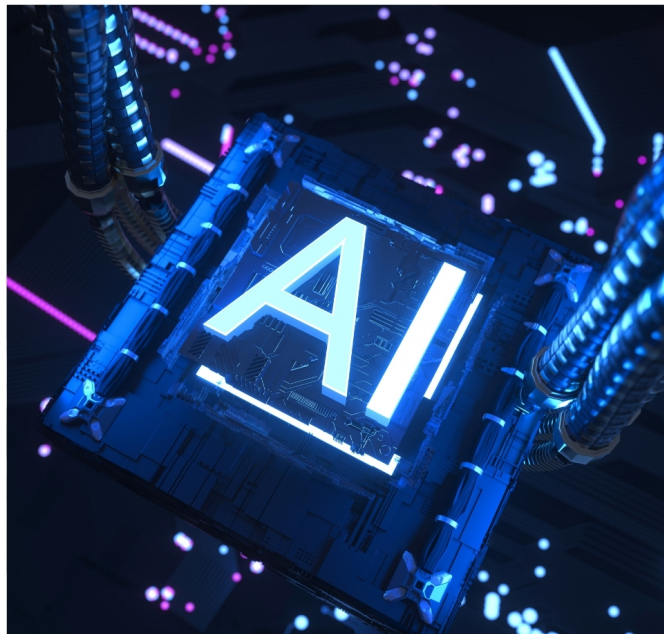




PROSIDING SEMINAR TEKNIK ELEKTRO SENTER IX 2024 UIN SUNAN GUNUNG DJATI BANDUNG

"IoT dan AI: Membuka era baru inovasi teknologi"



BANDUNG, 03 OKTOBER 2024

Didukung oleh:

Volume 9, Tahun 2024

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



ID: 02

Implementasi LDR (LoRa Drip Sistem Irrigation) Sebagai Sistem Penyiraman Drip Otomatis Berbasis LoRa Pada Tanaman Sawi

Implementation of LDR (LoRa Drip System Irrigation) as an Automatic Drip Irrigation System Based on LoRa for Mustard Greens Plants

**Daffa Faturrahman^{1*}, Adhitya Fahreza Septian², Dimas Ali Mukhtar³, Gilang Gimnastiyar⁴,
Muhammad Lahwa Algifari⁵, Lia Kamelia⁶**

^{1,2,3,4,5,6}Teknik Elektro UIN Sunan Gunung Djati Bandung

Jl. AH. Nasution 105 Bandung, Indonesia

daffafathurrahman1@gmail.com.^{1*}, adhityafahrezaaaa08@gmail.com², dimasalimukhtar@gmail.com³,
gilanggimnastiyar17@gmail.com⁴, mlahwaalgifari@gmail.com⁵, lia.kamelia@uinsgd.ac.id⁶

Abstrak - Irigasi tetes adalah metode irigasi dengan cara meneteskan air ke daerah perakaran dengan debit air yang rendah namun frekuensi yang tinggi. Irigasi tetes digunakan sebagai langkah solutif untuk menghemat air dan membuat pertumbuhan tanaman lebih baik sehingga proses penyiraman menjadi tepat guna. Menurut Badan Pusat Statistik bahwa 62,9% dari total petani di Indonesia masih menggunakan sistem penyiraman konvensional. Salah satunya Di daerah Pangalengan Kabupaten Bandung. Jika terus dilakukan dapat mengganggu pertumbuhan tanaman dan memicu tumbuhnya hama serta pemborosan air. Oleh karena itu, sistem irigasi tetes menggunakan LoRa berbasis Internet of Things menjadi solusi teknologi ramah lingkungan untuk proses irigasi. Penambahan LoRa digunakan agar sistem dapat bekerja pada kawasan yang kesulitan internet serta dapat dipantau melalui aplikasi di smartphone. Jenis penelitian adalah kuantitatif dengan teknik pengambilan data melalui eksperimen. Analisis yang digunakan adalah analisis deskriptif. Sistem ini terdiri dari tiga proses, yaitu input, pengolahan data, output. Sistem ini memanfaatkan sensor kelembapan tanah sebagai alat pengambil data dan teknologi IoT untuk menampilkan data kelembapan tanah sehingga dapat diakses melalui aplikasi pada smartphone untuk memantau kondisi tanah. Sistem akan mendeteksi kelembapan tanah pada tanaman lalu mengirimkan instruksi terhadap pompa untuk mengalirkan air atau tidak. Selain itu, LoRa digunakan untuk memudahkan dalam pengiriman data sehingga pengiriman data dapat dilakukan secara nirkabel serta dapat digunakan ketika tidak ada internet dan skala yang lebih luas. Hasil yang didapatkan, sistem dapat bekerja sesuai dengan nilai kelembapan tanah sehingga dapat menghemat air sebanyak 63,64% dibanding sistem konvensional, kemudian data dapat dipantau pada aplikasi di smartphone.

Kata Kunci: Internet of Things, Irigasi tetes, LoRa, Penghematan air, Perubahan iklim, Sawi;

Abstract – Drip irrigation is a method of irrigation that delivers water directly to the root zone with a low water flow rate but high frequency. This method is used as a solution to save water and improve plant growth, ensuring efficient watering. According to the Central Statistics Agency, 62.9% of farmers in Indonesia still use conventional watering systems, including those in the Pangalengan area of Bandung Regency. If this practice continues, it could hinder plant growth, encourage pest infestations, and lead to water wastage. Therefore, a drip irrigation system using LoRa-based Internet of Things (IoT) technology offers an eco-friendly technological solution for the irrigation process. The addition of LoRa allows the system to operate in areas with limited internet access and enables monitoring via a smartphone application. The research is quantitative, utilizing data collection techniques through experimentation and descriptive analysis. The system comprises three processes: input, data processing, and output. It employs soil moisture sensors for data collection and IoT technology to display soil moisture data, which can be accessed via a smartphone application for monitoring soil conditions. The system detects soil moisture levels in plants and sends instructions to the pump to either supply water or not. Additionally, LoRa facilitates data transmission, allowing wireless data transfer even without internet access and on a larger

SENTER 2024, 03 Oktober 2024, pp. 01-12

ISSN (p): 2985-4903

ISSN (e): 2986-2477

scale. The results showed that the system effectively responds to soil moisture levels, saving 63.64% of water compared to conventional systems, with data being accessible via the smartphone application.

Keywords: Climate Change, Drip Irrigation, Internet of Things, LoRa, Mustard Greens, Water Conservation;

1. Pendahuluan

Air merupakan salah satu unsur kehidupan yang sangat penting dan menjadi kebutuhan bagi semua makhluk hidup tidak terkecuali tumbuhan. Air membantu tumbuhan dalam proses fotosintesis untuk menghasilkan oksigen dan makanan bagi makhluk hidup lainnya. Di era pertanian modern, perubahan iklim global menjadi tantangan yang memberikan dampak terhadap sektor pertanian baik dari produksi maupun produktivitas komoditas pangan yang dihasilkan. Perubahan pola hujan, peningkatan suhu udara dan air laut, serta frekuensi banjir dan kekeringan menjadi tanda perubahan iklim terjadi [1]. Perubahan iklim dipengaruhi oleh banyak hal, salah satunya air. Penggunaan air menjadi sangat penting karena persediaan air terbatas akibat banyak terjadi deforestasi hutan dan pemborosan air. Permasalahan perubahan kondisi iklim sekarang menjadi hal yang penting untuk diperhatikan. Oleh karena itu, tercipta upaya-upaya global untuk menekan perubahan iklim yang dituangkan dalam program *Sustainable Development Goals* (SDGs). Salah satunya, pada poin ke-13 yaitu penanganan perubahan iklim [2].

Untuk menghadapi tantangan iklim, penggunaan air menjadi sangat krusial. Pada bidang pertanian, sistem irigasi memiliki peran penting untuk memberikan kestabilan air terhadap tanaman tani akibat perubahan iklim. Irigasi merupakan suatu proses menyadap atau mengambil dari sumbernya untuk keperluan pertanian guna memenuhi kebutuhan air tanaman [1]. Irigasi menjadi faktor penting untuk meningkatkan efisiensi dan produksi hasil pertanian berdasarkan kebutuhan tanaman dan kondisi tanah [1].

Pada umumnya, petani masih menggunakan sistem irigasi konvensional dengan cara penyemburan air. Menurut survei oleh Badan Pusat Statistik tahun 2023 menyatakan bahwa 62,9% dari total petani di Indonesia masih menggunakan sistem penyiraman konvensional [3]. Jika terus dilakukan dapat berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman seperti gangguan dari gulma dan terjadinya pemborosan air. Air yang disiramkan tidak sepenuhnya diserap oleh tanaman karena air yang diserap hanya air yang berada pada sekitar akar tanaman. Hal ini menjadikan sistem irigasi konvensional tidak ramah lingkungan karena penggunaan air yang tidak tepat guna. Penggunaan air harus digunakan seefisien mungkin agar tidak terjadi bencana kekeringan. Oleh karena itu, salah satu upaya yang muncul di bidang pertanian sebagai solusi untuk menghemat air adalah sistem irigasi tetes (*drip irrigation system*).

Irigasi tetes (*drip irrigation*) adalah metode irigasi dengan cara meneteskan air ke daerah perakaran dengan debit yang rendah serta frekuensi yang tinggi (terus menerus) [4]. Hal itu membuat efisiensi penggunaan air menjadi sangat tinggi dan menekan konsumsi air secara signifikan. Irigasi tetes sering digunakan dalam pertanian hortikultura seperti tanaman sawi (*Brassica Juncea L.*) yang dapat tumbuh maksimal pada kondisi tanah lembap sehingga dengan sistem irigasi ini dapat tercapainya penghematan air pada proses irigasi, meningkatkan kualitas produksi tanaman serta pengendalian gulma yang lebih baik, dan mencegah daun terbakar (*leaf burn*) [5]. Kelembapan tanah ideal berkisar antara 50%-70% RH (*Relative Humidity*) untuk menjaga kondisi tanah dalam kondisi kelembapan optimal [6]. Selain itu, jenis tanah pada objek penelitian ini berjenis tanah lempung yang bagus untuk pertanian dan memiliki kelembapan optimal pada rentang 60-70% [7]. Kontrol penyiraman yang dilakukan secara otomatis pada sistem irigasi tetes dapat menjadi solusi agar penggunaannya lebih efisien karena selain dapat melakukan penyiraman dengan mengikuti indikator nilai kelembapan yang terukur secara aktual pada tanaman, juga dapat memudahkan petani dalam upaya penghematan air agar optimal.

Sistem ini memerlukan pompa untuk mengangkat air dari sumber air menuju jaringan perpipaan lalu jaringan perpipaan akan mendistribusikan air ke tanaman [1]. Sistem irigasi tetes konvensional akan terus melakukan proses irigasi secara kontinu dengan debit yang rendah. Oleh karena itu, dibuat sistem irigasi tetes otomatis dengan memanfaatkan sensor kelembapan kapasitif untuk mendeteksi kelembapan tanah pada media tanam agar proses irigasi hanya dilakukan ketika tanahnya kering atau tidak lembap. Pompa akan hidup jika terdeteksi tanahnya kering dan pompa akan mati jika terdeteksi tanahnya lembap. Karena tanaman akan tumbuh dengan baik pada tanah dengan kelembapan yang sesuai. Selain itu, penambahan teknologi *Long Range* (LoRa) berbasis *Internet of Things* (IoT) digunakan untuk menjangkau daerah yang luas pada zona yang memiliki kesulitan akses internet dan dapat membantu petani dalam memonitoring kondisi tanah dan penyiraman.

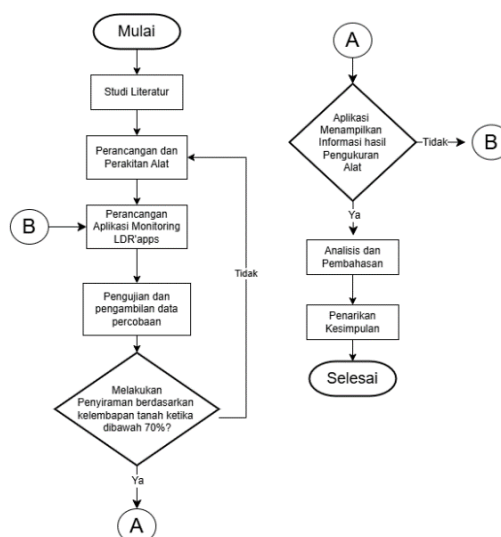
LoRa merupakan salah satu teknologi komunikasi nirkabel yang memiliki kemampuan untuk melakukan komunikasi jarak jauh dengan data *rate* yang kecil dengan kemampuan berkisar 0.3-37.5 Kbps dan jarak terjauh yang dapat dijangkau sekitar 15 km [8]. LoRa dapat menghubungkan perangkat *Internet of Things* (IoT) yang sulit dijangkau oleh jaringan nirkabel. Penerapan teknologi *Internet of Things* (IoT) digunakan untuk menghubungkan sistem ke internet sehingga dapat diakses melalui aplikasi di manapun dan kapanpun untuk memantau kondisi tanah sehingga diharapkan kondisi tanah selalu dalam kondisi optimal [9]. Penggabungan teknologi LoRa dan *Internet of Things* membuat proses *monitoring* menjadi lebih mudah dan dapat dilakukan tanpa kabel di daerah yang kesulitan akses internet.

Berdasarkan latar belakang tersebut, sistem irigasi tetes menggunakan LoRa berbasis IoT menjadi solusi tepat untuk mengatasi permasalahan air pada proses irigasi dan memudahkan petani dalam memantau proses penyiraman di lahan pertanian pada Kawasan sulit akses internet menggunakan aplikasi di *smartphone*. Dampak dari penerapan rancangan alat yang dibangun ini dapat menjadi salah satu kontribusi pada upaya mewujudkan satu di antara tujuan program *Sustainable Development Goals* (SDGs) untuk penanganan perubahan iklim.

2. Metode Penelitian

2.1. Alur Penelitian

Adapun kerangka berpikir pada penelitian dan pembuatan alat “LDR” dalam diagram berikut ini pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram kerangka berpikir penelitian.

Penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur dari berbagai jurnal penelitian diantaranya hasil penelitian I. A. Azam, H. Pujiharsono dan S. Indriyanto pada jurnal Teodolita dan M. A. Awaludin and A. B. Utomo pada jurnal JTEIN berdasarkan topik yang diteliti agar memperoleh informasi relevan untuk melakukan penelitian ini [4] [6]. Selanjutnya dilakukan perancangan dan pengonsepan alat berdasarkan studi literature dan survei lapangan. Selain itu dilakukan perancangan aplikasi monitoring LDR'apps sebagai penunjang fungsi pemantauan dari alat yang dirancang. Setelah perancangan alat dan aplikasi, dilakukan pengujian dan pengambilan data untuk membuktikan bahwa alat yang dirancang dapat bekerja sesuai dengan perencanaan.

Selanjutnya dilakukan analisis hasil pengujian jika pada kondisi kelembapan tanah kurang dari 50% maka penyiraman akan aktif dan penyiraman akan non-aktif ketika kelembapan tanah lebih dari 70%. Jika hasil yang diperoleh dari pengujian tidak sesuai maka akan kembali dilakukan perancangan alat sebagai bentuk perbaikan. Hasil pengukuran sensor yang terdapat pada alat kemudian akan ditampilkan pada aplikasi yang telah dirancang sebagai bentuk pemantauan jarak jauh menggunakan *Internet of Things* (IoT). Jika sudah sesuai dengan perencanaan maka alat yang dirancang dinyatakan berhasil berdasarkan analisis dan penarikan kesimpulan akhir yang dilakukan.

2.2. Metode Pengumpulan Data

Pada penelitian ini, pengumpulan data dilakukan dengan metode penelitian kuantitatif. Metode Kuantitatif adalah metode yang cenderung mengutamakan pengumpulan data berupa nilai atau angka [10]. Selain itu data yang digunakan pada penelitian ini bersumber dari hasil wawancara pemilik lahan penelitian; eksperimen percobaan alat pada objek lokasi penelitian meliputi data kelembapan tanah yang diukur menggunakan sensor kelembapan tanah kapasitif, data debit air penyiraman menggunakan sensor *water flowmeter*, data pengujian sinyal LoRa; jurnal penelitian terkait; dan beberapa referensi yang berkaitan dengan topik penelitian ini sebagai pendukung penelitian ini. Data yang diperoleh menggunakan metode kuantitatif meliputi tingkat akurasi sensor yang digunakan dalam tahap perancangan, sehingga penelitian ini juga menerapkan metode observasi non-partisipan yang meninjau secara langsung objek penelitian lapangan [11].

2.3. Metode Analisis Data

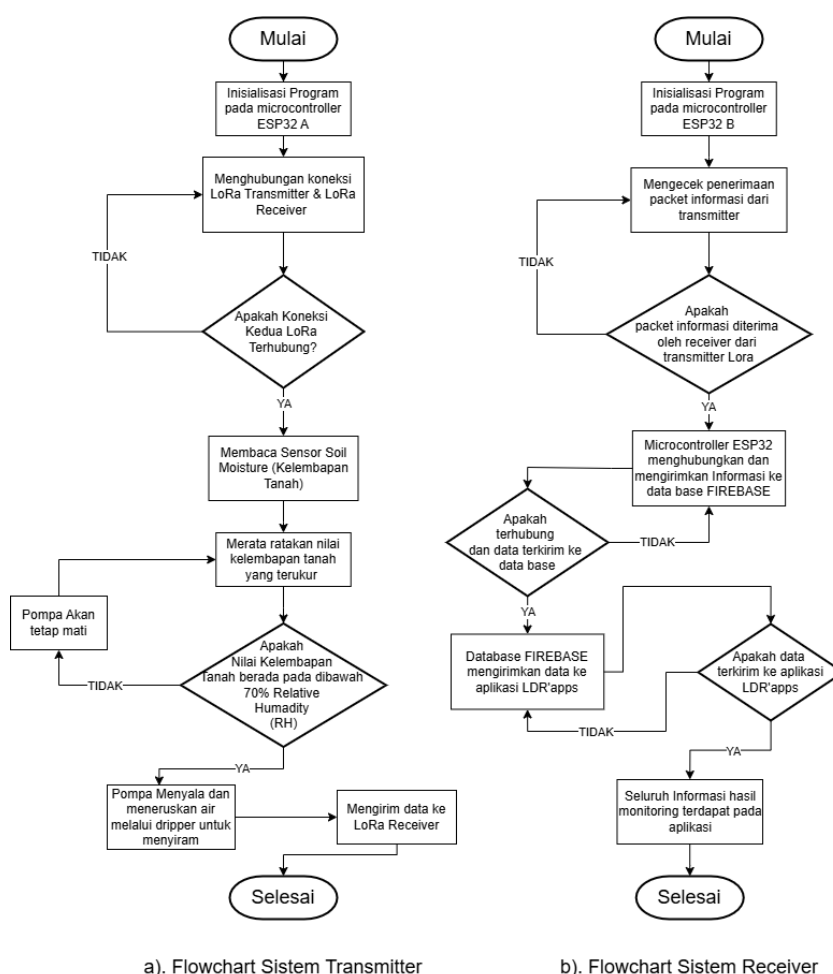
Berdasarkan data kuantitatif yang diperoleh dari percobaan yang ada, dilakukan analisis data menggunakan metode analisis deskriptif. Analisis deskriptif ini digunakan untuk mengevaluasi dan menggambarkan hasil dan kondisi dari sistem atau keadaan sekelompok peristiwa percobaan tertentu. Melalui pendekatan ini, hasil kuantitatif disimpulkan menjadi gambaran rinci tentang fenomena hasil yang diperoleh.

2.4. Desain Rancangan Alat

Langkah pertama yang dilakukan dalam membuat desain rancangan alat menggunakan *software* SketchUp sebagai alat bantu untuk desain 3D. Alat bernama LDR atau kependekan dari *LoRa Drip System Irrigation* didesain berbentuk kotak sebagai *control box* yang menyimpan *microcontroller* yang tersambung dengan modul LoRa, sensor kelembapan tanah dan relay. Selanjutnya, kotak tersebut terhubung ke pompa (*actuator*) untuk mengalirkan air dari sumber air ke tanah melalui selang dan emitter (*dripper*). *Control box* diletakan di tempat yang jauh dari tanah untuk menghindari kerusakan alat akibat terkena air. Langkah kedua, merancang *hardware* yang terdiri dari tiga bagian, yaitu bagian sistem *transmitter*, sistem *actuator*, dan bagian sistem *receiver*. Sistem *transmitter* terdiri dari ESP32, sensor kelembapan tanah kapasitif, relay, dan LoRa *transmitter*. ESP32 berperan sebagai pengatur kerja sistem. ESP32 akan mengirimkan data *input* yang diperoleh sensor kelembapan tanah kapasitif (kering pada $<50\% Rh$ atau lembap pada rentang $50\%-70\% Rh$ dan basah pada $>70\% Rh$) lalu mengirimkan instruksi ke relay untuk mengaktifkan pompa (jika tanah kering) atau mematikan pompa (jika tanah lembap/basah). Selain

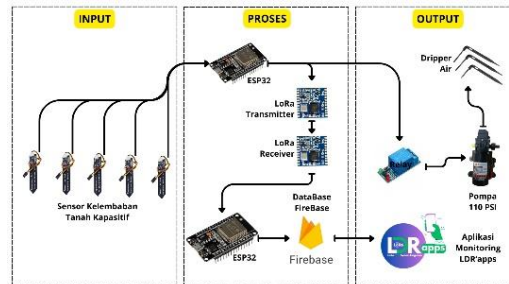
itu, ESP32 akan mengirimkan data melalui LoRa *transmitter* ke LoRa *receiver*. Pada sistem *actuator* terdiri dari pompa, selang, dan emitter. Pompa akan mengalirkan air jika mendapatkan instruksi dari relay. Air dialirkan dari sumber air ke jaringan selang lalu ke emitter sehingga air mengalir dengan debit yang rendah dan kontinu. Sedangkan, pada sistem *receiver* terdiri dari LoRa *receiver* dan ESP32. LoRa *receiver* akan menerima data dari LoRa *transmitter*, selanjutnya ESP32 akan mengirimkan data informasi hasil ke Firebase sebagai pusat *database*. Langkah ketiga, merancang *software* dengan membuat *database* menggunakan Firebase. Data yang diterima oleh sistem *receiver* akan dikirim ke FireBase. Setelah itu, merancang *front-end*, membuat tampilan aplikasi yang menarik dan efisien. Lalu, merancang *back-end* sehingga data yang berada di Firebase dapat diakses melalui aplikasi bernama “LDR’apps”.

