuk menghasilkan tegangan 5 V dan 12 V bagi ESP32 dan driver motor.

Prisip Kerja Sistem

Diagram alir sistem dimulai dengan inisialisasi waktu dan koordinat lokasi. Algoritma astronomis kemudian menghitung posisi matahari (azimut dan elevasi), yang dibandingkan dengan posisi aktual panel dari MPU6050. Perbedaan sudut dihitung menggunakan Persamaan (5):

$$e_\theta = \theta_{ref} - \theta_{act} \tag{5}$$

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Jika nilai $|e_\theta|$ lebih besar dari ambang batas tertentu, sistem mengaktifkan motor melalui driver L298N untuk menggerakkan aktuator hingga posisi panel sejajar dengan arah matahari. Pembaruan posisi dilakukan secara periodik setiap lima menit agar sistem tetap adaptif terhadap perubahan posisi matahari.

Implementasi Perangkat Keras dan Lunak

Sistem direalisasikan pada mekanisme pelacak satu sumbu dengan tumpuan rotasi di bagian bawah panel. Perangkat lunak dikembangkan menggunakan bahasa C++ pada lingkungan Arduino IDE. Algoritma utama terdiri atas tiga bagian: (1) perhitungan posisi matahari menggunakan model astronomis, (2) pengendalian posisi panel berbasis kesalahan sudut, dan (3) kompensasi umpan balik dari sensor MPU6050.

Estimasi sudut aktual diperoleh melalui *complementary filter* sebagaimana pada Persamaan (6) [13]:

$$\theta_{act} = \alpha \times (\theta_{act} + \omega \Delta t) + (1 - \alpha) \times \theta_{acc} \quad (6)$$

dengan ω adalah kecepatan sudut dari giroskop, θ_{acc} adalah sudut hasil perhitungan dari akselerometer, dan α adalah koefisien penyaring (biasanya antara 0.9–0.98). Persamaan ini memungkinkan sistem mendapatkan estimasi sudut panel yang stabil dan cepat untuk proses koreksi posisi.

4. Hasil dan Pembahasan

Pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi kinerja mekanik, akurasi pelacakan, serta efisiensi energi panel surya yang dikendalikan menggunakan algoritma astronomis berbasis ESP32. Pengujian dilaksanakan di ruang terbuka selama tiga hari (07.00–17.00 WIB) dengan membandingkan dua konfigurasi: panel statis dan sistem pelacak satu sumbu. Parameter yang diukur meliputi tegangan keluaran, arus beban, sudut orientasi panel, serta konsumsi daya sistem kendali. Data diambil setiap lima menit menggunakan *data logger* internal ESP32 yang terhubung ke sensor tegangan–arus INA219.



Gambar 3. Rangkaian fisik dan Implementasi sistem solar tracker

Gambar 3 memperlihatkan rangkaian fisik dari sistem *solar tracker* yang telah direalisasikan. Rangkaian ini terdiri dari modul mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali, sensor MPU6050 yang berfungsi sebagai sensor umpan balik sudut, driver motor L298N sebagai pengendali aktuator linier, serta sensor INA219 untuk pengukuran tegangan dan arus panel. Panel surya dipasang pada struktur berporos tunggal yang dapat berputar secara horizontal, digerakkan oleh aktuator linier yang dikontrol secara otomatis berdasarkan hasil perhitungan sudut azimut dan elevasi dari algoritma astronomis. Catu daya sistem dibagi menjadi dua jalur, yaitu 5 V untuk ESP32 dan sensor, serta 12 V untuk driver dan aktuator. Penataan fisik komponen dilakukan secara modular untuk memudahkan proses kalibrasi, pengujian, dan pemeliharaan sistem.

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

Efisiensi pelacakan dihitung menggunakan rasio deviasi sudut harian 60° dengan kesalahan rata-rata 0,6°, menghasilkan:

$$\eta_{track} = (1 - |0{,}6|/60) \times 100\% = 99\%.$$

Nilai tersebut menegaskan kemampuan sistem menjaga orientasi panel hampir sejajar dengan posisi matahari. Akurasi tinggi ini didukung oleh mekanisme *closed-loop feedback* dari sensor MPU6050 yang secara otomatis mengoreksi penyimpangan kecil akibat faktor mekanik maupun gangguan angin.