Selanjutnya pada Gambar 2 merupakan *flowchart* yang menunjukkan alur kerja keseluruhan alat dari mulai beroperasi hingga selesai sehingga diagram alur tersebut akan menggambarkan proses kerja yang berlangsung secara terstruktur.



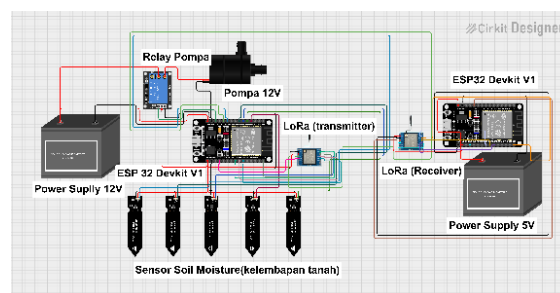
Gambar 2. Flowchart kinerja keseluruhan sistem.

Pada Gambar 3 merupakan desain sistem yang dibuat sebagai perencanaan awal untuk perancangan alat LDR. Pada desain sistem tersebut terdapat hubungan antara komponen-komponen yang diperlukan sebagai kebutuhan untuk proses selanjutnya yaitu perakitan alat.



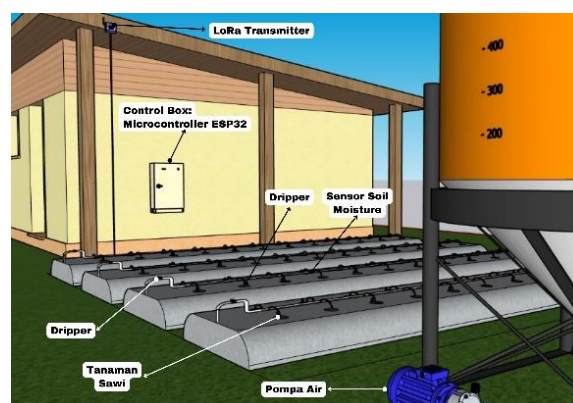
Gambar 3. Desain sistem.

Pada Gambar 4 dibawah merupakan skematik rangkaian atau pengkabelan (*wiring*) yang menunjukkan hubungan dari setiap komponen yang membentuk sistem kinerja yang direncanakan. Pada desain tersebut mencakup 2 sistem yaitu rangkaian pada sistem *transmitter* dan *receiver*.



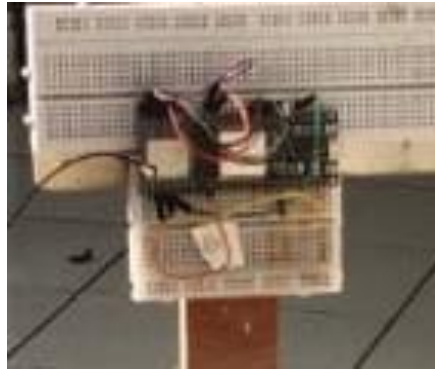
Gambar 4. Desain skematik sistem.

Gambar 5 merupakan desain 3D yang menunjukkan terkait ilustrasi implementasi alat yang telah dibuat. Terdapat pompa air sebagai penyuplai air dari penyimpanan menuju *dripper* penyiraman, kemudian sistem *microcontroller* ESP32 terdapat pada *box control* yang diletakan berdekatan dengan tiang *LoRa transmitter* sebagai pengirim informasi untuk diteruskan ke *LoRa receiver*. *Soil moisture sensor* atau sensor kelembapan tanah diletakan berdekatan dengan akar pada tanaman sawi, serta pada sisi yang berlawanan diletakan *dripper* sebagai media untuk irigasi tetes dalam penyiraman.



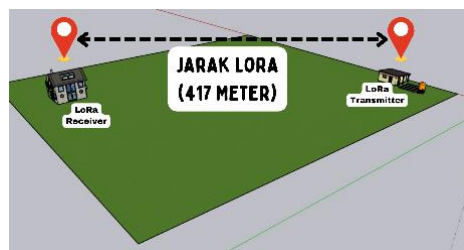
Gambar 5. Desain 3D sistem dan alat.

Pada Gambar 6 merupakan gambar LoRa yang digunakan pada perancangan alat ini.



Gambar 6. LoRa yang digunakan.

Pada Gambar 7 dibawah merupakan ilustrasi dari LoRa *transmitter* dan LoRa *receiver* tersambung untuk mentransmisikan data informasi kelembapan sehingga dapat ditinjau pada kondisi aktualnya melalui aplikasi walaupun jarak dan jangkauan cukup luas.



Gambar 7. Ilustrasi transmitter dengan receiver

Pada Gambar 8 merupakan denah implementasi alat dengan jarak antara *transmitter* dan *receiver* adalah 417,42 meter. Lokasi pengujian implementasi alat ini dilakukan pada lahan pertanian tanaman Sawi yang terletak di Desa Margamukti Kecamatan Pangalengan Kabupaten Bandung, Jawa Barat.



Gambar 8. Denah implementasi penerapan alat pada lokasi percobaan.

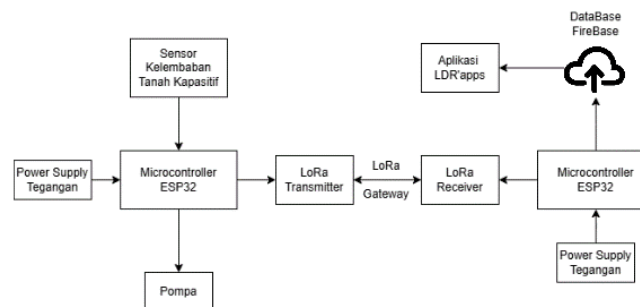
2.5. Desain Rancangan Aplikasi

Selanjutnya pada Gambar 9 merupakan tampilan *user interface* dari aplikasi *monitoring* dan *control* bernama “*LDR’apps*”. Pada *user interface* tersebut terdapat *widget monitoring* persentase kelembapan tanah, waktu aktual berupa hari, tanggal, dan jam dalam skala 24 jam. Pada *user interface* tersebut juga ditambah fitur manual untuk mengaktifkan sistem penyiraman untuk opsi yang dipakai oleh petani pada implementasinya.



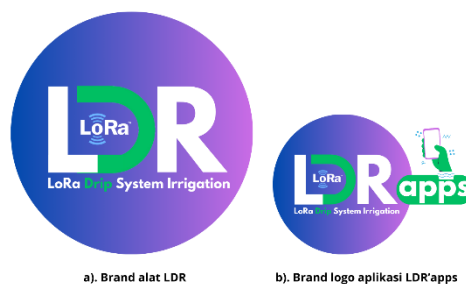
Gambar 9. Desain dan user interface aplikasi LDR'apps.

Pada Gambar 10 di bawah merupakan blok diagram sistem yang menggambarkan hubungan *input*, proses, dan *output* yang terdapat pada sistem yang dirancang.



Gambar 10. Diagram blok sistem LDR.

Selanjutnya pada gambar 11 merupakan logo sebagai identitas dari alat Bernama “LDR” yang terdiri dari enam elemen warna dengan warna hijau yang menunjukkan bahwa alat ini dimanfaatkan pada tanaman yang berwarna hijau. Terdapat dua buah logo diantaranya *brand* dari alat tersebut serta *brand* dari aplikasi monitoring yang bangun.



Gambar 11. Logo identitas alat.

3. Hasil dan Pembahasan

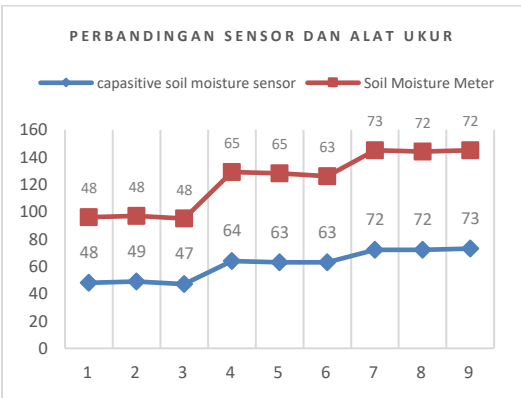
3.1. Pengujian Kualitas *Capacitive Soil Moisture Sensor*

Pada pengujian sensor kelembapan tanah atau *soil moisture sensor* dilakukan 9 kali percobaan dengan sampel kelembapan pada kondisi yang berbeda. Tujuan dari pengujian ini tentunya untuk mengetahui kualitas akurasi yang dihasilkan dari sensor yang digunakan. Pada

pengujian ini, sensor kelembapan yang akan digunakan pada sistem dibandingkan nilai hasil pengukurannya dengan alat ukur *soil moisture meter* yang terpercaya untuk diperoleh nilai perbandingannya. Hal itu untuk mengetahui nilai rata-rata error yang terjadi sehingga dapat disimpulkan bahwa pemakaian sensor kelembapan tanah tersebut tepat guna atau tidak untuk sistem sesuai dengan rancangan. Berdasarkan hasil percobaan, diperoleh nilai rata-rata akurasi 98,7%. Nilai yang dihasilkan memiliki rentang angka diatas *confidence interval* sebesar 95% artinya memiliki kualitas yang sangat baik [12]. Sehingga sensor kelembapan tanah yang digunakan layak diimplementasikan pada rancangan dan penelitian ini. Berikut hasil ditunjukkan pada tabel 1 yang menunjukan hasil pengujian sensor kelembapan tanah kapasitif.

Tabel 1. Tabel pengujian *Capasitive Soil Moisture sensor*.

KELEMBAPAN					
Sampel	capasitive soil moisture sensor	Soil Moisture Meter	Error (%)	Akurasi (%)	Rata-rata Akurasi (%)
Kering	48	48	0,0%	100,0%	98,7%
	49	48	2,0%	98,0%	
	47	48	2,1%	97,9%	
Lembap	64	65	1,6%	98,4%	
	63	65	3,2%	96,8%	
	63	63	0,0%	100,0%	
Basah	72	73	1,4%	98,6%	
	72	72	0,0%	100,0%	
	73	72	1,4%	98,6%	



Gambar 12. Grafik perbandingan *Capasitive Soil Moisture Sensor* dan *Humidity Soil Meter*.

3.2. Pengujian Kekuatan Sinyal LoRa

Pada Tabel 2 dibawah menunjukan hasil yang diperoleh dari pengujian berbentuk data RSSI yaitu *Received Signal Strength Indicator* sebagai pengukuran yang menentukan nilai secara numerik dari kekuatan sinyal yang diterima oleh penerima dari transmiter. Sedangkan SNR (*Signal Noise Ratio*) adalah sinyal yang diterima dari pengirim yang terganggu oleh *noise*. Semakin mendekati 0 nilai SNR, maka sinyalnya semakin bagus. Dari hasil percobaan yang dilakukan pada rentang jarak 0-700 meter dengan kelipatan 100 meter, kondisi optimal di lapangan tercapai pada jarak 400 meter dengan RSSI bernilai -94 dBm dan SNR bernilai -0,25 dB. Berdasarkan standar penggunaan LoRa bahwa nilai RSSI dinyatakan baik pada rentang -30 dBm hingga -120 dBm [13]. Pengujian RSSI pada percobaan menyatakan bahwa nilai RSSI berada dalam kondisi sinyal yang kuat dan masuk ke dalam standarnya.

Tabel 2. Pengujian kekuatan LoRa.

Ke	Jarak (m)	RSSI (dBm)	SNR (dB)
1	100	-87	7,75
2	200	-90	6,5
3	300	-92	2,2
4	400	-94	-0,25
5	500	-96	-5,5
6	600	-98	-8
7	700	-96	-8,5

3.3. Perbandingan Sistem Drip dengan Sistem Konvensional

Pada Tabel 3 merupakan data perbandingan hasil dari debit air dan volume air yang digunakan untuk melakukan penyiraman dengan sistem irigasi tetes (*drip irrigation system*) dan metode semburan air konvensional. Metode konvensional yang digunakan di Desa Margamukti Pangalengan Kabupaten Bandung dilakukan pada skala 1 m² menghabiskan volume air sebesar 2,42 Liter dari pompa sedangkan hasil pengujian dari penggunaan sistem LDR dengan implementasi di tempat yang sama menghabiskan sebesar 0,88 Liter pada penggunaannya untuk mencapai kelembapan relatif yaitu 50%-70% untuk lahan 1 m² membutuhkan waktu 0,22 menit. Berdasarkan perolehan data tersebut, diperoleh hasil bahwa penggunaan sistem irigasi tetes lebih cenderung hemat air dan lebih efisien dalam penggunaan air dengan selisih air yang digunakan sebanyak 1,54 liter atau sebesar 63,64% lebih hemat. Selain itu pada penyiraman konvensional untuk mencapai kelembapan relatif membutuhkan waktu lebih lambat dibandingkan dengan menggunakan irigasi tetes.

Tabel 3. Perbandingan hasil sistem drip dengan sistem konvensional.

Ketentuan	Penyiraman Drip dengan rancangan LDR	Penyiraman Konvensional
Debit Aliran	4 Liter/Menit	11 Liter/Menit
Waktu Penyiraman	0,22 Menit	0,22 Menit
Volume dihabiskan	0,88 Liter	2,42 Liter

3.4. Pengujian Otomatisasi Penyiraman Sistem Drip

Pada Tabel 4 merupakan data hasil pengujian sistem otomatisasi penyiraman dengan sistem *drip* pada satu kali penyiraman. Penyiraman akan dilakukan hingga mencapai nilai kelembapan tanah 70%, namun ketika sudah dalam kondisi tersebut atau lebih dari nilai tersebut, sistem penyiraman akan dinonaktifkan secara otomatis. Pompa akan aktif hanya ketika kelembapan tanah bernilai di bawah 50% dan akan terus aktif hingga mencapai nilai kelembapan tanah 70%, karena nilai kelembapan tanah optimal berada pada rentang 50%-70% [6].

Tabel 4. Hasil pengujian otomatisasi penyiraman sistem drip.

Sampel	Kelembapan Terukur (%)	Kondisi Pompa air
1	48	Aktif
2	57	Aktif
3	59	Aktif
4	60	Aktif
5	64	Aktif
6	66	Aktif
7	72	Nonaktif
8	74	Nonaktif
9	75	Nonaktif

4. Kesimpulan

Sistem penyiraman tetes (*drip*) otomatis menggunakan LoRa berbasis *Internet of Things* (IoT) diterapkan pada lahan tanaman sawi (*Brassica Juncea L.*) yang berlokasi di Kecamatan Pangalengan Kabupaten Bandung terbukti secara data hasil percobaan dapat membantu menghemat jumlah air. Air yang digunakan untuk proses irigasi pada lahan 1 m² menggunakan “LDR” dapat menghemat 1,54 liter air atau 63,64% lebih hemat dibandingkan dengan sistem konvensional. Berdasarkan pengujian sensor kelembapan yang dijadikan sebagai indikator penyiraman, sensor memiliki rata-rata akurasi 98,7% yang angka tersebut melampaui nilai standar *confidence interval* sehingga layak untuk diimplementasikan. Selain itu monitoring melalui aplikasi menggunakan LoRa sebagai sarana pengiriman data informasi menjadi solusi yang tepat guna, karena berdasarkan pengujian, LoRa dapat memancarkan sinyal dengan baik dan *noise* yang kecil berdasarkan analisis dari nilai *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) dan *Signal Noise Ratio* (SNR) yang diperoleh.

Penelitian ini menghasilkan bukti bahwa sistem irigasi tetes otomatis menggunakan LoRa berbasis IoT yang kemudian disebut sebagai “LDR” memberikan solusi inovatif dan efektif dalam efisiensi penggunaan air dan kemudahan dalam proses pemantauan jarak jauh pada daerah yang kesulitan akses internet. Sehingga, penelitian ini berkontribusi terhadap *Sustainable Development Goals* (SDGs) poin ke 13 yaitu penanganan perubahan iklim. Karena dapat mengurangi pemborosan air dan mendukung pengelolaan air yang berkelanjutan.

Ucapan Terima Kasih

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 mengsucceskan penelitian ini.

Referensi

- [1] R. T. Adhiguna and A. Rejo, "Teknologi Irigasi Tetes dalam Mengoptimalkan Efisiensi Penggunaan Air di Lahan Pertanian," in *Prosiding Seminar Nasional Hari Air Dunia*, Palembang, 2018.
- [2] M. Dr. Ir. Arifin Rudiyanto, *Pedoman Teknis Penyusunan Rencana Aksi Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (TPB)/Sustainable Development Goals (SDGs)*, Jakarta: Kedeputan Bidang Kemaritiman dan Sumber Daya Alam; Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/Badan Perencanaan Pembangunan Nasional, 2020.

- [3] A. Dahlan, A. Nursaliyawati, A. Muslikhah and A. Wibowo, Hasil Pencacahan Lengkap Sensus Pertanian 2023, Jakarta: Badan Pusat Statistik BPS, 2023.
- [4] I. A. Azam, H. Pujiharsono and S. Indriyanto, "Sistem Irigasi Tetes Menggunakan Sensor Tanah YL-69 Berbasis Internet of Think (IoT)," *TEODOLITA : Media Komunikasi Ilmiah Di bidang Teknik*, vol. XXIV, no. 1, pp. 65 - 73, 2023.
- [5] S. M. Susmawati, "Irigasi Tetes, Solusi Efisien Penggunaan Air Untuk Tanaman," BBPP Binuang, 15 May 2023. [Online]. Available: <https://bbppbinuang.bppsdp.pertanian.go.id/artikel/irigasi-tetes,-solusi-efisien-penggunaan-air-untuk-tanaman>. [Accessed 2 July 2024].
- [6] M. A. Awaludin and A. B. Utomo, "Rancang Bangun Sistem Penyiraman Otomatis pada Tanaman Sawi dengan Sistem Irigasi Tetes untuk Lahan Pertanian Lereng Gunung Ungaran," *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, vol. V, no. 1, pp. 32-41, 2024.
- [7] G. y. Setiawan and I. Yani, "STABILISASI TANAH LEMPUNG DENGAN PENAMBAHAN SERABUT KELAPA PADA PENGUJIAN KUAT GESER LANGSUNG (DIRECT SHEAR TEST)," *Jurnal Info Teknik*, vol. 22, no. 1, pp. 31-40, 2021.
- [8] M. M. Kurniawan, K. Amron and R. A. Siregar, "Analisis Karakteristik Transmisi LoRa pada Wilayah Perkotaan," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. VI, no. 8, pp. 3977-3986, 2022.
- [9] M. A. Azzani, B. M. Basuki and E. Noerhayati, "Sistem Kontrol Suhu dan Kelembaban Tanah Pada Irigasi Tetes Berbasis Internet of Things (IoT) Pada Tanaman Selada Merah," *Science Electro*, vol. XVI, no. 4, pp. 1-8, 2023.
- [10] F. Wajdi, D. Seplyana, Juliastuti, E. Rumahlewang, Fatchiatuzahro, N. N. Halisa, S. Rusmalinda, R. Kristiana, M. F. Niam, E. W. Purwanti, S. Melinasari and R. Kusumaningrum, METODE PENELITIAN KUANTITATIF, Bandung: Penerbit Widina Media Utama, 2024.
- [11] G. THABRONI, "Metode Penelitian Deskriptif: Pengertian, Langkah & Macam," serupa.id, 11 2 2021. [Online]. Available: <https://serupa.id/metode-penelitian-deskriptif/>. [Accessed 6 7 2024].
- [12] M. Smitson, Confidence Intervals, California: SAGE Publications US, 2002.
- [13] I. P. Manalu, F. Naibaho, E. S. L. Siahaan and H. Hadi, "Analisa Kinerja LoRa di Bidang Pertanian di Desa Sitoluama, Toba," *Journal of Technical Engineering*, vol. 6, no. 2, pp. 29-34, 2023.

ID: 03

Pengaruh Waktu Pengisian Terhadap *State of Charge* (SoC) dan Jarak Pada Baterai *Lithium-Ion* Dengan Pemodelan *Python*

Effect of Charge Time On State of Charge (SoC) And Distance In Lithium-Ion Batteries With Python Modeling

Andi Ahyina Ardina^{1*}, Samsurizal², Agung Dwi Cahyo³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro Institut Teknologi PLN

Daerah Khusus Jakarta, Indonesia

andi2011077@itpln.ac.id^{1*}, samsurizal@itpln.ac.id², agung2011159@itpln.ac.id³

Abstrak – Perkembangan teknologi kendaraan listrik (EV) semakin pesat seiring dengan meningkatnya kesadaran akan pentingnya energi bersih dan upaya global untuk mengurangi emisi gas rumah kaca. Salah satu komponen kunci dalam kendaraan listrik adalah baterai lithium-ion, yang berfungsi sebagai sumber daya utama. Kinerja baterai lithium-ion sangat mempengaruhi efisiensi dan jangkauan kendaraan listrik, sehingga penelitian mengenai optimasi pengisian baterai menjadi sangat penting. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk Menganalisis faktor yang paling berpengaruh dalam menentukan SoC dari masing-masing baterai lithium ion dalam pengisian selama 60 menit. Mengetahui jarak tempuh terbanyak yang dihasilkan dari masing-masing motor setelah pengisian daya selama 60 menit, serta Menganalisis apa saja faktor utama yang mempengaruhi jarak tempuh terbanyak setelah 60 menit pengisian. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan melakukan pemodelan Python untuk menjalankan berbagai simulasi lima macam baterai dengan spesifikasi yang berbeda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada spesifikasi 72V/20Ah memberikan kinerja terbaik, meningkatnya State of Charge (SoC) sekitar 25% dan memberikan jarak tempuh 25 km setelah 1 jam pengisian serta 50,4V/30Ah memberikan SoC 17% dan jarak tempuh 25 km.

Kata Kunci: Kendaraan listrik, Baterai lithium-ion, Jarak tempuh, State of Charge (SoC)

Abstract – The development of electric vehicle (EV) technology is increasingly rapid along with increasing awareness of the importance of clean energy and global efforts to reduce greenhouse gas emissions. One of the key components in an electric vehicle is the lithium-ion battery, which serves as the main power source. The performance of lithium-ion batteries greatly influences the efficiency and range of electric vehicles, so research on battery charging optimization is very important. The main objective of this research is to analyze the most influential factors in determining the SoC of each lithium ion battery when charging for 60 minutes. Find out the maximum mileage produced by each motorbike after 60 minutes of charging, and analyze the main factors that influence the greatest distance traveled after 60 minutes of charging. This research uses quantitative methods by carrying out Python modeling to run various simulations of five types of batteries with different specifications. The research results show that the 72V/20Ah specification provides the best performance, increasing the State of Charge (SoC) by around 25% and providing a distance of 25 km after 1 hour of charging and 50.4V/30Ah providing a SoC of 17% and a distance of 25 km.

Keywords: Electric vehicles, Lithium-ion batteries, Travel distance, State of Charge (SoC)



1. Pendahuluan

Di Indonesia saat ini, penggunaan kendaraan listrik semakin meningkat. Dengan berbagai macam kendaraan listrik misalnya motor listrik, sepeda listrik, dan mobil listrik. Motor listrik menggantikan mesin pembakaran internal dengan menggunakan bahan bakar fosil yang menghasilkan energi terbarukan. Energi cahaya matahari adalah salah satu jenis energi terbarukan. Panel surya adalah nama untuk baterai yang mengumpulkan energi dari matahari. Karena sumber daya yang luar biasa di Indonesia, kendaraan berbasis listrik memiliki peluang yang cukup besar untuk berkembang. Disisi lain, penggunaan kendaraan listrik dapat mengurangi penggunaan BBM dan emisi karbon [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].

Studi sebelumnya mengamati hubungan antara perubahan arus terhadap waktu saat mengisi baterai dan peningkatan suhu yang diakibatkan oleh pengisian baterai yang terlalu cepat. Penelitian ini menemukan bahwa semakin banyak atau semakin tinggi arus yang dihasilkan, maka semakin lama baterai untuk mengisi yang mengakibatkan peningkatan suhu, yang pada akhirnya menyebabkan baterai terlalu panas dan bisa terjadi hal yang tidak diinginkan/kerusakan [1].

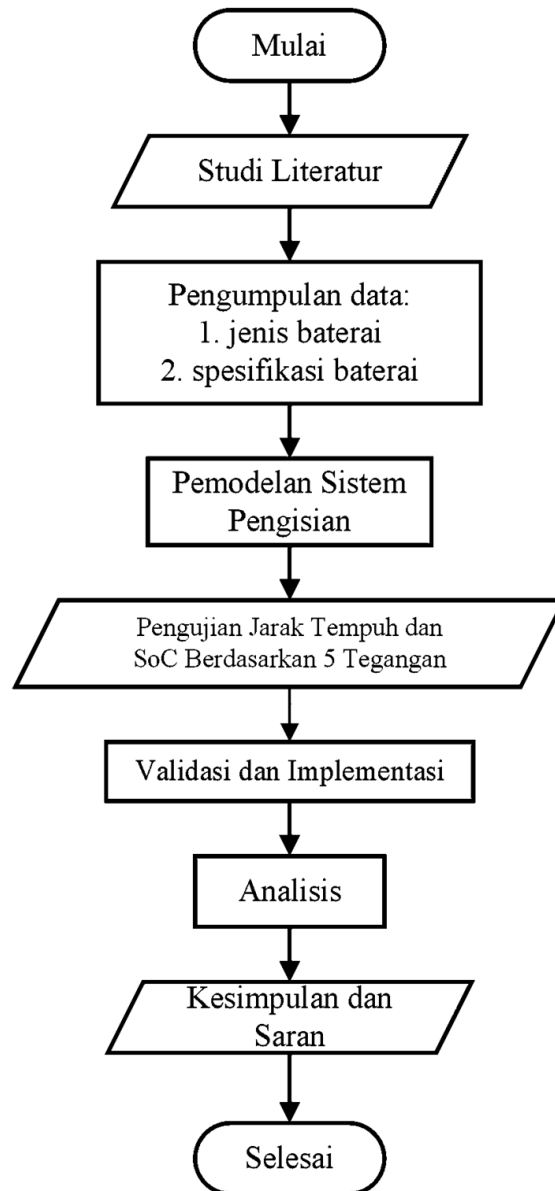
Baterai berperan penting dalam menyediakan arus listrik yang digunakan untuk menggerakkan komponen kelistrikan, misalnya pada system starter, mesin, lampu, dan lain sebagainya (Muchtari et al., 2023). Penelitian sebelumnya telah menyelidiki baterai *lead acid*, baterai Li-Ion, baterai *nickle metal hydride (Ni-MH)* dan *sodium nickle chloride* [4].

Salah satu permasalahan atau kekurangan dalam motor listrik yaitu dalam pengisian dayanya yang cukup lama. Sehingga penelitian ini akan dilakukan untuk melihat perbandingan dari 5 macam baterai *lithium-ion* berdasarkan waktu charging terhadap *State of Charge (Soc)* dan jarak pada kendaraan motor listrik dengan memanfaatkan tegangan, kapasitas, dan daya yang berbeda-beda.

2. Metode Penelitian

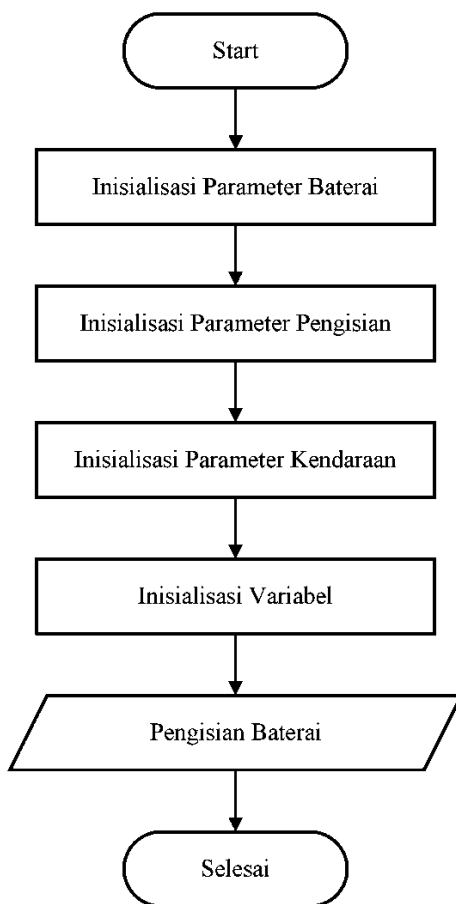
Metode yang dipakai untuk melihat waktu pengisian daya pada baterai kendaraan motor listrik dengan menggunakan baterai *Lithium-Ion* yaitu menggunakan simulasi Bahasa pemrograman python. Simulasi ini dilakukan untuk mengeksplorasi cara melakukan pengisian daya dengan mengimplementasikan metode variasi 5 baterai yang berbeda untuk mengevaluasi dampaknya terhadap SoC dan jarak perjalanan kendaraan listrik tersebut dalam waktu pengisian daya 60 menit.

Dalam menganalisis hasil pengujian, yaitu mengevaluasi peningkatan performa dan efisiensi pengisian kendaraan listrik. Menyimpulkan tegangan yang waktu pengisiannya meningkat cepat dan berapa jarak yang ditempuh kendaraan.



Gambar 12 Diagram Alir Penelitian

Dalam simulasi ini terdapat beberapa codingan yang memerlukan spesifikasi dari baterai dalam pengambilan data. Data yang nantinya akan didapatkan berupa SoC (*state of charge*) atau perkiraan kapasitas, waktu pengisian, dan jarak yang ditempuh kendaraan listrik. Pada gambar 3.2 merupakan tahapan proses simulasi pengisian baterai:



Gambar 13 Diagram Alir Simulasi Pengisian

Pada diagram alir diatas, yang pertama yaitu melakukan inisialisasi parameter baterai. Mulai dari kapasitas baterai, efisiensi pengisian, tegangan, arus, dan tipe baterai yang digunakan. Kemudian menginisialisasi parameter pengisian, yaitu menginput daya maksimum pengisian dan interval waktu pengisian. Selanjutnya untuk inisialisasi parameter kendaraan dengan memasukkan konsumsi energi per jarak. Dan untuk inisialisasi variable yaitu SoC, waktu dan jarak awal. Terakhir yaitu proses pengisian, yaitu dengan menghitung daya pengisian, energi yang diisikan, SoC yang akan dihasilkan, dan jarak yang dapat ditempuh.

3. Hasil dan Pembahasan

A. Hasil Simulasi Spesifikasi 48V/30Ah

Pada Spesifikasi baterai pertama dengan kapasitas 48V/30Ah, terdapat beberapa parameter dari spesifikasi baterai jenis *lithium-ion*. Pada tabel dibawah merupakan data hasil simulasi dengan spesifikasi 48V/30Ah:

Tabel 1. Data hasil simulasi dengan spesifikasi 48V/30Ah

No	Tegangan	Kapasitas Baterai	Waktu Pengisian	SoC (State Of Charge)	Jarak
1	48 Volt	30 Ah	1 menit	0%	0 km
2			6 menit	0%	1 km
3			9 menit	1%	1 km

No	Tegangan	Kapasitas Baterai	Waktu Pengisian	SoC (State Of Charge)	Jarak
4			18 menit	1%	2 km
5			27 menit	2%	2 km
6			31 menit	2%	3 km
7			43 menit	2%	4 km
8			45 menit	3%	4 km
9			55 menit	3%	5 km
10			60 menit	3%	5 km

Simulasi dengan tegangan 48 volt dan kapasitas 30 Ah menunjukkan peningkatan yang relatif lambat dalam hal State of Charge (SoC) dan jarak tempuh. Setelah 1 menit pengisian, tidak ada perubahan signifikan pada SoC maupun jarak tempuh. Baru setelah 9 menit pengisian, SoC mencapai 1% dengan jarak tempuh 1 km. Pada 27 menit pengisian SoC meningkat menjadi 2% dengan jarak sudah mencapai 2 km di menit ke 18. Selanjutnya setelah 60 menit pengisian SoC yang didapatkan 3% dengan jarak tempuh 5 km.

B. Hasil Simulasi Spesifikasi 50,4V/30Ah

Pada Spesifikasi pada baterai kedua dengan kapasitas 50,4V/30Ah, terdapat beberapa parameter dari spesifikasi baterai jenis *lithium-ion*. Pada tabel dibawah merupakan data hasil simulasi dengan spesifikasi 50,4V/30Ah:

Tabel 2. Data hasil simulasi dengan spesifikasi 50,4V/30Ah

No	Tegangan	Kapasitas Baterai	Waktu Pengisian	SoC (State Of Charge)	Jarak
1	50,4 Volt	30 Ah	1 menit	0%	0 km
2			2 menit	1%	1 km
3			4 menit	1%	2 km
4			6 menit	2%	2 km
5			7 menit	2%	3 km
6			9 menit	3%	4 km
7			11 menit	3%	5 km
8			13 menit	4%	5 km
9			14 menit	4%	6 km
10			16 menit	4%	7 km
11			17 menit	5%	7 km
12			19 menit	5%	8 km
13			20 menit	6%	8 km
14			21 menit	6%	9 km
15			23 menit	6%	10 km
16			24 menit	7%	10 km
17			26 menit	7%	11 km
18			28 menit	8%	12 km
19			31 menit	9%	13 km

No	Tegangan	Kapasitas Baterai	Waktu Pengisian	SoC (State Of Charge)	Jarak
20			33 menit	9%	14 km
21			35 menit	10%	15 km
22			38 menit	11%	16 km
23			40 menit	11%	17 km
24			42 menit	12%	18 km
25			45 menit	13%	19 km
26			47 menit	13%	20 km
27			49 menit	14%	20 km
28			50 menit	14%	21 km
29			52 menit	14%	22 km
30			53 menit	15%	22 km
31			54 menit	15%	23 km
32			56 menit	16%	23 km
33			57 menit	16%	24 km
34			59 menit	16%	25 km
35			60 menit	17%	25 km

Penggunaan tegangan 50,4 volt dan kapasitas 30 Ah menunjukkan peningkatan yang lebih signifikan dibandingkan dengan tegangan 48 volt. Setelah 2 menit pengisian, SoC sudah mencapai 1% dengan jarak tempuh 1 km, menunjukkan respons yang lebih cepat terhadap pengisian daya. Peningkatan SoC dan jarak tempuh terjadi secara lebih konsisten seiring bertambahnya waktu pengisian. Pada menit ke-20, SoC mencapai 6% dengan jarak tempuh 8 km. Kemudian pada menit ke-40, SoC meningkat menjadi 11% dengan jarak tempuh 17 km. Pada akhir pengisian selama 60 menit, SoC mencapai 17% dengan jarak tempuh maksimal 25 km. Dapat dilihat pada gambar 4.7 peningkatan SoC dan jarak tempuhnya semakin cepat.

C. Hasil Simulasi Spesifikasi 60V/45Ah

Pada Spesifikasi pada baterai ketiga dengan kapasitas 60V/45Ah, terdapat beberapa parameter dari spesifikasi baterai jenis *lithium-ion*. Dari hasil simulasi menggunakan Bahasa Pemrograman python, didapatkan data simulasi pada baterai ketiga ini. Pada tabel dibawah merupakan data hasil simulasi dengan spesifikasi 60V/45Ah:

Tabel 3. Data hasil simulasi dengan spesifikasi 60V/45Ah

No	Tegangan	Kapasitas Baterai	Waktu Pengisian	SoC (State Of Charge)	Jarak
1	60 Volt	45 Ah	1 menit	0%	0 km
2			3 menit	0%	1 km
3			5 menit	1%	1 km
4			7 menit	1%	2 km
5			12 menit	1%	3 km
6			15 menit	2%	3 km
7			16 menit	2%	4 km

No	Tegangan	Kapasitas Baterai	Waktu Pengisian	SoC (State Of Charge)	Jarak
8			20 menit	2%	5 km
9			25 menit	3%	6 km
10			29 menit	3%	7 km
11			34 menit	3%	8 km
12			35 menit	4%	8 km
13			38 menit	4%	9 km
14			43 menit	4%	10 km
15			45 menit	5%	10 km
16			47 menit	5%	11 km
17			51 menit	5%	11 km
18			52 menit	5%	12 km
19			55 menit	6%	12 km
20			56 menit	6%	13 km
21			60 menit	6%	14 km

Penggunaan tegangan 60 volt dan kapasitas 45 Ah menunjukkan peningkatan yang lebih stabil dibandingkan dengan tegangan sebelumnya. Kapasitas baterai yang lebih besar tampaknya memberikan kontribusi positif terhadap kinerja pengisian. Setelah 3 menit pengisian, jarak tempuh sudah mencapai 1 km meskipun SoC masih 0%. Pada menit ke-5, SoC mencapai 1% dengan jarak tempuh tetap 1 km. Ini menunjukkan adanya respons yang cukup cepat terhadap pengisian daya. Seiring bertambahnya waktu pengisian, peningkatan SoC dan jarak tempuh terjadi secara konsisten. Pada menit ke-29, SoC mencapai 3% dengan jarak tempuh 7 km. Kemudian pada menit ke-45, SoC meningkat menjadi 5% dengan jarak tempuh 10 km. Selanjutnya dari pengisian selama 60 menit, SoC mencapai 6% dengan jarak tempuh maksimal 14 km. Walaupun persentase SoC tidak setinggi pada pengujian dengan tegangan 50,4 volt, jarak tempuh yang dihasilkan cukup signifikan mengingat waktu pengisian yang sama.

D. Hasil Simulasi Spesifikasi 64V/21Ah

Pada Spesifikasi baterai keempat dengan kapasitas 64V/21Ah, simulasi menggunakan Bahasa Pemrograman python, didapatkan data simulasi pada baterai keempat. Hasil yang didapatkan berupa SoC dan jarak tempuh selama waktu 60 menit. Pada tabel dibawah merupakan data hasil simulasi dengan spesifikasi 64V/21Ah:

Tabel 4. Data hasil simulasi dengan spesifikasi 64V/21Ah

No	Tegangan	Kapasitas Baterai	Waktu Pengisian	SoC (State Of Charge)	Jarak
1	64 Volt	21 Ah	1 menit	0%	0 km
2			4 menit	0%	1 km
3			5 menit	1%	1 km
4			13 menit	2%	2 km
5			20 menit	2%	3 km
6			22 menit	3%	3 km
7			28 menit	3%	4 km

No	Tegangan	Kapasitas Baterai	Waktu Pengisian	SoC (State Of Charge)	Jarak
8			30 menit	4%	4 km
9			36 menit	4%	5 km
10			38 menit	5%	5 km
11			44 menit	5%	6 km
12			47 menit	6%	6 km
13			52 menit	6%	7 km
14			55 menit	7%	7 km
15			60 menit	7%	8 km

Penggunaan tegangan 64 volt dan kapasitas 21 Ah menunjukkan pola pengisian yang berbeda dibandingkan dengan tegangan sebelumnya. Meskipun kapasitas baterai lebih kecil, peningkatan SoC dan jarak tempuh tetap terjadi, walau tidak sepesat yang mungkin diharapkan. Setelah 4 menit pengisian, belum ada perubahan signifikan pada SoC, namun jarak tempuh sudah mencapai 1 km. Namun setelah 5 menit pengisian, SoC mencapai 1% dengan jarak tempuh tetap 1 km. Ini menunjukkan adanya sedikit keterlambatan dalam peningkatan SoC dibandingkan dengan jarak tempuh. Seiring bertambahnya waktu pengisian, peningkatan SoC dan jarak tempuh terjadi secara bertahap. Pada menit ke-22, SoC mencapai 3% dengan jarak tempuh 3 km. Kemudian pada menit ke-30, SoC meningkat menjadi 4% dengan jarak tempuh 4 km. selanjutnya pada menit ke-47, SoC meningkat lagi menjadi 6% dengan jarak tempuh 6 km dan dimenit ke-60 pada jarak tempuh 8 km. SoC meningkat menjadi 7% di menit ke-55.

E. Hasil Simulasi Spesifikasi 72V/20Ah

Pada Spesifikasi pada baterai kelima dengan kapasitas 72V/20Ah, terdapat beberapa parameter dari spesifikasi baterai jenis *lithium-ion*. Dari hasil simulasi menggunakan Bahasa Pemrograman python, didapatkan data simulasi pada baterai kelima ini. Pada tabel dibawah merupakan data hasil simulasi dengan spesifikasi 72V/20Ah:

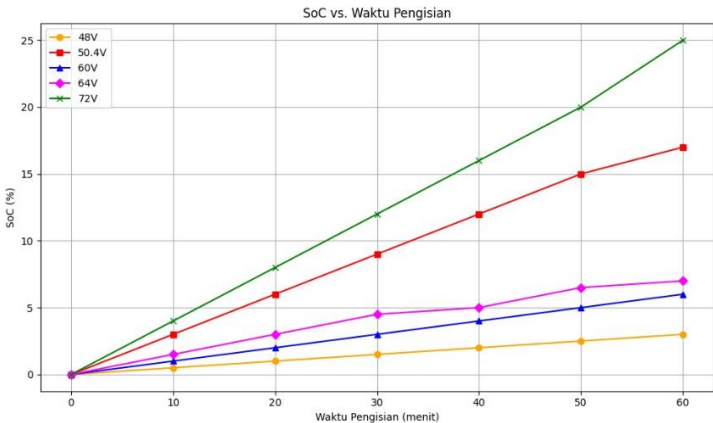
Tabel 5. Data hasil simulasi dengan spesifikasi 72V/20Ah

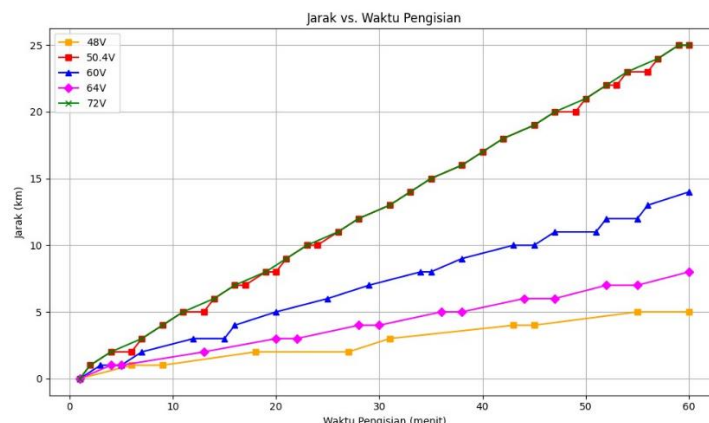
No	Tegangan	Kapasitas Baterai	Waktu Pengisian	SoC (State Of Charge)	Jarak
1	72 Volt	20 Ah	1 menit	0%	0 km
2			2 menit	1%	1 km
3			4 menit	2%	2 km
4			7 menit	3%	3 km
5			9 menit	4%	4 km
6			11 menit	5%	5 km
7			14 menit	6%	6 km
8			16 menit	7%	7 km
9			19 menit	8%	8 km
10			21 menit	9%	9 km
11			23 menit	10%	10 km
12			26 menit	11%	11 km
13			28 menit	12%	12 km

No	Tegangan	Kapasitas Baterai	Waktu Pengisian	SoC (State Of Charge)	Jarak
14			31 menit	13%	13km
15			33 menit	14%	14 km
16			35 menit	15%	15 km
17			38 menit	16%	16 km
18			40 menit	17%	17 km
19			42 menit	18%	18 km
20			45 menit	19%	19 km
21			47 menit	20%	20 km
22			50 menit	21%	21 km
23			52 menit	22%	22 km
24			54 menit	23%	23 km
25			57 menit	24%	24 km
26			59 menit	25%	25 km
27			60 menit	25%	25 km

Penggunaan tegangan 72 volt pada baterai lithium-ion dengan kapasitas 20 Ah menunjukkan peningkatan yang paling signifikan dan konsisten di antara semua pengujian. Meskipun kapasitas baterai lebih kecil, peningkatan SoC dan jarak tempuh terjadi dengan sangat cepat dan stabil. Setelah hanya 2 menit pengisian, SoC sudah mencapai 1% dengan jarak tempuh 1 km. Ini menunjukkan respons yang sangat cepat terhadap pengisian daya. Pada menit ke-11, SoC mencapai 5% dengan jarak tempuh 5 km, menunjukkan peningkatan yang linear dan konsisten. Seiring bertambahnya waktu pengisian, peningkatan SoC dan jarak tempuh terus terjadi secara proporsional. Pada menit ke-35, SoC mencapai 15% dengan jarak tempuh 15 km. Kemudian pada menit ke-47, SoC meningkat menjadi 20% dengan jarak tempuh 20 km. Pada akhir pengisian selama 60 menit, SoC mencapai 25% dengan jarak tempuh maksimal 25 km. Ini merupakan hasil terbaik di antara semua pengujian, menunjukkan efektivitas penggunaan tegangan tinggi untuk pengisian cepat.