Secara mekanis, sistem menunjukkan respons dinamis yang stabil dengan waktu tanggap sekitar 0,5 s untuk perubahan sudut kecil (<2°). Mekanisme pergerakan berkala setiap lima menit terbukti lebih efisien dibanding sistem berbasis sensor cahaya yang bekerja setiap kali terjadi fluktuasi iradiasi.

Tabel 1 menunjukkan hasil pengukuran daya rata-rata pada kondisi cerah, sedangkan Gambar 4 memperlihatkan perbandingan keluaran energi antara panel statis dan sistem pelacak. Rata-rata peningkatan daya mencapai 28,1%, dengan peningkatan tertinggi terjadi pada pagi dan sore hari ketika sudut datang cahaya terhadap panel statis besar.

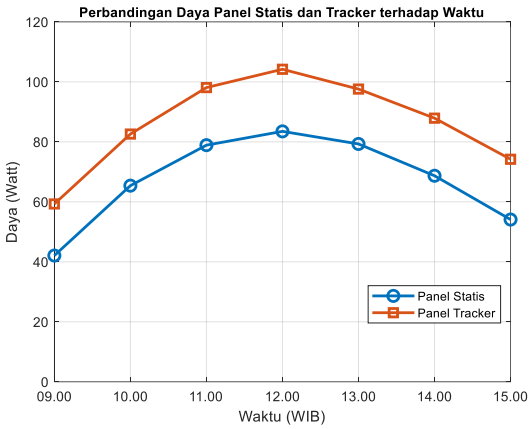
Tabel 1. Perbandingan daya keluaran panel surya statis dan solar tracker otomatis.

Waktu (WIB)	Daya Panel Statis (W)	Daya Panel Tracker (W)	Peningkatan (%)
09.00	42.1	59,3	40,9
10.00	65.4	82,6	26,3
11.00	78.9	98,1	24,4
12.00	83.5	104,2	24,8
13.00	79.3	97,6	23,0
14.00	68.7	87,9	27,9
15.00	54.1	74,2	37,1
Rata-rata	67.4	86,3	28,1

Tabel 2. Hasil keluaran panel surya (diukur pada: 4 september 2025).

No	Waktu (WIB)	Sudut (o)	Iradiasi (W/m2)	I_o (A)	V_o (Volt)	P (W)
1	09.00	25,59	860,6	2,26	21,43	48,43
2	10.00	10,97	881,5	2,36	21.51	49,90
3	11.00	-3,79	884,7	2,34	22,48	52,60
4	12.00	-18,67	858,2	2,28	21,44	48,88
5	13.00	-33,53	884,4	2,35	21,62	50,80
6	14.00	-48,40	854,3	2,23	21,11	47,07
7	15.00	-63,29	832,6	2,19	20,91	45,79

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477



Gambar 4. Perbandingan daya keluaran antara panel statis dan solar tracker

Secara keseluruhan, integrasi algoritma astronomis, ESP32, dan sensor inersia MPU6050 terbukti meningkatkan kinerja sistem fotovoltaik secara signifikan. Dengan konsumsi daya rendah dan akurasi pelacakan tinggi, sistem ini layak diterapkan pada instalasi energi surya skala kecil hingga menengah yang menuntut efisiensi dan reliabilitas tinggi.

5. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengimplementasikan sistem *solar tracker* otomatis berbasis ESP32 dengan algoritma astronomis yang mampu mengarahkan panel surya secara presisi menggunakan umpan balik dari sensor MPU6050. Hasil pengujian menunjukkan peningkatan daya keluaran rata-rata sebesar 28,1%, serta kesalahan pelacakan hanya ±0,42°. Sistem menunjukkan stabilitas mekanis yang baik dan konsumsi daya rendah, sehingga tetap efisien secara keseluruhan. Integrasi algoritma astronomis dengan ESP32 dan sensor inersia terbukti efektif dalam meningkatkan akurasi pelacakan dan efisiensi energi. Desain ini berpotensi dikembangkan lebih lanjut ke sistem pelacakan dua sumbu dan integrasi jaringan nirkabel untuk pemantauan energi secara real-time.