Hasil simulasi diatas didapatkan dari simulasi menggunakan pemodelan Bahasa pemrograman python. Adapun grafik yang ditunjukkan dibawah ini adalah kesimpulan dari kelima jenis baterai dengan spesifikasi yang berbeda:





4. Kesimpulan

Baterai mencapai State of Charge (SoC) tertinggi sekitar 25% setelah 60 menit pengisian, yang merupakan kinerja terbaik di antara semua baterai yang diuji. Faktor yang mempengaruhi banyaknya SoC yang dihasilkan yaitu daya yang berperan sangat penting dalam hal pengisian daya. Daya yang lebih besar akan menghasilkan SoC yang lebih banyak. Selanjutnya untuk jarak tempuh terbanyak yang dihasilkan dari masing-masing baterai yaitu 25% setelah 60 menit pengisian pada baterai motor Kawasaki ninja dan Gesits G1. Faktor yang mempengaruhinya yaitu kapasitas baterai dan efisiensi pengisian yang memainkan peran penting. Kapasitas yang lebih besar tidak selalu berarti jarak tempuh yang lebih jauh. Ini bergantung pada efisiensi penggunaan energi, kecepatan, dan karakteristik pengisian baterai. Pada spesifikasi baterai 50,4V/30Ah dan 72V/20Ah menghasilkan jarak tempuh terpanjang, yaitu sekitar 25 km setelah 1 jam pengisian.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, baik secara moral maupun material sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dan dipublikasikan dalam bentuk jurnal. Ucapan terima kasih khusus disampaikan kepada para pembimbing, rekan peneliti, dan institusi yang telah memberikan bimbingan, fasilitas, serta sumber daya yang diperlukan selama proses penelitian. Dukungan dan kontribusi yang diberikan sangat berarti dalam mencapai hasil yang diharapkan.

Referensi

- [1] Muchtari, F. A., Putra, A. M. N., & Bandri, S. (2023). Analisis Pengaruh Perubahan Arus Terhadap Waktu Dan Temperatur Pengisian Baterai Kendaraan Listrik. *Ensiklopedia of Journal*, 5(3), 115–119.
- [2] Mamahit, C., Ticoh, J., Memah, V., & Angmalisang, H. (2022). Studi Sistem Pengisian Cepat Baterai Kendaraan Listrik Berbasis Papan Pengendali OpenEVSE. *Jurnal Edunitro: Jurnal Pendidikan Teknik Elektro*, 2(1), 61–70. <https://doi.org/10.53682/edunitro.v2i1.3909>
- [3] Pratiwi, A. A., Wibawa, B. M., & Baihaqi, I. (2020). Identifikasi Sepeda Motor Listrik Terhadap Niat Membeli: Kasus di Indonesia. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 9(1). <https://doi.org/10.12962/j23373520.v9i1.50819>
- [4] Pristisahida, A. O., & Munawar, I. (2021). Konfigurasi baterai lead acid pada sistem pengaturan motor BLDC untuk aplikasi mobil listrik. 1(2), 163–174.
- [5] Achlison, U., Santoso, J. T., Rozikin, K., & Diapoldo, F. (2023). Analisis Pengisian Baterai berbasis Arus dan Tegangan pada Baterai Kendaraan Listrik. 16(2), 430–433.
- [6] Mohamed awad. (2022). Perancangan dan analisis stasiun pengisian kendaraan listrik bertenaga energi fotovoltaik yang efisien menggunakan perturb dan mengamati algoritma MPPT. Operasi Dan Manajemen Stokastik.

Implementasi YOLO untuk Pengawasan Real-Time di Area Pemandokan Mahasiswa

YOLO Implementation for Real Time Monitoring in Student Housing Areas

Muhammad Iqbal Angkasa¹, Abdullah Martua Muslih², Elvira Sukma Wahyuni³, Hendra Setiawan^{4*}

^{1,2,3,4}Teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta, Indonesia

Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta, Indonesia

20524054@students.uui.ac.id¹, 20524071@students.uui.ac.id², 155231301@uui.ac.id³,
025200526@uui.ac.id^{4*}

Abstrak – Pencurian kendaraan bermotor di Indonesia, terutama di kawasan kos, asrama dan pemandokan mahasiswa, menjadi masalah keamanan yang semakin mendesak. Banyak kasus pencurian terjadi di lingkungan ini, di mana pengawasan dan sistem keamanan sering kali kurang memadai. Untuk menjawab tantangan ini, penelitian ini mengembangkan sebuah sistem keamanan inovatif berbasis pengenalan wajah dengan menggunakan model You Only Look Once (YOLO). Sistem ini memanfaatkan kamera Arducam IMX477 yang terhubung dengan Raspberry Pi 4B, yang secara otomatis memproses gambar wajah dan mengirimkan notifikasi secara real-time kepada pengguna melalui bot Telegram. Pengujian menunjukkan bahwa sistem ini memiliki akurasi sebesar 86% dan presisi 85,5%, dengan performa yang meningkat pada malam hari, mencapai akurasi 92%. Dari enam spesifikasi yang diusulkan, lima telah berhasil dipenuhi, termasuk kemampuan mengirim notifikasi secara real-time, resolusi kamera 1080p, identifikasi orang, pemantauan melalui aplikasi, dan operasi selama 24 jam. Namun, ketahanan alat terhadap kondisi cuaca, terutama hujan, masih perlu ditingkatkan. Sistem ini diharapkan dapat meningkatkan keamanan di lingkungan kos-kosan, membantu mengurangi angka kejahatan, dan memberikan rasa aman bagi para penghuninya.

Kata Kunci: sistem keamanan, pengenalan wajah, You Only Look Once, notifikasi real-time

Abstract – Motorcycle theft in Indonesia, particularly in boarding house areas, has become an increasingly pressing security issue. Many thefts occur in these environments where surveillance and security systems are often inadequate. To address this challenge, this research developed an innovative security system based on facial recognition using You Only Look Once (YOLO) model. The system utilizes an Arducam IMX477 camera connected to a Raspberry Pi 4B, which automatically processes facial images and sends real-time notifications to users via a Telegram bot. Testing showed that the system has an accuracy of 86% and a precision of 85.5%, with performance improving at night, reaching an accuracy of 92%. Of the six proposed specifications, five have been successfully met, including the ability to send real-time notifications, 1080p camera resolution, person identification, monitoring via an application, and 24-hour operation. However, the system's durability in weather conditions, particularly rain, still needs improvement. This system is expected to enhance security in boarding house environments, help reduce crime rates, and provide a sense of safety for the residents.

Keywords: security system, facial recognition, You Only Look Once, real-time notification.

1. Pendahuluan

Pencurian adalah tindakan kriminal yang sangat merugikan masyarakat. Pencurian kendaraan di Indonesia telah menjadi masalah keamanan yang semakin serius di berbagai wilayah. Data dari Robinopsnal Bareskrim Polri menunjukkan peningkatan jumlah penindakan

terhadap kasus pencurian sepeda motor selama dua pekan pertama Mei 2022. Pada periode 1 hingga 7 Mei 2022, polisi berhasil menindak 118 kasus pencurian sepeda motor di seluruh wilayah Indonesia. Namun, jumlah tersebut meningkat drastis pada periode 8 hingga 14 Mei 2022, dengan peningkatan sebesar 61%, mencapai 309 kasus. Setelah itu, terjadi penurunan jumlah kasus pada periode 15 hingga 21 Mei 2022, menjadi sebanyak 257 kasus [1]. Menurut data dari Radar Jogja, kawasan kos-kosan sering kali menjadi target para pelaku tindak pidana pencurian kendaraan bermotor. Iptu Mateus Wiwit Kustiyadi, Kanit Reskrim Polsek Depok Barat, menegaskan bahwa lingkungan kos-kosan merupakan daerah yang rawan. Kejadian ini sering kali menjadi incaran pelaku pencurian bukan tanpa alasan. Hal ini disebabkan oleh kurangnya sistem keamanan yang memadai di area parkir kos-kosan, yang pada akhirnya berkontribusi pada peningkatan kasus pencurian kendaraan. Kondisi ini memberikan kepercayaan diri kepada para pencuri untuk melancarkan aksinya [2].

Pasal 362 KUHP menyatakan, “Barang siapa yang mengambil barang atau sesuatu yang seluruhnya atau sebagian kepunyaan orang lain, diancam dengan pidana penjara paling lama lima tahun atau denda paling banyak enam puluh rupiah.” Tindak kejahatan yang memiliki efek sangat merugikan korban adalah pencurian, karena selain kehilangan materi, korban pencurian kendaraan sering kali harus menghadapi kerugian finansial yang signifikan, baik karena harus mengganti kendaraan yang dicuri atau melakukan perbaikan yang mahal. Pencurian kendaraan juga dapat mengganggu mobilitas sehari-hari dan menciptakan rasa ketidakamanan di lingkungan tempat tinggal.

Kejahatan pencurian kendaraan sering kali terjadi di lingkungan kos-kosan, terutama ketika kehadiran orang asing tidak terdeteksi. Hal ini menimbulkan kekhawatiran bagi para penghuni, yang berpotensi merasa tidak aman. Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan sistem keamanan yang lebih efektif. Salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah pengembangan alat yang memanfaatkan teknologi pengenalan wajah melalui kamera. Alat ini dirancang untuk membedakan antara penghuni kos-kosan dan orang asing, sehingga dapat memberikan peringatan dini kepada penghuni.

Sistem ini akan dilengkapi dengan komponen yang mampu mengirimkan data secara real-time kepada pengguna, memastikan bahwa setiap aktivitas mencurigakan dapat segera ditindaklanjuti. Saat ini, banyak sistem kamera yang tidak memiliki kemampuan untuk mengenali wajah, sehingga pengembangan sistem baru ini sangat penting. Dengan memanfaatkan kemajuan dalam teknologi pengenalan wajah, yang kini semakin akurat dan cepat berkat algoritma kecerdasan buatan, sistem ini dapat meningkatkan keamanan di lingkungan kos-kosan secara signifikan.

Pasar teknologi pengenalan wajah diperkirakan akan tumbuh pesat, mencapai lebih dari USD 19,3 miliar pada tahun 2032, dengan tingkat pertumbuhan tahunan sebesar 14,6% [3]. Hal ini menunjukkan potensi besar penerapan teknologi ini dalam meningkatkan sistem keamanan. Dengan demikian, pengembangan sistem pengenalan wajah yang terintegrasi dengan CCTV tidak hanya akan memberikan rasa aman bagi penghuni kos-kosan, tetapi juga berkontribusi pada pengurangan angka kejahatan di area tersebut.

Tiga penelitian terkait sistem keamanan berbasis pengenalan wajah menunjukkan perkembangan yang signifikan dalam upaya meningkatkan keamanan rumah. Pada tahun 2019, Sutarti, Sunny Samsuni, dan Isnan Asseghaf [4] mengembangkan sistem yang menggunakan Raspberry Pi dan webcam dengan teknologi pengenalan wajah untuk mendeteksi penghuni rumah dan orang asing, serta mengirimkan notifikasi ke telepon pintar penghuni. Sistem ini efektif di siang hari namun mengalami penurunan akurasi pada malam hari, dengan tingkat kesalahan mencapai 74,3%. Kelebihan dari sistem ini adalah kemampuannya memberikan peringatan cepat, meskipun terbatas oleh jarak deteksi wajah.

Selanjutnya, pada tahun 2020, Setiawan dkk. [5] mengembangkan sistem pengenalan wajah sebagai kata sandi pintu rumah, yang menunjukkan tingkat akurasi keseluruhan 98,5%. Sistem ini sangat efektif dalam kondisi cahaya terang, dengan akurasi 100% saat mendeteksi wajah dengan ekspresi senyum. Kelebihan utama sistem ini adalah tingkat keamanan yang tinggi, karena hanya pemilik rumah atau orang yang diizinkan yang dapat membuka kunci rumah. Namun, sistem ini kurang efektif dalam kondisi pencahayaan rendah, yang dapat mengurangi kemampuan deteksi wajah dengan akurat.

Kemudian, pada tahun 2022, A. Putri Jutika [6] memperkenalkan sistem keamanan yang lebih canggih menggunakan metode Haar-Cascade dan dual-camera untuk meningkatkan akurasi deteksi wajah. Sistem ini mampu memberikan notifikasi real-time kepada pemilik rumah melalui smartphone saat orang asing terdeteksi, dengan tingkat keberhasilan 99,2% pada jarak 50 cm. Meskipun lebih akurat, sistem ini memiliki kekurangan dalam hal biaya yang lebih tinggi dan perbedaan resolusi antara kedua kamera.

Meskipun penelitian sebelumnya telah menunjukkan kemajuan dalam pengembangan sistem keamanan berbasis pengenalan wajah, namun untuk implementasinya diperlukan biaya yang tidak murah. Selain itu tidak ada notifikasi dari sistem ketika ada orang yang tidak dikenal berada di area pengawasan. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengembangkan sistem yang dapat memberikan informasi terkait dengan keberadaan orang asing dengan biaya implementasi yang lebih efisien.

2. Metode Penelitian

Sistem yang diusulkan menggunakan tetap menggunakan konsep face recognition untuk mengenali obyek yang ada di dalam area pengawasan. Face recognition adalah teknologi biometrik yang sering digunakan dalam sistem keamanan untuk mengidentifikasi pelaku tindak kriminal melalui kamera, meningkatkan efisiensi dan akurasi. Proses ini melibatkan perbandingan citra wajah yang terdeteksi dengan data yang ada, mengidentifikasi wajah yang paling mirip. Langkah-langkah dalam pengenalan wajah meliputi deteksi wajah, ekstraksi ciri, pencocokan dengan database, verifikasi atau identifikasi, pengambilan keputusan, pencatatan akses, dan pemberian atau penolakan akses [7].

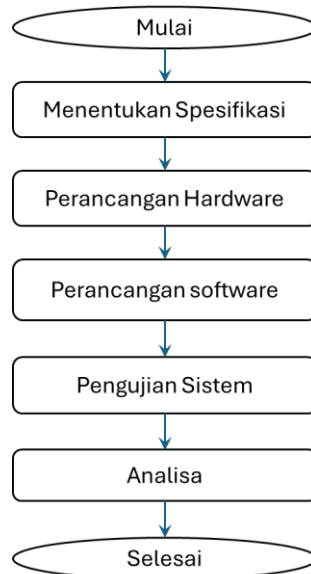
Salah satu model pengenalan wajah yang digunakan cukup terkenal adalah You Only Look Once (YOLO). YOLO [8] adalah algoritma real-time untuk mendeteksi objek, menggunakan jaringan saraf tiruan (JST). Algoritma ini membagi citra menjadi beberapa wilayah, memprediksi kotak pembatas dan probabilitasnya, kemudian memilih kotak dengan skor tertinggi sebagai deteksi. YOLO memiliki keunggulan dibandingkan sistem berbasis classifier, karena mampu melihat seluruh citra secara global selama pengujian, membuatnya lebih cepat dibandingkan dengan metode seperti Region-Convolutional Neural Network (R-CNN), yang memerlukan ribuan deteksi per citra [9][10].

Proses perancangan sistem terdiri dari beberapa langkah sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Pada awal perancangan, dirumuskan spesifikasi sistem yang akan dibangun. Secara umum spesifikasi sistem yang dibuat meliputi:

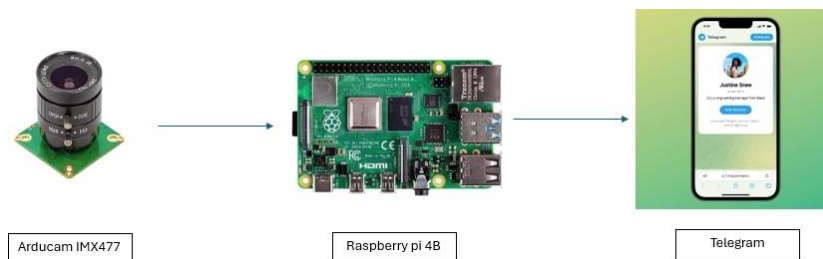
- a. Harus tahan terhadap suhu di luar ruang, dan percikan hujan karena sistem ditempatkan di ruang ruangan.
- b. Gambaran citra cukup jelas dengan resolusi minimal HD 720p
- c. Memiliki kemampuan mengirimkan notifikasi keberadaan orang asing di area pengawasan secara real-time
- d. Mampu untuk beroperasi selama 24 jam

Selanjutnya, dilakukan perancangan pada bagian hardware. Bagian hardware terdiri dari kamera dan pemroses gambar. Untuk kamera digunakan Arducam IMX477. Kamera ini dilengkapi dengan sensor Sony IMX 477 yang memiliki resolusi tinggi (12,3 megapiksel).

Kamera ini kompatibel dengan Raspberry Pi melalui antarmuka CSI (Camera Serial Interface), yang memastikan transfer data gambar dengan cepat dan efisien. Bagian pemrosesan gambar dilakukan di Raspberry Pi 4B. Perangkat ini menjalankan algoritma deteksi dan pengenalan wajah, didukung oleh prosesor quad-core ARM Cortex-A72, RAM hingga 4GB, dan konektivitas yang lengkap (WiFi, Bluetooth, Ethernet). Kemampuan pemrosesan yang kuat memungkinkan Raspberry Pi 4B untuk menjalankan aplikasi berbasis deep learning secara efektif. Raspberry Pi 4B menjalankan perangkat lunak berbasis OpenCV dan algoritma deep learning untuk mendeteksi dan mengenali wajah dari gambar yang ditangkap oleh kamera. Selain itu, Raspberry Pi 4B juga mengelola penyimpanan data serta berfungsi sebagai server yang mengirimkan notifikasi ke pengguna menggunakan aplikasi Telegram. Ilustrasi komponen utama sistem ditunjukkan pada Gambar 2.

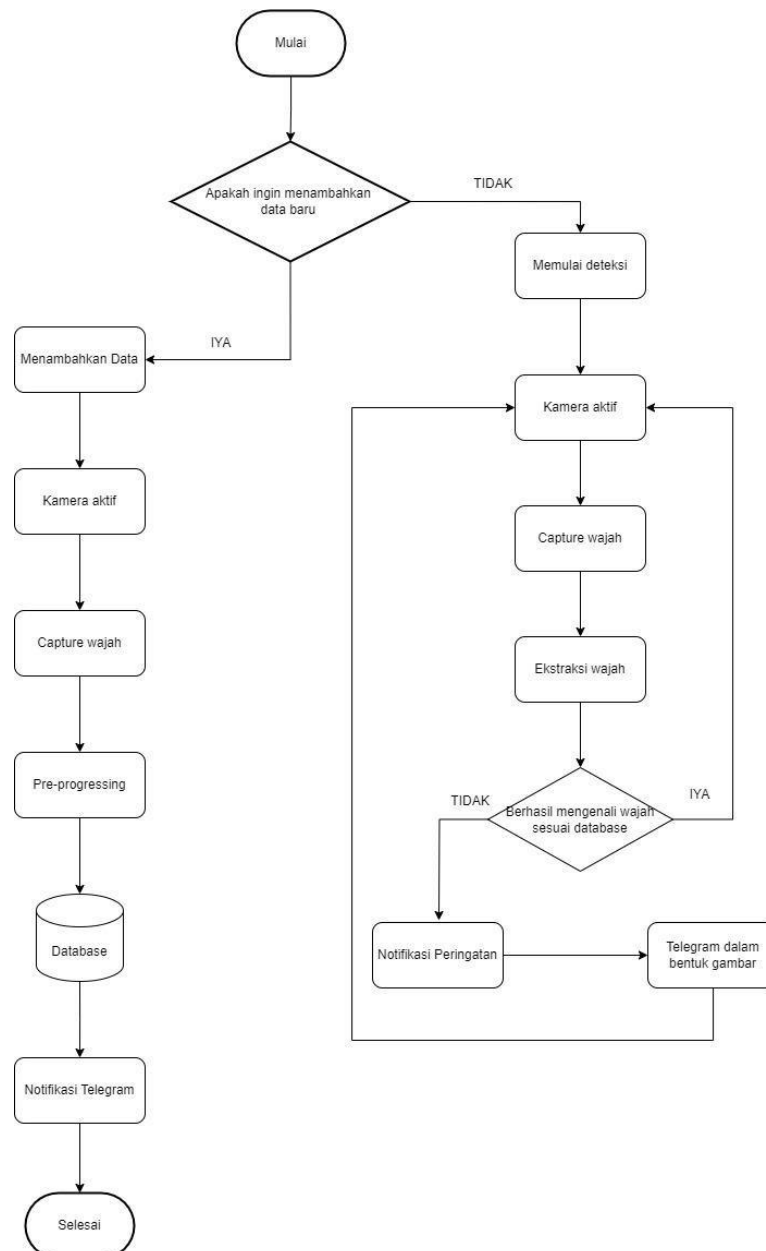


Gambar 1 Alur kegiatan penelitian



Gambar 2. Bagian utama sistem yang dirancang

Telegram berfungsi sebagai media penyampaian informasi/notifikasi dari sistem ke pengguna. Aplikasi Telegram mendukung fitur bot yang memungkinkan sistem untuk mengirimkan pesan otomatis ke pengguna. Notifikasi ini berupa gambar wajah yang terdeteksi, informasi waktu, serta status keamanan terkini. Ketika sistem mendeteksi wajah yang tidak dikenal, Raspberry Pi 4B akan mengirimkan data tersebut melalui bot Telegram, sehingga pengguna dapat menerima notifikasi real-time dan segera mengambil tindakan jika diperlukan. Untuk perangkat lunak yang dikembangkan, digunakan model algoritma YOLO untuk pengenalan wajah. Sedangkan alur kerja sistem ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Alur kerja sistem

Setelah sistem selesai dibuat, selanjutnya dilakukan pengujian yang meliputi pengujian akurasi deteksi wajah, pengujian ketahanan sistem terhadap suhu dan percikan air, dan pengujian ketahanan kerja 24 jam. Hasil masing-masing pengujian diuraikan di bab selanjutnya.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada bagian ini dibahas tentang hasil perancangan sistem yang telah dilakukan dan hasil pengujian.