Referensi

[1] R. Alfanz, M. F. Fauzy, Felycia, T. Firmansyah and Alimuddin, "Error Angle Sun Earth Geometry Analysis on Fuzzy Logic Method in Dual-Axis Solar Tracking Mounting Design," 2024 FORTEI-International Conference on Electrical Engineering (FORTEI-ICEE), Badung, Indonesia, 2024, pp. 199-204, doi: 10.1109/FORTEI-ICEE64706.2024.10824433.

[2] M. N. Hidayat, A. Nugroho, A. F. Munir and R. I. Putri, "Charging Time Prediction for E-bike Station Battery Using Coulomb Counting Approach," 2023 International Conference on Electrical and Information Technology (IEIT), Malang, Indonesia, 2023, pp. 145-151, doi: 10.1109/IEIT59852.2023.10335570.

[3] F. R. A. Bukit, S. Rambe and R. Dinzi, "Comparison Of Single Axis Solar Tracking System Without Sensor with LDR Sensor And Real Time Clock (RTC)," 2023 7th International Conference on Electrical, Telecommunication and Computer Engineering (ELTICOM), Medan, Indonesia, 2023, pp. 254-259, doi: 10.1109/ELTICOM61905.2023.10443161.

[4] M. Mirdanies and R. P. Saputra, "Dual-axis solar tracking system: A combined astronomical estimation and visual feedback," 2016 International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application (ICSEEA), Jakarta, Indonesia, 2016, pp. 88-94, doi: 10.1109/ICSEEA.2016.787357.3

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477

[5] M. I. Neacă, "Solar Tracking System for Several Groups of Solar Panels," 2021 International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE), Craiova, Romania, 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICATE49685.2021.9465057.

[6] S. Guduru, P. CH, A. P. M and K. Vijayan, "Smart Solar Tracking System for Optimal Power Generation Using Three LDR's," 2023 International Conference on Recent Advances in Electrical, Electronics, Ubiquitous Communication, and Computational Intelligence (RAEEUCCI), Chennai, India, 2023, pp. 1-5, doi: 10.1109/RA-EEUCCI57140.2023.10134521.

[7] M.A.M. Al-Alwani, et al,"Dye-Sensitised Solar Cells: Developent, Structure, Operation Principles, Electron Kinetics, Characterisation, Synthesis Materials and Natural Photosensitisers". Revewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 65, 2016, pp.183-283,doi:10.1016/j.rser.2016.06.045.

[8] I. Reda,"Solar Position Algorithm for Solar Radiation Application", Solar Energy, vol. 76, 2004, pp.577-589,doi:10.1016/j.solener.2003.12.003.

[9] M.E.H. Chowdhury, et al., " A Low-Cost Closed-Loop Solar Tracking System Based on The Sun Position Algorithm", Journal of Sensors, vol.2019, issue 1,2019, doi: 10.1155/2019/3681031.

[10] Espressif,"ESP32 Series", Datasheet version 5.1, 2021, [Online].Availabel: https://www.mouser.com/catalog/specsheets/Espressif%20Systems_01292021_esp32.pdf?srsltid=AfmBOooaSQgKmp9SArzbfi6seFk1op7ocPpMZlKGZL-EBPwmyZ1FPMmk [Accessed: Oct 28, 2025].

[11] InvenSense Inc,"MPU-6000 and MPU-6050", Product Specification Revision 3.4, 2013,[Online].Availabel:https://invensense.tdk.com/wpcontent/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf [Accessed: Oct 28, 2025].

[12] Hanson Technology,"L298N Dual H-Bridge Motor Driver", User Guide, 2013,[Online].Availabel: InvenSense Inc,"MPU-6000 and MPU-6050", Product Specification Revision 3.4, 2013, [Online]. Availabel: https://invensense.tdk.com/wpcontent/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf [Accessed: Oct 28, 2025]. [Accessed: Oct 28, 2025].

[13] S. Colton," The Balance Filter a Simple Solution for Integrating Accelerometer and Gyroscope Measurements for a Balancing Platform", Rev.1, 2007, [Online]. Availabel: https://d1.amobbs.com/bbs_upload782111/files_35/ourdev_608933JR01FI.pdf [Accessed: Oct 28, 2025].

ISSN (p): 2985 - 4903
ISSN (e): 2986 - 2477