3.1. Hasil Perancangan

Perangkat keras sistem yang terdiri dari kamera dan raspberry digabungkan dengan posisi sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4. Sebuah sistem pendingin dual-fan ditambahkan di

raspberry untuk memperlancar disipasi panas yang muncul. Perangkat ini kemudian ditempatkan di teras rumah podokan yang merupakan akses utama masuk ke rumah.



Gambar 4. Penampakan hardware yang dibuat

Program deteksi dan pengenalan wajah ini mengintegrasikan berbagai komponen perangkat lunak untuk mencapai fungsionalitas yang canggih dan interaktif. Program ini menggunakan perpustakaan Python seperti threading, numpy, dan face_recognition untuk melakukan deteksi dan pengenalan wajah secara efisien. Threading memungkinkan tugas berjalan secara paralel, sehingga memastikan proses utama tidak terganggu. Pustaka face_recognition, yang berbasis deep learning, digunakan untuk menemukan lokasi wajah dan melakukan identifikasi. OpenCV, melalui modul cv2, digunakan untuk pemrosesan gambar, seperti konversi warna dan peningkatan kontras. Untuk berkomunikasi dengan pengguna, program ini menggunakan telepot dan Telegram Bot API untuk mengirim notifikasi dan gambar hasil deteksi. Picamera2 mengakses kamera pada Raspberry Pi untuk menangkap gambar dan video. Pustaka tenacity memastikan pengiriman pesan Telegram tetap andal dengan mekanisme retry otomatis saat terjadi kesalahan. Kombinasi komponen perangkat lunak ini menghasilkan sistem yang tangguh dan user-friendly, memungkinkan deteksi dan pengenalan wajah yang akurat serta komunikasi yang efisien dengan pengguna melalui berbagai antarmuka.

Dari segi finansial, biaya komponen utama berupa kamera, raspberry, kipas pendingin, casing, dan kabel adalah Rp. 3.312.250,00 dengan rincian di Tabel 1.

Tabel 1. Rincian biaya pembuatan sistem

Komponen	Kuantitas	Harga satuan	Jumlah total
Arducam 12.3MP IMX477 HQ Camera With 6mm CS Lens For Raspberry Pi	1	1.609.600	1.609.600
KIT-2C : Raspberry Pi 4 (4GB RAM)-Complete SET	1	1.609.400	1.609.400
Dual Fan Heatsink Radiator Cooling System for Raspberry Pi	1	65.750	65.750
Casing	1	15.000	15.000
Kabel, steker	1	12.500	12.500
Total			3,312,250

3.2. Hasil Pengujian

Pengujian yang dilakukan meliputi: (a) pengujian akurasi deteksi, (b) pengujian ketahanan sistem terhadap suhu dan percikan air, (c) pengujian ketahanan kerja 24 jam, dan (d) pengujian kecepatan notifikasi. Berikut rincian hasil pengujian.

3.2.1. Pengujian Akurasi Deteksi

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa tepatnya sistem mengenali wajah orang yang ada dalam area pengawasannya. Pengujian ini terdiri dari dua tahapan yaitu pengujian jarak jangkauan deteksi dan pengujian akurasi. Pengujian jarak jangkauan dilakukan dengan menempatkan subyek pada jarak tertentu dari kamera. Subyek yang digunakan merupakan subyek yang sudah didaftarkan di database sistem dan yang belum didaftarkan. Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian yang diperoleh dimana wajah subyek sudah tidak terdeteksi pada jarak 4 meter.

Tabel 2. Pengujian jarak jangkauan deteksi

Subyek	Jarak (m)	Hasil deteksi
Sudah terdaftar di database	0,5	Terdeteksi dan dikenali
	1	Terdeteksi dan dikenali
	2	Terdeteksi dan dikenali
	3	Terdeteksi dan dikenali
	4	Tidak terdeteksi
Belum terdaftar di database	0,5	Terdeteksi dan tidak dikenali
	1	Terdeteksi dan tidak dikenali
	2	Terdeteksi dan tidak dikenali
	3	Terdeteksi dan tidak dikenali
	4	Tidak terdeteksi

Selanjutnya dilakukan pengujian akurasi dengan melibatkan 15 orang yang masuk dalam database dan 15 orang yang tidak masuk dalam database. Subyek diposisikan pada jarak 1m sampai dengan 2 m dengan berbagai macam penampilan baik di siang maupun malam hari. Pengujian pada masing-masing subyek diulang sebanyak 5 kali, sehingga total ada 150 data percobaan dengan rangkuman hasil sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengujian akurasi deteksi.

		Kondisi subyek	
		Masuk dalam database	Tidak masuk dalam database
Hasil deteksi sistem	Terdeteksi dan dikenali	65	0
	Terdeteksi dan tidak dikenali	0	64
	Tidak terdeteksi	10	11

Hasil pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa tingkat akurasi deteksi mencapai 86%. Hal ini bukan berarti akurasi kurang baik, namun karena ada beberapa hal yang menyebabkan subyek tidak terdeteksi (bukan salah deteksi). Beberapa hal yang menyebabkan subyek tidak terdeteksi adalah:

- (a) Subyek tertutup sebagian wajahnya atau wajah tidak menghadap ke kamera
- (b) Pantulan obyek lain yang menyebabkan cahaya terlalu silau masuk ke kamera di siang hari
- (c) Penerangan yang kurang memadai di malam hari

Sehingga apabila mengabaikan faktor pengganggu tersebut sesungguhnya semua subyek terdeteksi meskipun ada yang sudah masuk di database dan belum masuk ke database.

3.2.2. Pengujian Ketahanan Suhu dan Air

Pengujian ini bertujuan untuk menguji ketahanan sistem terhadap perubahan suhu udara siang dan malam hari. Hal ini berkaitan dengan penempatan sistem di luar ruangan sehingga akan mengalami perubahan suhu udara yang cukup lebar. Untuk pengujian ini, sistem diukur suhunya pada siang hari dan malam hari. Pada siang hari suhu sistem mencapai 40°C - 50°C. Pada suhu tersebut sistem masih dapat bekerja secara normal. Stabilitas suhu pada raspberry terbantu dengan adanya sistem pendingin double-fan.

Pengujian percikan air dilakukan dengan menyemprotkan air ke kamera dan casing luar raspberry. Simulasi ini diharapkan dapat mewakili kondisi percikan hujan yang mungkin mengenai sistem. Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa sistem masih dapat bekerja setelah disemprot beberapa kali. Hal ini membuktikan sistem tahan terhadap percikan air.

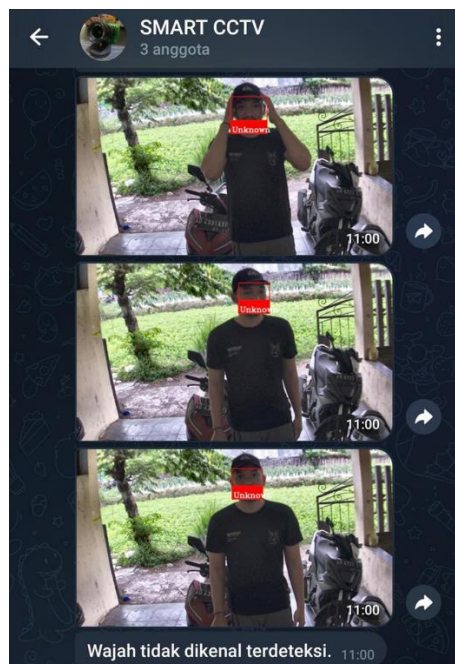
3.2.3. Pengujian Ketahanan Kerja

Sistem keamanan ini harus mampu bekerja selama 24 jam non-stop. Sehingga ketahanan kerja selama 24 jam tanpa henti perlu diuji. Pengujian dilakukan pada tanggal 27 juni 2024. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berhasil mempertahankan performa optimal tanpa mengalami kegagalan atau penurunan kinerja yang signifikan. Selama pengujian, sistem menunjukkan respons waktu yang konsisten, dengan penggunaan sumber daya yang efisien dan stabil. Tidak ditemukan kebocoran memori atau overheating, dan semua komponen berfungsi sesuai dengan spesifikasinya.

3.2.4. Pengujian Kecepatan Notifikasi

Pengukuran ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja notifikasi secara real-time pada aplikasi Telegram ketika terdeteksi wajah yang tidak terdaftar dalam database. Pengukuran ini melibatkan pengujian kecepatan pengiriman notifikasi, keandalan sistem, serta responsivitas pengguna. Pada tahap pengujian ini, kami melakukan pengukuran terhadap dua aspek utama, yaitu kecepatan pengiriman notifikasi dan keandalan sistem. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa sistem memiliki performa yang sangat baik dalam hal kecepatan pengiriman notifikasi. Rata-rata waktu pengiriman notifikasi tercatat kurang dari 2 detik, dengan waktu pengiriman tercepat juga di bawah 2 detik dan waktu pengiriman terlama tidak melebihi 3 detik. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan informasi secara real-time dengan respons yang cepat.

Selain itu, pengukuran keandalan sistem juga menunjukkan hasil yang optimal. Dari seluruh notifikasi yang diuji, sebanyak 30 dari 30 notifikasi berhasil terkirim tanpa adanya kegagalan. Tingkat keberhasilan pengiriman mencapai 100%, menandakan bahwa sistem sangat andal dalam memastikan setiap notifikasi dikirimkan secara konsisten dan tanpa gangguan. Keandalan ini sangat penting untuk memastikan bahwa pengguna menerima informasi penting tepat waktu, sehingga dapat segera mengambil tindakan yang diperlukan. Contoh hasil notifikasi ke pengguna ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Contoh notifikasi ketika ada orang yang tidak dikenal

Hasil pengukuran ini menggambarkan bahwa sistem yang dikembangkan tidak hanya cepat dalam mengirimkan notifikasi, tetapi juga sangat andal dalam operasionalnya. Kombinasi kedua aspek ini memastikan bahwa sistem dapat diandalkan untuk memberikan keamanan yang efektif dan responsif bagi pengguna.

4. Kesimpulan

Pada kegiatan penelitian ini, tim telah berhasil merancang, membuat dan mengimplementasikan sistem deteksi orang asing pada area pemondokan mahasiswa untuk meningkatkan aspek keamanan. Penyusun utama sistem adalah sebuah kamera Arducam 12,3MP, sebuah raspberry dan program notifikasi melalui telegram. Berdasarkan pengujian yang dilakukan, sistem mampu mendeteksi wajah sampai jarak 3-meter dengan tingkat akurasi mencapai 92% baik di malam maupun siang hari. Sistem juga telah diuji untuk durasi operasi 24 jam non-stop dan beberapa kali memberikan percikan air sebagai simulasi air hujan. Untuk pengadaan komponen sistem ini diperlukan biaya sekitar 3,3 juta rupiah.

Referensi

- [1] Pusiknas Bareskrim Polri, "Waspada! Pencurian Sepeda Motor Mencapai 700 Kasus dalam Dua Pekan," Dec. 19, 2023. [Online]. Available: https://pusiknas.polri.go.id/detail_artikel/waspada_pencurian_sepeda_motor_mencapai_700_kasus_dalam_dua_pekan
- [2] Radar Jogja, "Kesadaran Keamanan Rendah, Kos-Kosan Sering Jadi Incaran Pelaku Curanmor," Dec. 19, 2023. [Online]. Available: <https://radarjogja.jawapos.com/hukum-kriminal/65757605/kesadaran-keamanan-rendah-koskosan-sering-jadi-incaran-pelaku-curanmor>
- [3] Lystloc, "7 New Facial Recognition Technology Trends to Boom in the Future," Jul. 25, 2024. [Online]. Available: <https://www.lystloc.com/blog/7-new-facial-recognition-technology-trends-to-boom-in-the-future>

- [4] S. Sutarti, S. Samsuni, and I. Asseghaf, "Sistem Keamanan Rumah melalui Pengenalan Wajah Menggunakan Webcam dan Library Opencv Berbasis Raspberry Pi," *Jurnal Dinamika Informatika*, vol. 8, no. 2, pp. 13-26, 2019
- [5] I. I. Setiawan, A. Jaenul, and D. Priyokusumo, "Prototipe Sistem Keamanan Rumah Menggunakan Face Recognition Berbasis Raspberry Pi 4," *Prosiding Snitt Poltekba*, vol. 4, pp. 496-501, 2020.
- [6] A. P. Jutika, "Implementasi Face Recognition Berbasis Haar-Cascade Classifier Pada Sistem Keamanan Rumah Menggunakan Dual-Camera," *INFOTECH Journal*, vol. 8, no. 2, pp. 106-115, 2022.
- [7] G. Levakov, O. Sporns, and G. Avidan, "Modular community structure of the face network supports face recognition," *Cerebral Cortex*, vol. 32, no. 18, pp. 3945-3958, 2022.
- [8] M. S. Hidayatulloh, "Sistem Pengenalan Wajah Menggunakan Metode YOLO (You Only Look Once)," Doctoral dissertation, Universitas Dinamika, 2021.
- [9] P. A. Nugroho, I. Fenriana, and R. Arijanto, "Implementasi deep learning menggunakan convolutional neural network (CNN) pada ekspresi manusia," *Algor*, vol. 2, no. 1, pp. 12-20, 2020.
- [10] M. H. Diponegoro, S. S. Kusumawardani, and I. Hidayah, "Tinjauan pustaka sistematis: implementasi metode deep learning pada prediksi kinerja murid," *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*, vol. 10, no. 2, 2021.

Sistem Notifikasi Kecelakaan Kendaraan Roda Dua

Motorcycle Accident Notification System

Rizal Mulia Insani¹, Ikhsan Maulana Ivandhi², Hendra Setiawan^{3*}

^{1,2,3}Teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta, Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta, Indonesia

20524200@students.uii.ac.id¹, 20524206@students.uii.ac.id², 025200526@uii.ac.id^{3*}

Abstrak – Sepeda motor merupakan jenis kendaraan yang sering terlibat dalam kecelakaan. Sistem notifikasi kecelakaan berupa pesan dan lokasi kejadian kecelakaan dapat membantu pengguna untuk segera mendapatkan penanganan hukum dan medis ketika mengalami kecelakaan. Selain itu, sistem ini juga bermanfaat bagi pengguna yang memiliki keluarga atau kerabat yang juga merupakan pengemudi. Dengan demikian, ketika keluarga atau kerabat mengalami kecelakaan, mereka segera mendapatkan kabar tersebut. Sistem ini menggunakan sensor kemiringan GY-521 MPU-6050 dan sensor benturan YL-99 sebagai komponen yang bertanggung jawab untuk membaca data kondisi motor. Selain itu, modul GPS Neo-6M V2 digunakan untuk melacak lokasi, dan modul GSM SIM800L V2 digunakan untuk mengirimkan notifikasi berupa pesan dan lokasi melalui Short Message Service (SMS). Arduino Nano berfungsi sebagai pusat pengolahan data. Arduino Nano mengumpulkan data dari sensor kemiringan, sensor benturan, dan modul GPS. Berdasarkan data yang diterima, Arduino akan memutuskan apakah perlu mengirim sinyal ke modul GSM untuk mengirimkan SMS. Sistem ini juga menggunakan LM2596 untuk menurunkan tegangan power supply yang bersumber dari aki motor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dapat mendeteksi kecelakaan dan mengirimkan notifikasi melalui SMS dalam waktu kurang dari 10 detik, dengan lokasi yang dilacak dan dikirimkan memiliki error maksimal 10 meter. Selain itu, sistem juga sudah dapat bekerja otomatis menyala dan mati sesuai dengan kondisi motor.

Kata Kunci: sepedamotor, kecelakaan, sistem notifikasi, sensor kemiringan, GPS, SMS

Abstract – Motorcycles are a type of vehicle that is frequently involved in accidents. An accident notification system, in the form of messages and the accident location, can help users quickly receive legal and medical assistance when involved in an accident. Additionally, this system is beneficial for users who have family members or relatives who are also drivers. This way, when family members or relatives are involved in an accident, they will immediately receive the notification. This system uses the GY-521 MPU-6050 tilt sensor and the YL-99 impact sensor as components responsible for reading the vehicle's condition data. The Neo-6M V2 GPS module is used to track the location, and the SIM800L V2 GSM module is used to send notifications in the form of messages and location via Short Message Service (SMS). The Arduino Nano serves as the data processing center. It collects data from the tilt sensor, impact sensor, and GPS module. Based on the received data, the Arduino decides whether to send a signal to the GSM module to send an SMS. The system also uses the LM2596 to lower the power supply voltage sourced from the motorcycle's battery. The research results show that the system can detect accidents and send notifications via SMS in less than 10 seconds, with the tracked location having an error no more than 10 meters. Additionally, the system can automatically turn on and off according to the condition of the motorcycle

Keywords: motorcycles, accident, notification system, tilt sensor, GPS, SMS

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara yang luas dengan iklim tropis, sehingga banyak masyarakat yang masih bergantung pada kendaraan untuk berpindah dari satu lokasi ke lokasi lain [1]. Seiring berjalannya waktu, jumlah pengguna kendaraan di Indonesia terus berkembang. Menurut data dari Korlantas Polri yang dipublikasikan oleh Badan Pusat Statistik, jumlah kendaraan di Indonesia pada tahun 2020 mencapai 136.137.451 unit. Angka ini meningkat sebesar 4,3 persen pada tahun 2021 menjadi 141.992.573 unit. Dari jumlah kendaraan pada tahun 2020 dan 2021, 85 persen di antaranya adalah sepeda motor [2].

Meski telah ada peraturan yang mengatur tata tertib lalu lintas, yaitu Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2009, angka kecelakaan masih terus bertambah setiap tahunnya. Kecelakaan adalah suatu peristiwa yang tidak dapat dihindari. Terlepas dari beberapa individu yang dengan sengaja melanggar peraturan, bagi mereka yang patuh terhadap peraturan pun masih ada kemungkinan mengalami kecelakaan.

Menurut data Korlantas Polri yang dirilis oleh Kementerian Komunikasi dan Informatika, terdapat sejumlah faktor yang menjadi penyebab kecelakaan lalu lintas. Sebanyak 61 persen kecelakaan disebabkan oleh faktor manusia, seperti kemampuan serta karakter pengemudi. Banyak kecelakaan terjadi bukan karena seseorang melanggar peraturan, tetapi karena orang lain yang tidak mematuhi peraturan, sehingga mereka yang telah mematuhi peraturan juga menjadi korban. Faktor prasarana dan lingkungan, seperti kondisi permukaan jalan, infrastruktur jalan, dan kondisi cuaca, menyumbang sebanyak 30 persen. Terakhir, faktor kondisi kendaraan yang digunakan juga berperan penting dalam berkendara, dengan kontribusi sebesar 9 persen [3].

Berdasarkan data dari Korlantas Polri yang dipublikasikan oleh Kementerian Perhubungan, angka kecelakaan lalu lintas di Indonesia mencapai 103.645 kasus pada tahun 2021. Jumlah tersebut lebih tinggi dibandingkan data tahun 2020 yang sebanyak 100.028 kasus. Selain itu, kecelakaan lalu lintas pada tahun 2021 telah menewaskan 25.266 korban jiwa, dengan kerugian materi mencapai Rp246 miliar. Angka ini sangat tinggi dan terus meningkat dari waktu ke waktu. Pengendara sepeda motor sering kali menjadi jenis kendaraan yang paling banyak terlibat dalam kecelakaan [4].

Beberapa kasus kecelakaan berakhir dengan kematian karena korban tidak segera mendapatkan penanganan, seperti kecelakaan yang terjadi di daerah terpencil yang jarang dilalui kendaraan. Menurut Dokter spesialis ortopedi Siloam Hospitals Jember, dr. Hantoni, 80 persen kegagalan penanganan pada kecelakaan disebabkan oleh kelalaian. Selain itu, korban juga sering terlambat dibawa ke rumah sakit oleh warga di lokasi kejadian [5].

Kasus lain yang sering terjadi adalah ketika penolong korban kecelakaan tidak dapat segera menghubungi keluarga atau kerabat korban karena kondisi korban yang tidak sadarkan diri. Hal ini menjadi masalah karena diperlukan dalam administrasi rumah sakit, sehingga korban bisa mendapatkan perawatan maksimal. Dalam beberapa kasus, pihak rumah sakit memerlukan keputusan dari pihak keluarga dalam menangani luka pada korban, yang semakin memperumit situasi ketika komunikasi dengan keluarga terkendala.

Dari permasalahan tersebut, diperlukan inovasi untuk memberikan notifikasi otomatis berupa pesan dan lokasi kejadian kecelakaan kepada keluarga pengguna ketika pengguna mengalami kecelakaan. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, dikembangkan sebuah inovasi berupa alat yang dapat memberikan notifikasi berupa pesan dan lokasi kejadian kecelakaan kepada keluarga korban, agar korban dapat segera ditangani oleh petugas medis.

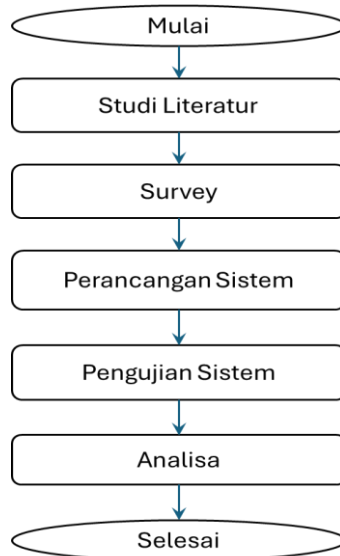
Agar sistem dapat diterima di pasar, perlu memenuhi spesifikasi yang baik untuk mengatasi permasalahan ini. Sistem harus dapat diaplikasikan pada sepeda motor, mengingat popularitas kendaraan tersebut di pasar. Selain itu, kemampuan untuk mengidentifikasi kecelakaan sepeda motor secara akurat adalah suatu keharusan, sehingga respons terhadap insiden dapat dilakukan

dengan tepat. Keandalan sumber daya juga merupakan faktor penting, memastikan bahwa sistem tetap berfungsi dalam berbagai kondisi.

Sistem ini harus mampu mengirimkan notifikasi pesan dan tautan lokasi kepada keluarga korban dengan cepat dan akurat, memungkinkan mereka segera mengetahui kejadian dan mengambil tindakan yang diperlukan. Notifikasi yang dikirimkan harus mencakup pesan dan tautan lokasi kecelakaan, memberikan informasi yang lengkap dan berguna bagi penerima.

2. Metode Penelitian

Kegiatan ini terdiri dari beberapa tahapan yaitu studi literatur, survey, perancangan sistem, pengujian sistem dan analisa sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses kegiatan penelitian

2.1. Studi Literatur

Sebelum merencanakan sistem, studi literatur dan observasi dilakukan untuk mencari informasi terkait penelitian atau proyek serupa guna menghindari duplikasi dan mendorong perkembangan. Studi literatur pertama membahas Sistem Notifikasi Kecelakaan pada Sepeda Motor Berbasis Arduino [6], yang menggunakan sensor kemiringan dan GPS untuk mengirim lokasi kecelakaan melalui SMS. Kelebihannya adalah kemudahan penggunaan dengan notifikasi langsung ke Google Maps, namun sistem hanya menggunakan satu input dan jangkauannya belum diketahui.

Penelitian kedua, Rancang Bangun Alat Deteksi Kecelakaan Sepeda Motor Berbasis Exponential Smoothing, menggunakan dua sensor dan modul GPS serta aplikasi Telegram untuk notifikasi [7]. Kelebihannya adalah delay notifikasi yang singkat dan penggunaan metode Exponential Smoothing, namun pengujian terbatas pada jarak kurang dari 10 km dan sumber tenaga serta koneksi internet tidak dijelaskan.

Studi ketiga, Prototipe Sistem Notifikasi Kecelakaan dan Wiper Otomatis pada Helm, menggunakan sensor getaran dan sensor hujan untuk notifikasi dan wiper otomatis [8]. Sistem ini memiliki waktu kirim notifikasi rata-rata 6,4 detik, namun penempatannya pada helm berpotensi menyebabkan notifikasi palsu jika helm jatuh.

Penelitian keempat, Perancangan Sistem Tracking untuk Mendeteksi Kecelakaan Sepeda Motor, menggunakan sensor kemiringan, sensor getaran, dan GPS untuk mengirim notifikasi

melalui SMS [9]. Sistem ini menunjukkan keakuratan GPS dengan rata-rata kesalahan 5,48 meter, namun tidak ada informasi tentang batasan jarak kerja sistem.

Studi terakhir, Rancang Bangun Alat Pemberitahuan Kecelakaan Pada Sepeda Motor Berbasis IoT, menggunakan sensor getaran dan kemiringan serta notifikasi melalui Telegram dan GPS [10]. Kelebihannya adalah penggunaan dua input data dan fungsi kontrol untuk mematikan sepeda motor, namun tidak dijelaskan apakah lokasi kecelakaan dikirimkan.

Hasil-hasil studi literatur ini memberikan wawasan penting untuk pengembangan lebih lanjut dan identifikasi kesenjangan pengetahuan yang masih perlu dijawab.

2.2. Survey

Untuk mengetahui kebutuhan target inovasi ini, dilakukan survei terhadap pengguna motor dan mereka yang memiliki anggota keluarga pengemudi. Menurut responden, dalam penanganan kecelakaan, waktu respons yang cepat sangat penting. Selain itu, jika berada di posisi korban, yang diinginkan responden adalah segera mendapatkan pertolongan dan agar keluarga atau kerabat segera mengetahui kabar tersebut.

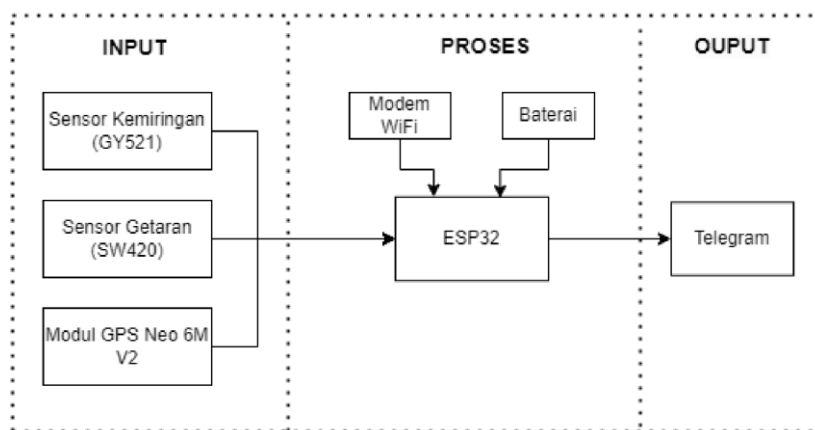
Responden juga berpendapat bahwa kemampuan untuk memberi tahu keluarga atau kontak darurat secara cepat saat terjadi kecelakaan dinilai sebagai solusi yang sangat bermanfaat, karena hal ini memungkinkan keluarga segera mengetahui keadaan korban sehingga korban dapat segera mendapatkan pertolongan secara maksimal.

Ketika anggota keluarga mengalami kecelakaan, menurut responden, akses cepat ke informasi sangat penting. Semakin cepat informasi tersampaikan, semakin baik penanganan yang dapat diberikan. Situasi di mana keluarga tidak dapat segera mengetahui atau merespons kecelakaan yang melibatkan anggota keluarga dapat menimbulkan kekhawatiran dan mengganggu aktivitas sehari-hari. Oleh karena itu, notifikasi segera tentang kecelakaan akan sangat membantu dalam merespons lebih efektif dan memberikan dukungan yang diperlukan.

Preferensi dalam menerima notifikasi termasuk melalui pesan teks, notifikasi dengan nada dering, serta pemberian lokasi kejadian kecelakaan. Pengguna juga bersedia membayar lebih untuk kendaraan motor yang dilengkapi dengan fitur keselamatan tambahan, karena keselamatan merupakan prioritas utama dalam berkendara. Sebagai masukan untuk pengembangan fitur keselamatan pada kendaraan motor, sistem sebaiknya dapat diaplikasikan tanpa mengganggu fitur motor lainnya dan menggunakan lebih dari satu sensor untuk mendeteksi berbagai kondisi kecelakaan, sehingga sistem dapat mengidentifikasi situasi dengan lebih akurat.

2.3. Perancangan Sistem

Sistem ini dirancang untuk mendeteksi kecelakaan dan memberikan notifikasi kepada keluarga atau kerabat korban. Perancangan ini mencakup beberapa komponen yang ditunjukkan pada Gambar 2. Sistem ini menggunakan sensor kemiringan GY-521 MPU-6050 dan sensor benturan YL-99 sebagai komponen yang bertanggung jawab untuk membaca data kondisi motor. Selain itu, sistem ini juga menggunakan modul GPS Neo-6M V2 untuk melacak lokasi dan modul GSM SIM800L V2 untuk mengirimkan notifikasi berupa pesan dan lokasi melalui Short Message Service (SMS).



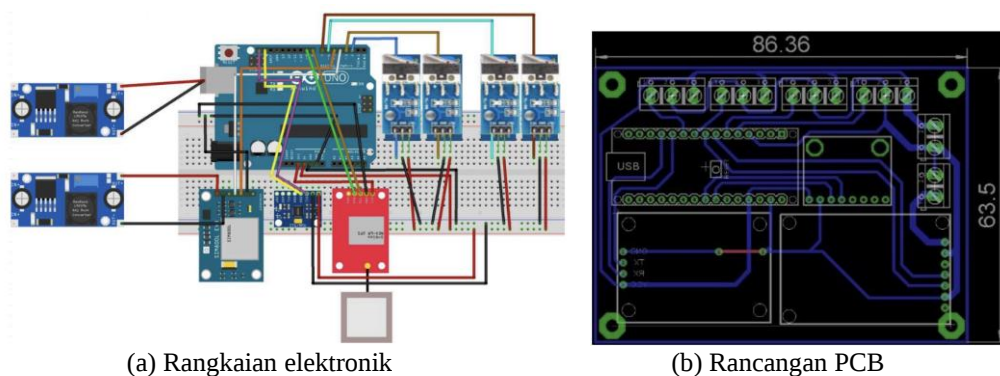
Gambar 2. Bagian utama sistem

Arduino Nano berfungsi sebagai pusat pengolahan data. Arduino Nano mengumpulkan data dari sensor kemiringan, sensor benturan, dan modul GPS. Berdasarkan data yang diterima, Arduino memutuskan apakah perlu mengirim sinyal ke modul GSM untuk mengirimkan SMS. Selain itu, LM2596 digunakan untuk menurunkan tegangan power supply yang bersumber dari aki motor.

3. Hasil dan Pembahasan

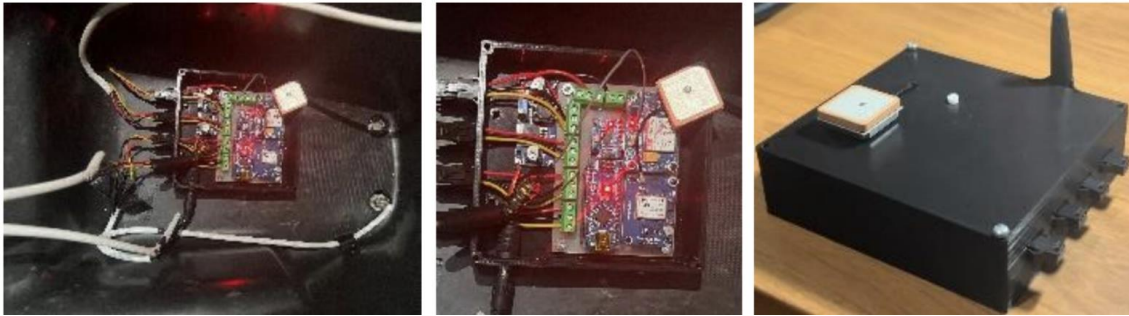
3.1. Hasil Rancangan

Pada bagian ini akan dijelaskan hasil perancangan sistem. Desain rangkaian elektronik ditunjukkan pada Gambar 3(a), yang bertujuan untuk memastikan komponen seperti sensor dan mikrokontroler terhubung dengan baik dan dapat bekerja secara optimal dalam mendeteksi kecelakaan, mengumpulkan data, dan mengirimkan notifikasi dengan cepat dan akurat. Sementara itu, desain PCB yang ditampilkan pada Gambar 3(b) berfokus pada penyusunan tata letak komponen dan jalur listrik untuk memastikan koneksi yang stabil, efisiensi pengelolaan daya, serta ketahanan terhadap kondisi lingkungan.



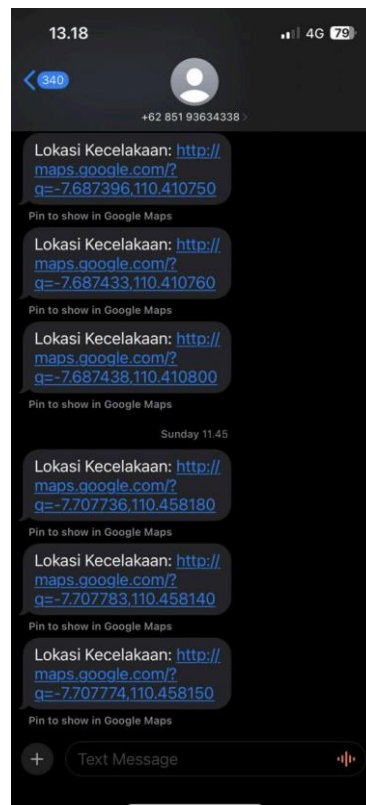
Gambar 3. Rancangan bagian hardware

Hasil akhir dari perancangan sistem ini adalah sebuah kotak (box) yang dipasang pada bagian bagasi motor. Sistem ini terhubung dengan aki motor, yang berfungsi sebagai power supply untuk seluruh komponen sistem. Pada sistem ini terdapat empat sensor benturan yang dipasang di empat sisi motor, dan sensor-sensor ini terhubung dengan sistem melalui kabel. Perlu dicatat bahwa sensor benturan adalah satu-satunya komponen sistem yang terletak di luar kotak. Gambar 4 menunjukkan tampilan hasil akhir dari perancangan sistem.



Gambar 4. Implementasi hasil rancangan

Sistem ini dirancang bukan untuk pemantauan secara terus-menerus; informasi mengenai kemiringan atau benturan pada motor tidak perlu dipantau secara berkala. Oleh karena itu, SMS merupakan antarmuka yang cocok dalam sistem ini. Antarmuka ini berfungsi sebagai penerima notifikasi dalam bentuk pesan teks dan tautan lokasi kecelakaan. Contoh tampilan antarmuka notifikasi SMS ini dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Tampilan notifikasi SMS

3.2. Hasil Pengujian

Pengujian pertama bertujuan untuk mengetahui apakah sistem dapat diterapkan pada motor tanpa mengganggu fungsi bagasi atau sistem kelistrikan motor. Sistem diuji dengan memasangkannya di dalam bagasi motor yang telah diisi dengan barang-barang umum yang biasa dibawa oleh pengguna motor, seperti jas hujan, kaneco, dan payung, untuk memastikan bahwa ukuran sistem tidak mengganggu kapasitas bagasi. Hasil analisis menunjukkan bahwa sistem tidak mengganggu fungsi bagasi motor dan dapat bekerja sesuai dengan kondisi motor

sebagaimana ditunjukkan pada gambar 6. Parameter yang diukur termasuk apakah barang-barang umum tetap dapat dimasukkan ke dalam bagasi dan seberapa baik sistem berfungsi dalam kelistrikan motor, dengan hasil menunjukkan bahwa sistem menyala hanya saat motor dinyalakan dan tidak menguras aki saat motor dalam kondisi mati.



Gambar 6. Pengujian pengaruh kapasitas bagasi

Pengujian kedua bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mendeteksi kecelakaan menggunakan sensor kemiringan GY521 MPU6050 dan sensor benturan YL-99. Pengujian dilakukan pada 12 Juli 2024 di jalan dalam kampus terpadu Universitas Islam Indonesia. Sistem diuji dalam berbagai kondisi, termasuk simulasi kecelakaan jatuh dan benturan. Hasil pengujian (lihat Tabel 1) menunjukkan bahwa sistem efektif dalam mendeteksi kecelakaan saat motor terjatuh dan saat terjadi benturan. Sensor kemiringan mendeteksi kecelakaan dengan akurat ketika kemiringan motor melebihi threshold 45° , sedangkan sensor benturan mendeteksi benturan yang melebihi ambang batas pada satu sisi. Pengujian juga mengidentifikasi bahwa sensor kemiringan cenderung mendeteksi kecelakaan lebih cepat daripada sensor benturan.

Tabel 1. Pengujian identifikasi kecelakaan.

No	Kondisi	Hasil deteksi
1	Jatuh ke Sisi Kanan	Notifikasi kecelakaan
2	Jatuh ke Sisi Kiri	Notifikasi kecelakaan
3	Mengendarai Motor di Belokan	Tidak ada notifikasi kecelakaan
4	Mengendarai Motor di Bunderan	Tidak ada notifikasi kecelakaan
5	Tertabrak pada Sisi Depan	Notifikasi kecelakaan
6	Tertabrak pada Sisi Belakang	Notifikasi kecelakaan
7	Tertabrak pada Sisi Kanan	Notifikasi kecelakaan
8	Tertabrak pada Sisi Kiri	Notifikasi kecelakaan
9	Menabrakan Sisi Depan Motor	Notifikasi kecelakaan
10	Jatuh ke Sisi Kanan	Tidak ada notifikasi kecelakaan
11	Jatuh ke Sisi Kiri	Tidak ada notifikasi kecelakaan

Pengujian ketiga untuk mengetahui kecepatan pengiriman notifikasi dan akurasi lokasi yang dikirimkan oleh sistem. Parameter yang diukur termasuk waktu yang dibutuhkan untuk mengirim notifikasi melalui SMS oleh GSM SIM800L V2 dan akurasi lokasi yang dibaca oleh modul GPS Neo 6M V2. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat mengirimkan notifikasi dalam waktu kurang dari sepuluh detik, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. Meskipun terdapat variasi pada jarak dan status sinyal selama percobaan, notifikasi tetap terkirim dengan baik. Akurasi lokasi juga terjaga dengan baik, seperti ditunjukkan pada Tabel 3, dengan akurasi posisi terjauh sebesar 10m.

Tabel 2. Pengujian kecepatan notifikasi kecelakaan

No	Delay notifikasi (detik)	Jarak kejadian ke penerima (km)	Kekuatan sinyal di lokasi	Kekuatan sinyal di penerima
1	< 10	7,2	3 garis	2 garis
2	< 10	0,75	4 garis	4 garis
3	< 10	8,1	4 garis	1 garis
4	< 10	40	4 garis	4 garis
5	10 – 20	30	4 garis	2 garis
6	< 10	15	4 garis	3 garis

Tabel 3. Pengujian akurasi posisi kejadian kecelakaan

No	Lokasi	Informasi yang dikirim	Selisih jarak (m)
1	Depan Gedung Fakultas Ilmu Agama Islam	http://maps.google.com/?q=-7.687891,110.414749	10
2	Boulevard UII	http://maps.google.com/?q=-7.687603,110.418235	0
3	Makam UII	http://maps.google.com/?q=-7.690119,110.415023	0
4	Depan Gedung Fakultas Hukum UII	http://maps.google.com/?q=-7.689133,110.413406	0
5	Sebelah Timur Gedung Fakultas Teknologi Industri UII	http://maps.google.com/?q=-7.686542,110.411369	10
6	Belakang GOR UII	http://maps.google.com/?q=-7.687134,110.409538	10
7	Depan Gedung Lab Terpadu FMIPA UII	http://maps.google.com/?q=-7.688244,110.412094	10
8	Rumah Warna Hijau, Candi Winangun, Sardonoharjo, Ngaglik, Sleman Regency, Special Region of Yogyakarta 55581	http://maps.google.com/?q=-7.694437,110.411712	0
9	Jl. Karanganyar, Widodomartani, Kec. Ngemplak, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55584	http://maps.google.com/?q=-7.707774,110.458145	0
10	Laboratorium Capstone Gedung Kh. A. Wahid Hasyim UII	http://maps.google.com/?q=-7.68725,110.410833	0

4. Kesimpulan

Sistem notifikasi kecelakaan yang memberikan pesan peringatan dan lokasi kejadian kecelakaan telah berhasil dirancang dan diimplementasikan untuk mendeteksi kecelakaan motor. Sistem ini telah dievaluasi berdasarkan lima spesifikasi yang diusulkan, dan hasilnya menunjukkan bahwa sistem ini berhasil memenuhi semua spesifikasi tersebut. Sistem memiliki kecepatan pengiriman notifikasi kurang dari 10 detik, dengan tingkat keakuratan lokasi kecelakaan maksimal 10 meter. Sistem ini juga memiliki keandalan sumber daya, yaitu menggunakan aki motor dan dapat beroperasi saat motor dinyalakan, serta berhenti beroperasi ketika motor dimatikan atau tidak digunakan.

Namun, meskipun sistem ini menunjukkan performa yang baik, masih terdapat beberapa kelemahan. Salah satunya terletak pada sensor benturan yang digunakan. Ukuran sensor yang kecil menyebabkan beberapa benturan tidak terdeteksi, terutama jika benturan yang dialami motor tidak cukup kuat untuk dibaca oleh sensor. Hal ini menunjukkan adanya kebutuhan pengembangan lebih lanjut pada bagian sensor agar mampu mendeteksi benturan dengan lebih akurat, tanpa mengabaikan kecelakaan yang lebih ringan. Selain itu, modul GPS membutuhkan waktu yang lama untuk mendapatkan sinyal, sekitar 1 hingga 2 menit.

Referensi

- [1] A. Hafidz, "5 Hal Ini Bikin Orang Indonesia Malas Jalan Kaki," *Liputan 6*, Oct. 25, 2022. [Online]. Available: <https://www.liputan6.com/citizen6/read/5106726/5-hal-ini-bikin-orang-indonesia-malas-jalan-kaki?page=4>. Accessed: Sep. 25, 2023.
- [2] Badan Pusat Statistik, "Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis (Unit), 2019-2021," *Badan Pusat Statistik*. [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/indicator/17/57/1/jumlah-kendaraan-bermotor.html>. Accessed: Sep. 25, 2023
- [3] Kementerian Komunikasi dan Informatika, "Rata-rata Tiga Orang Meninggal Setiap Jam Akibat Kecelakaan Jalan," *Kementerian Komunikasi dan Informatika*. [Online]. Available: https://www.kominfo.go.id/index.php/content/detail/10368/rata-rata-tiga-orang-meninggal-setiap-jam-akibat-kecelakaan-jalan/0/artikel_gpr. Accessed: Sep. 25, 2023.
- [4] V. A. Dihni, "Angka Kecelakaan Lalu Lintas di Indonesia Meningkat di 2021, Tertinggi dari Kecelakaan Motor," *Databoks*, Mar. 24, 2022. [Online]. Available: <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2022/03/24/angka-kecelakaan-lalu-lintas-di-indonesia-meningkat-di-2021-tertinggi-dari-kecelakaan-motor>. Accessed: Sep. 25, 2023.
- [5] Hantonius, "Telat Dibawa ke RS, Picu Kegagalan Penanganan Korban Kecelakaan," *Jawa Pos*, Jan. 16, 2022. [Online]. Available: <https://www.jawapos.com/kesehatan/01364733/telat-dibawa-ke-rs-picu-kegagalan-penanganan-korban-kecelakaan>. Accessed: Sep. 25, 2023.
- [6] A. S. Hafidz, "Sistem Notifikasi Kecelakaan pada Sepeda Motor Berbasis Arduino," *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi*, vol. 8, no. 3, pp. 112-125, 2016. Accessed: Oct. 12, 2023
- [7] T. N. Alifah *et al.*, "Rancang Bangun Alat Deteksi Kecelakaan Sepeda Motor Berbasis Exponential Smoothing," *Jurnal Teknik Elektro dan Informatika*, vol. 1, no. 2, pp. 2721-4842, 2020. Accessed: Oct. 12, 2023.
- [8] L. K. Wardhani *et al.*, "Prototipe Sistem Notifikasi Kecelakaan dan Wiper Otomatis pada Helm dengan Mikrokontroler Arduino," *Jurnal Sistem Kontrol dan Elektronika*, vol. 12, no. 2, pp. 2085-4315, 2020. Accessed: Oct. 12, 2023
- [9] F. D. Junior, "Perancangan Sistem Tracking untuk Pendeteksi Kecelakaan Sepeda Motor Berdasarkan Kemiringan dan Getaran," *Jurnal Informatika dan Sistem Komputer*, vol. 7, no. 1, 2021. Accessed: Oct. 12, 2023.
- [10] T. F. Yustina, "Rancang Bangun Alat Pemberitahuan Kecelakaan pada Sepeda Motor Berbasis Internet of Things (IoT)," *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi*, vol. 10, no. 4, 2022. Accessed: Oct. 12, 2023.

Pemanfaatan Jelaga Kendaraan Untuk Produksi Pigmen Tinta Melalui Metode Karbonisasi

Utilization of Vehicle Soot For Ink Pigment Production Through The Carbonization Method

Mardiah Rangkuti¹, Syrojul Qori², Indrani Mangende³, Al Nizar Baihaqi⁴, Kanaya Tasua Salsabila⁵, Samsurizal^{2*}

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi PLN

²Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi PLN

³Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi PLN

⁴Program Studi Teknik Informatika, Institut Teknologi PLN

⁵Program Studi Teknik Sistem Energi, Institut Teknologi PLN

Daerah Khusus Jakarta, Indonesia

mardiah2323020@itpln.ac.id¹, syrojul2111015@itpln.ac.id², indrani2221021@itpln.ac.id³, al2331181@itpln.ac.id⁴, kanaya2315025@itpln.ac.id⁵, samsurizal@itpln.ac.id^{2*}

Abstrak – Kualitas udara semakin menurun akibat pencemaran dari kendaraan bermotor dan sumber lainnya. Data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan menyebutkan pencemaran udara terbesar berasal dari kendaraan yakni 44%, kemudian 34% Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), lalu dari rumah tangga dan sumber lainnya. Sejatinya polusi dari kendaraan bermotor belum banyak dimanfaatkan atau diubah menjadi sesuatu yang bermanfaat. Oleh karena itu, diperlukan rekayasa polusi kendaraan sebagai terobosan berupa alat penangkap dan pengumpul jelaga yang mana hasil jelaga akan di ekstraksi menjadi pigmen tinta. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode kuantitatif dengan melakukan pengujian alat pengumpul dan penangkap jelaga, pengujian tekstur tinta, dan eksplorasi tinta dengan komposisi 20 : 1,5 : 15 : 2 (minyak : gum Arabic : jelaga : solvent) . Hasil pengujian didapatkan bahwa dengan intensitas pengujian selama 1 bulan dengan 8 jam perminggu di dapatkan bahwa rata-rata jelaga yang terkumpul perjamnya sebanyak 2 gram. Untuk hasil eksplorasi tinta di dapatkan hasil bahwa tinta memiliki karakteristik tingkat kehitaman yang baik dan tekstur yang sesuai dengan tinta konvensional.

Kata Kunci: polusi kendaraan, tinta pigmen, karbonisasi

Abstract - Air quality is declining due to pollution from motor vehicles and other sources. Data from the Ministry of Environment and Forestry states that the largest air pollution comes from vehicles, which is 44%, then 34% from Steam Power Plants, then from households and other sources. Pollution from motor vehicles has not been widely utilized or turned into something useful. Therefore, vehicle pollution engineering is needed as a breakthrough in the form of a soot catcher and collector where the soot will be extracted into ink pigments. The method used in this study is a quantitative method by testing soot collectors and catchers, ink texture testing, and ink exploration with a composition of 20 : 1.5 : 15 : 2 (oil: gum Arabic: soot: solvent). The test results were obtained that with the intensity of testing for 1 month with 8 hours per week, it was found that the average soot collected per hour was 2 grams. For the results of ink exploration, the results were obtained that the ink has good blackness level characteristics and a texture that is in accordance with conventional ink.

Keywords: Vehicle Pollution, Pigment Ink, Carbonization

1. Pendahuluan

Udara merupakan elemen penting bagi kehidupan. Namun di zaman modern ini, dengan berkembangnya pembangunan di perkotaan dan kawasan industri serta berkembangnya sarana transportasi, kualitas udara juga mengalami perubahan akibat pencemaran udara dan perubahan komposisi udara normal. Artinya, zat pencemar (dalam bentuk gas dan partikel kecil/aerosol) masuk ke udara dalam jumlah yang konstan dan dalam jangka waktu yang lama sehingga mempengaruhi kehidupan manusia, hewan, dan tumbuhan.

Dalam undang-undang No. 23 Tahun 1997 menerangkan mengenai pengertian polusi udara merupakan masuknya zat, energi atau komponen lain ke dalam udara oleh aktivitas manusia yang dapat mengganggu kehidupan manusia. Berdasarkan data situs pemantau kualitas udara IQ Air pada 25 september 2023, Jakarta menduduki posisi keenam sebagai kota dengan udara terburuk di dunia dimana masuk dalam kategori udara tidak sehat bagi kelompok sensitif karena dapat merugikan manusia ataupun kelompok hewan dan menimbulkan kerusakan bagi tumbuhan.

Polusi udara paling umum terjadi di kota urban, seperti Jakarta di bandingkan dengan pedesaan[1]. Polusi udara sendiri terbagi menjadi dua. Yang pertama polusi di dalam ruangan, seperti di dalam rumah, sekolah, dan kantor. Yang kedua polusi di luar ruangan disebabkan oleh emisi dari kendaraan, industri, kapal, dan proses biologis alami. Sumber pencemaran udara dapat dibedakan menjadi sumber tidak bergerak dan sumber bergerak. Sumber tidak bergerak terdiri dari pembangkit listrik, industri dan rumah tangga. Sedangkan sumber bergerak terdiri dari aktivitas lalu lintas kendaraan melalui darat dan laut[2].

Berdasarkan data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, pencemaran udara terbesar berasal dari kendaraan yakni 44%, kemudian 34% Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), lalu dari rumah tangga dan sumber lainnya. Menurut laporan Badan Pusat Statistik (BPS), jumlah kendaraan listrik di wilayah metropolitan Jakarta terus meningkat selama lima tahun terakhir. Tercatat, jumlah kendaraan bermotor di Ibu Kota mencapai 26,37 juta unit pada 2022. Jumlah ini meningkat 4,39% dari tahun sebelumnya sebanyak 25,26 juta unit.

Polutan yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor antara lain karbon monoksida, nitrogen oksida, jelaga, senyawa organik yang mudah menguap (VOC), sulfur dioksida, dan gas rumah kaca. Salah satu partikel yang berbahaya bagi lingkungan dan manusia adalah PM 2.5 atau jelaga. PM 2.5 terdiri atas berbagai partikel unsur dan zat, di antaranya ialah mineral seperti kalium (K), natrium (Na), aluminium (Al), selenium (Se), kobalt (Co), arsen (As), silikon (Si), kalsium (Ca), seng (Zn), timbal (Pb), sulfat (SO₄), mangan (Mn), besi (Fe), karbon organik, amonium (NH₄), dan senyawa organik volatil (VOC) seperti formalin dan benzena[3]. Partikel ini tidak hanya sulit dilihat dengan mata telanjang, tetapi juga mudah masuk ke dalam tubuh manusia sehingga menyebabkan gangguan pernafasan dan meningkatkan risiko penyakit paru-paru. Ukuran PM 2.5 berkisar 30 kali lebih kecil dari sehelai rambut manusia[4].

Kota dengan lalu lintas yang padat akan menghasilkan gas karbon monoksida yang relatif tinggi sehingga dapat memberikan pengaruh buruk terhadap kesehatan [5]. Salah satu kota besar dengan kepadatan lalu lintas yang cukup tinggi adalah kota Medan [6]. Peningkatan jumlah kendaraan dan kemacetan berpengaruh terhadap emisi polutan salah satunya karbon monoksida (CO). Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi CO di Kota Medan antara 1145,2 µg/m³ – 27484,7 µg/m³. Kondisi ini masih dibawah baku mutu udara ambien nasional Peraturan Pemerintah No. 41 tahun 1999 [7]. Menurut Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), polusi udara adalah penyebab utama kematian, mencapai 7 juta kasus kematian [8].

Untuk mengatasi permasalahan tersebut solusi yang dapat digunakan adalah dengan memanfaatkan kandungan asap kendaraan yaitu PM 2.5 menjadi produk bermanfaat berupa tinta. Bahan dasar dalam pembuatan tinta sangat menentukan hasil tinta.[9]. Kondisi optimum yang

memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) adalah tinta dengan nilai densitas 0,95 g/cm³, nilai viskositas 1,14 cP, tingkat keabuan 80%. [10].

Tidak hanya itu, pembuatan pigmen warna pada tinta juga dapat dilakukan dengan mereduksi sampah daun hingga berbentuk serbuk karbon yang homogen kemudian membakar sampah daun dalam kondisi oksigen rendah dan dilakukan proses pencampuran sederhana dengan bahan lain pembuat tinta. Uji laju absorpsi menunjukkan bahwa tinta karbon memiliki kelajuan yang hampir sama dengan jenis tinta di pasaran, yaitu 1,04 mm/s [10].

Pengurangan polusi udara tidak hanya dicapai melalui pemanfaatan jelaga, namun juga melalui pemanfaatan limbah kelapa sawit untuk menyerap gas buang kendaraan. Proses pembuatannya dilakukan dengan memanfaatkan serbuk kelapa, kemudian Serbuk kelapa sawit dan tanah liat di masukkan kedalam hidrotermal dengan perbandingan 80:15:5, lalu di oven dan di lakukan cetak tekan (Hotpress) dengan suhu 120°C [11].

Tidak hanya itu, pembuatan tinta juga dapat dilakukan dengan menggunakan endapan minuman kopi sebagai pigmen organik untuk tinta spidol whiteboard. Proses pembuatan tinta dilakukan dengan mencampuran bahan-bahan pembuat tinta antara lain gum arab, aquades, alkohol, dan PEG pada pigmen organik. Proses pembuatan tinta dilakukan dengan variasi massa binder gum arab dari 1 gram sampai dengan 3,5 gram [12].

2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif, di mana dilakukan fabrikasi alat pengumpul jelaga, serta pengujian untuk mengevaluasi kinerjanya. Fabrikasi alat mencakup perancangan, pembuatan, perakitan, dan pengujian untuk memastikan alat berfungsi dengan baik.

Selanjutnya dilakukan rekayasa polusi kendaraan dimana alat pengumpul jelaga yang terdiri dari glasswool, filter, dan rangka penutup digunakan untuk mendapatkan pigmen karbon hitam, selanjutnya setelah dikumpulkan jelaga yang diperoleh akan di eksplorasi untuk pembuatan tinta dengan menggunakan 4 sampel pengujian. Desain alat penangkap jelaga dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Desain alat perangkat jelaga

Selanjutnya dilakukan pengujian alat pengumpul jelaga dengan metode karbonisasi atau proses di mana bahan organik dipanaskan dalam kondisi terbatasnya oksigen untuk mengubahnya menjadi karbon. Proses ini dilakukan selama 1 bulan dengan intensitas pengujian 8 jam perminggunya. Jelaga yang diperoleh akan dimanfaatkan untuk pembuatan tinta yang kemudian dilakukan pula pengujian tekstur tinta dan eksplorasi tinta. Proses Eksplorasi tinta dilakukan dengan membuat 4 sampel. Sampel pertama menggunakan perbandingan 2:2:2:2 (Alkohol : Gum arabic powder : Jelaga : Resin) dalam satuan gram dan mililiter. Sampel kedua menggunakan perbandingan 1,2:10:10:10 (Serbuk Hitam : Aquadest : Solvent : Alkohol). Sampel ketiga menggunakan perbandingan 10 : 10 : 5 : 1 (Minyak : Resin : Jelaga : Pengental). Sampel keempat

menggunakan perbandingan 20:1,5:15:2 (Minyak : Gum Arabic : Jelaga : Solvent). Sampel yang diperoleh selanjutnya dilakukan pengujian tesktur yaitu pengujian tekstur tinta, dimana setelah mencampurkan bahan, diambil sedikit tinta dan dioleskan ke atas kertas untuk melihat apakah tinta tersebut memiliki tekstur yang terlalu kental, terlalu cair, atau sudah stabil.

3. Hasil dan Pembahasan

Bahan dasar pembuatan tinta sangat penting dalam menentukan kualitas tinta. Ada beberapa bahan potensial yang dapat dijadikan bahan utama dalam pembuatan tinta, salah satunya adalah jelaga. Jelaga adalah bubuk hitam yang diperoleh dari pembakaran yang tidak sempurna dalam asap kendaraan pada kondisi rendah oksigen. Semakin terbatasnya oksigen maka akan semakin tidak sempurna pembakaran yang terjadi dan semakin banyak pula jelaga yang dihasilkan.

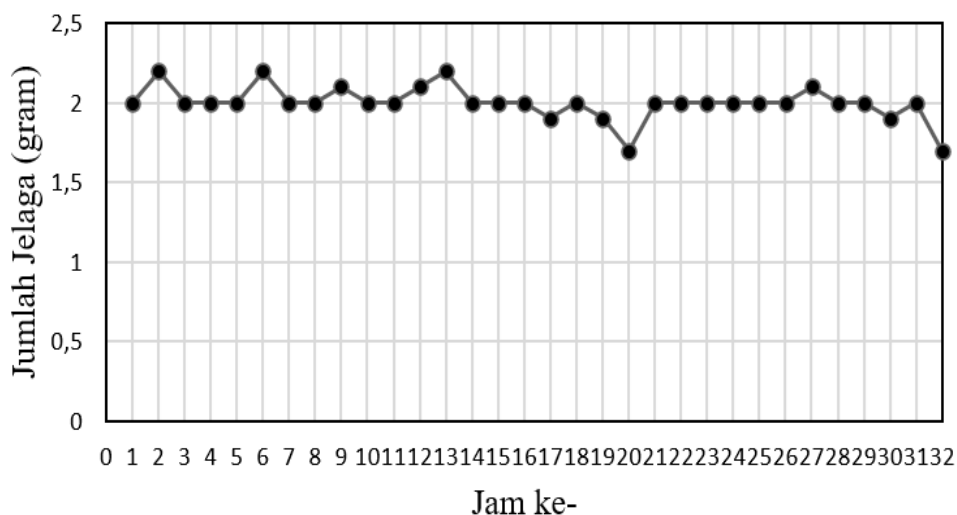
Bubuk hitam diperoleh dari asap kendaraan dikumpulkan melalui penangkap dan pengumpul jelaga selama 1 bulan. Hasil pengujian yang diperoleh dari alat pengumpul jelaga berupa bubuk hitam dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Hasil bubuk hitam

Jelaga yang diperoleh memiliki tekstur halus dan warna hitam pekat. Selanjutnya dilakukan pengujian jelaga yang ditunjukkan pada grafik gambar 3.

Grafik Pengujian Jelaga



Gambar 3. Grafik pengujian jelaga

Berdasarkan pengujian yang ditampilkan pada gambar 3, dapat diketahui bahwa proses pengujian telah dilakukan selama satu bulan dengan intensitas waktu pengujian sebesar 8 jam per minggu. Selama pengujian ini, jumlah jelaga yang terkumpul menunjukkan variasi. Meskipun

demikian, rata-rata jumlah jelaga yang terkumpul adalah sekitar 2 gram per jam. Setelah pengumpulan jelaga selesai, langkah selanjutnya dalam penelitian ini adalah mengeksplorasi potensi penggunaan jelaga tersebut dalam pembuatan tinta. Untuk itu, dilakukan proses eksplorasi tinta dengan memvariasikan empat sampel. Eksperimen ini bertujuan untuk menentukan kualitas dan karakteristik tinta yang sesuai dan paling mendekati dengan tinta konvensional. Hasil dari eksperimen ini akan disajikan secara rinci pada Tabel 1, yang mencakup data seperti kekentalan, warna, dan kecepatan pengeringan.

Tabel 1. Hasil eksplorasi tinta

No.	Sampel dan Rasio	Hasil
1.	2 : 2 : 2 : 2	Tekstur : kasar dan terlalu kental; kecepatan pengeringan : cepat; kehitaman : kurang hitam
2.	1,2 : 10 : 10 : 10	Tekstur : terlalu kental; kecepatan pengeringan : cepat; kehitaman : kurang baik
3.	10 : 10 : 5 : 1	Tekstur : terlalu cair; kecepatan pengeringan : cepat; kehitaman : baik
4.	20 : 1,5 : 15 : 2	Tekstur : sudah sesuai/tidak terlalu kental dan cair; kecepatan pengeringan : lama; kehitaman : baik

Dari Tabel 1 hasil eksplorasi tinta, dapat dilihat bahwa pada sampel 1, tinta yang dihasilkan masih memiliki tekstur yang kasar dan tingkat kehitaman yang kurang optimal. Pada sampel 2, tinta yang dihasilkan memiliki tekstur yang terlalu kental dengan tingkat kehitaman yang juga belum memadai. Sementara itu, pada sampel 3, tekstur tinta terlalu cair, meskipun tingkat kehitamannya sudah cukup baik. Di sisi lain, tinta pada sampel 4 menunjukkan karakteristik yang paling mendekati tinta konvensional, dengan tekstur dan tingkat kehitaman yang sesuai. Hal ini dapat dilihat lebih jelas pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil sampel 4

Dimana dari gambar tersebut dapat terlihat bahwasanya tekstur yang dihasilkan tidak terlalu kental dan memiliki tingkat kehitaman yang baik. Selanjutnya keempat sampel yang sebelumnya di variasikan dilakukan penerapan hasil yang didapat pada kertas, hasil penerapan dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Penerapan pada kerja

Hasil pengujian pada kertas menunjukkan bahwa beberapa sampel masih kurang menyatu antara masing-masing bahan yang menyebabkan jelaga terkumpul di tengah. Namun, sampel keempat memiliki tekstur dan tampilan yang paling mendekati dengan tinta konvensional.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwasanya jelaga yang terkumpul perjam sebanyak 2 gram. jelaga atau karbon hitam dapat menjadi bahan baku dalam pembuatan tinta konvensional dengan komposisi tinta 20 : 1,5 : 15 : 2 (Minyak : Gum Arabic : Jelaga : Solvent) dengan hasil dimana tekstur sudah sesuai/tidak terlalu kental dan cair serta memiliki tingkat kehitaman yang baik dan paling mendekati dengan tinta konvensional.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada simbelmawa dan kemendikbudristek yang telah memberikan dana tahun 2024 dan penulis juga mengucapkan terima kasih banyak kepada Institut Teknologi PLN serta seluruh pihak yang telah mendukung kegiatan sehingga dapat dibuat dalam sebuah artikel ilmiah.

Referensi

- [1] V. William And D. Widyanto, "Perancangan Alat Pengumpul Jelaga Di Kendaraan Beroda Empat," *Ars*, Vol. 26, No. 1, Pp. 57–68, Apr. 2023, Doi: 10.24821/Ars.V26i1.6959.
- [2] Agus Gindo Simanjuntak, "Pencemaran Udara," *Pusat Teknologi Limbah Radioaktif*, Vol. 11, No. 1, Pp. 34–35, 2007.
- [3] Sarah Adhira Rahmah And Holy Kartika Nurwigati Sumartiningtyas, "Apa Itu Pm_{2,5} Yang Selalu Dikaitkan Dengan Polusi Udara?," *Kompas*, Agustus 2023.
- [4] Environmental United States, "Waters Of The United States," Nov. 2023.
- [5] D. Y. Damara, I. W. Wardhana, And E. Sutrisno, "Analisis Dampak Kualitas Udara Karbon Monoksida (Co) Di Sekitar Jl. Pemuda Akibat Kegiatan Car Free Day Menggunakan Program Caline4 Dan Surfer (Studi Kasus: Kota Semarang)," Vol. 6, No. 1, 2017.
- [6] I. R. Hasibuan, M. Lubis, And D. Tanjung, "Studi Manajemen Lalu Lintas Di Ruas Jalan Imam Bonjol Kota Medan Dengan Menggunakan Metode Pkji," *Jurnal Ilmiah Teknik Unida*, Vol. 4, No. 2, Pp. 254–255, 2023.
- [7] I. Suryati And H. Khair, "Analisis Isophlet Konsentrasi Dan Estimasi Potensi Penurunan Karbon Monoksida Di Kota Medan," *Dampak*, Vol. 13, No. 2, Pp. 1–8, Jul. 2016, Doi: 10.25077/Dampak.13.2.51-59.2016.
- [8] Ahmad Arif, "Polusi Udara Membunuh 7 Juta Orang Per Tahun, Who Terbitkan Pedoman Baru," *Kompas*, Jakarta, Sep. 23, 2021.
- [9] H. Muchtar, I. T. Anova, And G. Yeni, "Pengaruh Kecepatan Pengadukan Dan Kehalusan Gambir Serta Variasi Komposisi Terhadap Beberapa Sifat Fisika Dalam Pembuatan Tinta Cetak," *Jli Padang*, Vol. 5, No. 2, P. 131, Dec. 2015,

- [10] A. P. Rengganis, A. Yulianto, And I. Yulianti, “Pengaruh Variasi Konsentrasi Arang Ampas Kopi Terhadap Sifat Fisika Tinta Spidol Whiteboard,” 2017.
- [11] P. A. Wiguna, M. A. N. Said, R. Wicaksono, And M. Prasetya, “Fabrikasi Tinta Printer Berbahan Dasar Pigmen Organik Dari Sampah Daun,” Vol. 4, No. 2, 2014.
- [12] A. Abdillah, G. Saragih, M. Z. Akbari, And V. Purwandari, “Pembuatan Penyerap Gas Buang Kendaraan Bermotor Berbasis Limbah Padat Kelapa Sawit,” *Kimia*, Vol. 7, No. 1, Pp. 21–26, Jun. 2023,
- [13] A. P. Rengganis, S. Sulhadi, T. Darsono, And D. P. Fajar, “Fabrikasi Tinta Spidol Whiteboard Berbahan Dasar Pigmen Organik Dari Endapan Minuman Kopi,” In *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) Snf2017 Unj*, Pendidikan Fisika Dan Fisika Fmipa Unj, 2017.

Rancang Bangun Prototipe Asisten Suara untuk Pengendalian Peralatan Rumah Pintar secara Interaktif Berbasis Chatbot dengan Artificial Intelligence

Design and Development of a Voice Assistant Prototype for Interactive Control of Smart Home Devices Based on Chatbot with Artificial Intelligence

Nanang Rohadi

Teknik Elektro, Universitas Padjadjaran
Jl. Hegarmanah, Jatinangor, Sumedang, Jawa-Barat 45363
nanang.rohadi@unpad.ac.id

Abstrak – Meningkatnya keinginan untuk mendapatkan pelayanan pada rumah pintar berbasis teknologi membuat peran asisten suara menjadi dibutuhkan. Melalui perintah suara pengguna dapat melakukan pengontrolan dan pengawasan terhadap peralatan pada rumah pintar. Perancangan asisten suara untuk pengontrolan berbasis chatbot masih terbatas sehingga perlu dikembangkan untuk selanjutnya diimplementasi. Chatbot merupakan penerapan kecerdasan buatan pengolahan input teks dan kemudian akan memberikan respon atau jawaban. Penelitian ini bertujuan merancang prototipe asisten suara untuk pengendalian peralatan listrik rumah secara interaktif berbasis chatbot dengan proses pembelajaran dengan metoda Natural Language Processing (NLP) dan dilatih menggunakan algoritma Artificial Neural Network (ANN). Konversi Speech to Text dan Text to Speech digunakan untuk pengendalian operasi rumah pintar secara interaktif melalui suara. Mikrokontroler digunakan sebagai fungsi interface untuk pengendalian peralatan rumah terpasang. Hasil akurasi training model chatbot dengan algoritma ANN adalah 99.83%. Hasil pengujian respon kerja rancangan sistem diperoleh bahwa rancangan asisten suara dapat memberikan solusi kenyamanan dan kemudahan aksesibilitas bagi penggunaanya, terlebih pada orang dengan keterbatasan fisik.

Kata Kunci: Chatbot, Artificial Neural Network, Speech to Text, Text to Speech, Rumah Pintar.

Abstract – The increasing demand for technology-based smart home services has made the role of voice assistants essential. Through voice commands, users can control and monitor devices in a smart home. The design of voice assistants for chatbot-based control is still limited, necessitating further development and implementation. A chatbot is an application of artificial intelligence that processes text input and then provides responses or answers. This research aims to design a voice assistant prototype for interactive control of household electrical appliances based on a chatbot, utilizing Natural Language Processing (NLP) methods and trained using Artificial Neural Network (ANN) algorithms. Speech-to-Text and Text-to-Speech conversion are used for interactive smart home operation control via voice. A microcontroller functions as an interface for controlling the installed home appliances. The accuracy result of the chatbot model training with the ANN algorithm is 99.83%. The test results of the system design's response indicate that the voice assistant design can provide comfort and ease of accessibility for users, especially for those with physical limitations.

Keywords: Chatbot, Artificial Neural Network, Speech to Text, Text to Speech, Smart Home.

1. Pendahuluan

Pelayanan rumah berbasis teknologi, seperti rumah pintar, diperlukan karena berbagai alasan yang dapat meningkatkan kenyamanan, efisiensi, keamanan, dan kualitas hidup penghuni. Pelayanan rumah berbasis teknologi diperlukan untuk mendapatkan alasan tersebut. Basis teknologi pada rumah pintar memungkinkan pengendalian perangkat rumah lebih mudah, dapat meningkatkan efisiensi energi dan faktor keamanan rumah yang dapat ditingkatkan [1]. Dengan semua manfaat ini pelayanan rumah berbasis teknologi tidak hanya menjawab kebutuhan modern tetapi juga menawarkan solusi yang lebih cerdas dan efisien untuk berbagai tantangan dalam kehidupan sehari-hari.

Asisten pengendali perangkat rumah berbasis suara muncul sebagai solusi inovatif untuk mengatasi berbagai permasalahan rumah tangga modern. Implementasi basis teknologi pada pengendalian perangkat rumah, pengguna dapat dengan mudah mengontrol peralatan listrik di rumah hanya melalui perintah suara [2]. Pengguna tidak perlu bergerak dari satu perangkat ke perangkat lain untuk menekan *remote* atau saklar fisik sehingga dapat memberikan solusi kenyamanan dan kemudahan aksesibilitas bagi penggunanya, terlebih pada orang yang memiliki keterbatasan fisik [3]. Penambahan sensor otomatis untuk pengontrolan peralatan listrik juga dapat mengurangi risiko kelalaian dan pemborosan energi yang mungkin ditimbulkan [4].

Asisten kontrol rumah berbasis suara merupakan implementasi dari kemajuan teknologi *Artificial Intelligence* (AI) atau kecerdasan buatan. Sistem AI dapat meniru kecerdasan manusia seperti menentukan keputusan, logika, dan karakteristik kecerdasan lainnya [5]. Kemampuan komputer untuk memahami bahasa dan berinteraksi dengan manusia merupakan salah satu kecerdasan yang dapat dikembangkan. *Natural language processing* (NLP) adalah cabang kecerdasan buatan yang membuat komputer dapat menafsirkan dan memahami bahasa manusia yang pada akhirnya akan menciptakan suatu komunikasi antara manusia dengan peralatan fisik [6]. *Chatbot* merupakan penerapan dari kecerdasan NLP. *Chatbot* dapat menghasilkan percakapan antara manusia dengan komputer dimana input dan output yang dihasilkan adalah tulisan/teks. Untuk membuat sistem menjadi hidup atau berinteraksi suara, maka diberi tambahan pengkonversi *speech to text* dan *text to speech* [7][8].

Implementasi teknologi berbasis *Chatbot* dan AI, pengguna dapat dengan mudah melakukan kontrol konsumsi energi listrik dan mencegah *human error* atau kelalaian saat meninggalkan ruangan. Pengguna dapat menginstruksikan sistem untuk mematikan suatu perangkat dengan mudah atau bahkan mematikan beberapa perangkat sekaligus dalam satu perintah saat pengguna akan meninggalkan rumah.

Pada penelitian ini akan dikembangkan prototipe rancang bangun asisten suara interaktif untuk kontrol peralatan listrik di rumah. Rancangan akan menggunakan *chatbot* dengan model NLP yang dikembangkan dengan penambahan fitur konversi suara ke teks dan sebaliknya, serta penambahan fitur kontrol ke mikrokontroler. Proses pelatihan dan pengujian sistem *chatbot* menggunakan algoritma machine learning yaitu *Artificial Neural Network* (ANN). Modul *TensorFlow* juga digunakan untuk melatih model dari ANN.

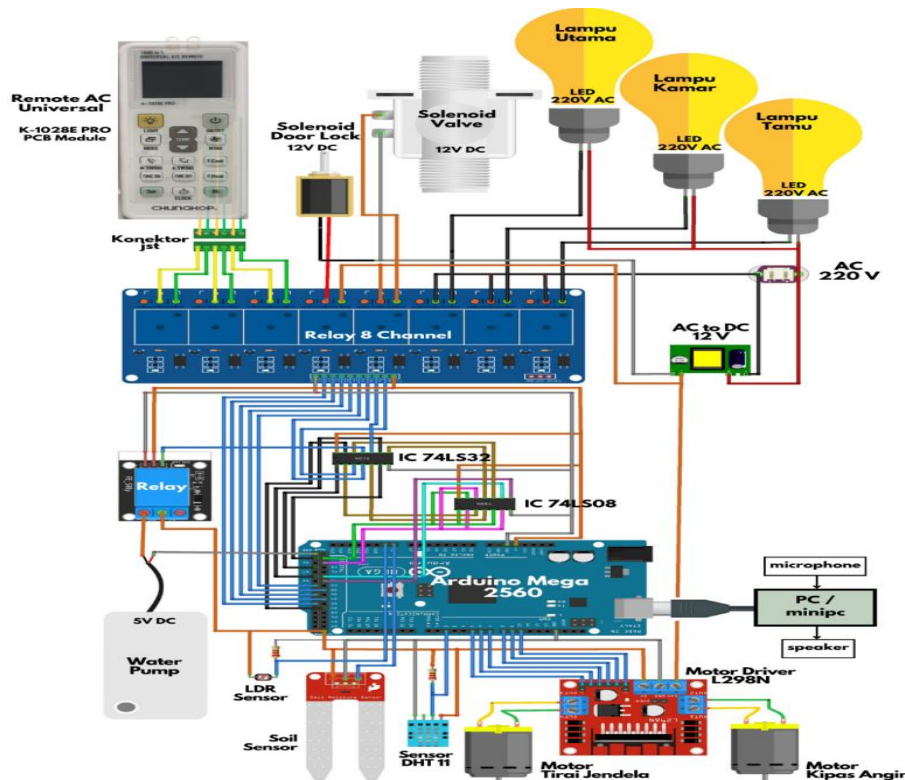
2. Metodologi Rancangan

Pendekatan sistimatis digunakan dalam proses rancangan, baik rancangan fisik maupun algoritma sebagai fungsi pengendalian. Sejumlah metoda rancangan dikembangkan untuk mendapatkan solusi yang efektif, efisien, dan sesuai kebutuhan rancangan.

2.1. Rancangan *Hardware*

Rancangan *hardware* dimulai dengan membuat rangkaian peralatan listrik yang diperlukan melalui sejumlah tahapan berupa tahapan konseptualisasi hingga pembuatan prototipe untuk membuat fungsi dan tujuan dari perangkat keras akan dirancang. Spesifikasi detail seperti

performa, daya, ukuran, dan lingkungan operasional ditentukan dalam pembuatan untuk memenuhi kebutuhan dan spesifikasi teknik yang telah ditentukan. Gambar 1 menggambarkan rangkaian dari sistem perangkat keras, beberapa elemen termasuk *microcontroller* arduino telah digunakan pada sistem pengendalian rumah pintar.



Gambar 1. Rangkaian komponen pada kendali rumah pintar

2.2. Rancangan Perangkat Lunak

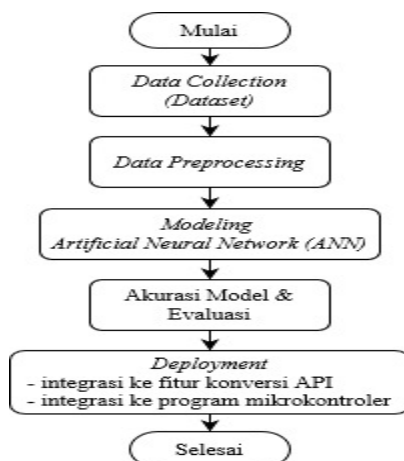
Pada rancangan ini struktur dan komponen pada kerja perangkat lunak dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan yang direncanakan. Dalam rancangan ini beberapa aspek rancangan untuk mendapatkan kerja sistem perlu dilakukan, yaitu meliputi arsitektur dari sistem, desain komponen, desain antar muka, desain basis data, dan desain algoritma.

Lebih detail dari kebutuhan kerja dari perangkat lunak yang dikembangkan adalah perancangan dari model *chatbot* yang diintegrasikan dengan fitur *speech to text* dan *text to speech* menggunakan API. Kemudian model sistem tersebut akan diintegrasikan dengan program mikrokontroler melalui program lanjutan. Gambar 2.2 adalah detail dari diagram alir perancangan *chatbot* yang menggambarkan Langkah-langkah utama dalam merencanakan dan mengembangkan *chatbot*, dari tahap awal hingga implementasi akhir. Diagram alir ini merupakan serangkaian kotak dan panah yang menunjukkan urutan langkah. Penjelasan lebih rinci dari metodologi pada Gambar 2.2 adalah, sbb.:

Data Collection (Dataset)

Data yang digunakan dalam penelitian merupakan kumpulan data yang dimasukkan secara manual [9]. Data tersebut berfokus pada peluang kata atau kalimat yang mungkin diucapkan untuk mengontrol perangkat. Dataset akan disimpan dalam sebuah file *JavaScript Object Notation* (JSON) dengan struktur:

- Intents*: Kumpulan seluruh data tag atau kelas yang akan digunakan untuk melatih chatbot.
- Tag*: Kelompok serupa atau kelas yang didalamnya terdapat *Patterns* dan *Responses*.
- Patterns*: Data pola input atau peluang kalimat yang mungkin diucapkan oleh pengguna.
- Responses*: Output atau kalimat jawaban yang nantinya dikirimkan chatbot kepada pengguna.



Gambar 2. Diagram alir rancangan *chatbot*

Data Preprocessing

Pada tahap ini, data teks akan diolah menggunakan pendekatan *Natural Language Processing* (NLP) sehingga komputer dapat memahami makna kalimat berdasarkan nilai dari setiap kata [10] [11].

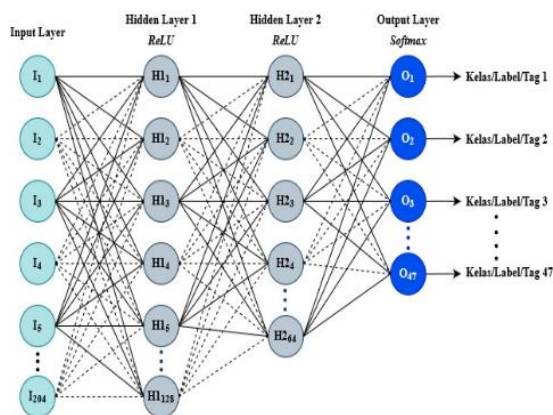
Data dengan teks panjang (kalimat) akan diolah melalui beberapa tahapan berikut. *Case folding*, merupakan proses untuk mengubah data teks input menjadi huruf kecil atau tidak kapital. *Tokenizing*, merupakan proses memecahkan kalimat menjadi kata-kata atau disebut token. *Stemming*, proses menghilangkan imbuhan dengan melakukan pemotongan awalan atau akhiran kata dan diubah ke bentuk akarnya. *Lemmatization*, proses pengubahan bentuk kata menjadi satu bentuk inti atau kata dasarnya sehingga dapat memudahkan analisis. *Bag of Words* (BoW) adalah pemodelan yang memperoleh kosakata dari seluruh teks atau korpus, untuk membentuk sekumpulan kata unik serta nilai dari setiap kata [12][13]. Gambar 3 adalah gambaran skema dari *data preprocessing*.



Gambar 3. Gambaran skema *preprocessing*

Model Artificial Neural Network (ANN)

Model ANN digunakan untuk melakukan pembelajaran klasifikasi *output* respon dan kontrol [14]. Gambar 4 adalah arsitektur dari model ANN yang digunakan pada penelitian.



Gambar 4. Arsitektur Artificial Neural Network

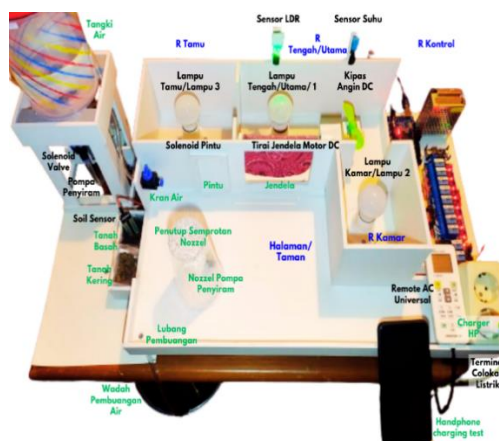
Layer pertama merupakan *Input layer* (I), berjumlah 204 *node* (*neuron*) yang berasal dari hasil pengolahan data *preprocessing*. Layer kedua merupakan *hidden layer* (H1), memiliki 128 *node* (*neuron*). Layer ketiga merupakan *hidden layer* (H2), memiliki 64 *node* (*neuron*). Layer terakhir adalah *output layer* (O), memiliki 47 *node* (*neuron*) yang merupakan jumlah kelas atau *tag output*.

Hidden layer pertama dan kedua menggunakan fungsi aktivasi ReLU (*Rectified Linear Unit*). Aktivasi ReLU membuat data negatif menjadi 0 dan data yang diatas 0 akan dikembalikan pada nilai sebelumnya. Pada *output layer* menggunakan fungsi aktivasi *softmax*. Aktivasi *softmax* merupakan fungsi yang digunakan dalam perhitungan probabilitas untuk menentukan klasifikasi multi kelas dengan output kelas yang mempunyai nilai probabilitas yang paling tinggi [15].

3. Hasil Pengujian dan Pembahasan

Rancangan Miniatur Ruangan (Rumah)

Pada penelitian berhasil dibuat miniatur ruangan mengikuti rancangan desain yang sudah direncanakan sebelumnya. Rancangan memiliki ukuran inti 60 cm x 40 cm. Terdapat perangkat listrik yang diintegrasikan ke rancangan miniature, yaitu: *remote AC universal*, kipas motor DC, motor DC untuk tirai, solenoid kunci pintu, solenoid untuk pipa saluran air, pompa air DC untuk penyiraman tanaman, lampu LED, terminal colokan listrik, sensor kelembaban tanah, sensor LDR cahaya dan sensor suhu.



Gambar 5. Prototipe Miniatur Ruangan

Pengujian Respon Chatbot Terhadap Kontrol Komponen

Tabel 1 adalah respon chatbot terhadap kontrol komponen lampu. Tujuan dari pengujian adalah untuk mengetahui kinerja dari rancangan chatbot yang telah dibangun dapat bekerja dengan baik terhadap peralatan listrik. Pengujian dilakukan dengan menguji input perintah yang berbeda-beda sebanyak 5 kali pada setiap komponen peralatan.

Tabel 1. Contoh Respon Chatbot Terhadap Kontrol Komponen Lampu

Komponen	Uji	Input	Respon	Kondisi Komponen	Status
Lampu Utama	1	Tolong nyalakan lampu ruang utama	Baik lampu utama akan segera dinyalakan	Hidup	Benar
	2	Tolong hidupkan lampu utama	Baik lampu utama dihidupkan	Hidup	Benar
	3	Tolong aktifkan lampu ruang utama	Baik lampu utama akan diaktifkan	Hidup	Benar
	4	Hidupkan segera lampu satu	Baik lampu satu segera dihidupkan	Hidup	Benar
	5	Tolong hidupin lampu ruang tengah	Baik lampu ruang tengah dihidupkan	Hidup	Benar
	1	Tolong matikan lampu utama	Baik lampu utama segera dimatikan	Mati	Benar
	2	Tolong padamkan lampu ruang tengah	Baik lampu utama akan dimatikan	Mati	Benar
	3	Nonaktifkan lampu utama	Baik lampu utama akan segera dinonaktifkan	Mati	Benar
	4	Halo bantu saya matikan lampu utama	Baik lampu utama segera dimatikan	Mati	Benar
	5	Nonaktifkan segera lampu satu	Baik lampu satu segera dinonaktifkan	Mati	Benar

Note: waktu respon sekitar 4.9 detik pada jarak mikropon sekitar 3 meter.

Tabel 1 hasil uji respon *chatbot* terhadap kontrol peralatan listrik, dilakukan pengujian yang sama untuk seluruh komponen/peralatan listrik yang ada pada rancangan. Hasil pengujian diketahui respon chatbot memiliki ketepatan yang baik terhadap kontrol komponen peralatan. Rancangan sistem mampu mengerti berbagai model kalimat input yang memiliki tujuan atau makna yang sama untuk setiap kategori pengontrolan perangkat. Pada pengujian tidak ditemukan adanya kegagalan.

4. Kesimpulan

Dalam makalah ini, disajikan rancangan prototipe dan pengujian asisten suara untuk pengendalian peralatan rumah pintar. Teknologi pengendalian yang dikembangkan berbasis chatbot NLP menggunakan algoritma ANN. Hasil akurasi pada proses pembelajaran model chatbot diperoleh cukup baik, termasuk pengujian respon kerja rancangan asisten suara untuk subjek pengendalian pada beban lampu. Waktu rata-rata dari respon sistem adalah 4.9 detik, dengan posisi microphone pada jarak 3 meter. Prototipe dengan metoda yang dikembangkan berhasil diimplementasi untuk pengendalain pada rumah pintar.

Referensi

- [1] Lee, H., & Kim, Y., "The rising demand for home services: A consumer perspective. *Journal of Consumer Affairs*", 54(2), 519-538. doi:10.1111/joca.12345, 2020.
- [2] Kumar, A., & Lee, H., "Voice-controlled smart home automation systems: Design and implementation. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*", 12(4), 515-526. doi:10.1007/s12652-020-02165-3, 2021.
- [3] Kim, S., & Park, J. "Development of a Voice-Activated Smart Home Control System". *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 65(3), 295-304. doi:10.1109/TCE.2019.2901228, 2019.
- [4] Chen, J., Liu, Y., & Zhang, X. "Smart Home Energy Management System Using IoT and Big Data Analytics". *Sensors*, 20(5), 1565. doi:10.3390/s20051565, 2020.

- [5] Abdul Raup, et al., “*Deep Learning dan Penerapannya dalam Pembelajaran*”, Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan (JIIP), Vol. 5, No. 9, pp. 3258-3267, September 2022, eISSN: 2614-8854.
- [6] Farid Naufal et al., “*Natural Language Processing Untuk Otomatisasi Pengenalan Pronomina Dalam Kalimat Bahasa Indonesia*”. Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (JTIK), Vol. 9, No. 5, pp. 1011-1018, Oktober 2022.
- [7] C. Rzepka et al., “*Voice Assistant vs. Chatbot – Examining the Fit Between Conversational Agents’ Interaction Modalities and Information Search Tasks*”, Inf. Syst. Front., vol. 24, no. 3, pp. 839–856, 2022, doi: 10.1007/s10796-021-10226-5.
- [8] Y. Ren et al., “*Fast Speech 2: Fast and High-Quality End-to-End Text to Speech*,” pp. 1–15, 2020, Available: <http://arxiv.org/abs/2006.04558>.
- [9] Feri Mustakim, et al., “*Algoritma Artificial Neural Network pada Text-based Chatbot Frequently Asked Question (FAQ) Web Kuliah Universitas Nasional*”, Jurnal JTIK (Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi), Vol. 5, No. 4, pp.438-447, 2021, DOI: <https://doi.org/10.35870/jtik.v5i4.261>.
- [10] Jasen, et al., “*Penerapan Natural Language Processing Dalam Aplikasi Chatbot Sebagai Media Pencarian Informasi Dengan Menggunakan React*”, Jurnal Informatika dan Bisnis, 2020, ISSN 2301-9670.
- [11] Kwan, Wahyu, “*Natural Language Processing*”, Publish PT. Algoritma Data Indonesia, 2021 Diakses melalui <https://algoritma.blog/natural-language-processing/>.
- [12] M. Uma, et al., “*Formation of SQL from Natural Language Query using NLP*,” International Conference on Computational Intelligence in Data Science (ICCIDS), pp. 1-5, 2019.
- [13] W. T. H. Putri, et al., “*Penggalian Teks Dengan Model Bag of Words Terhadap Data Twitter*”, Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran, dan Ilmu Kesehatan, Vol. 2, No.1, pp. 129-138, 2018.
- [14] Y. I. Al Barsh, et al., “*MPG Prediction Using Artificial Neural Network*,” International Journal of Academic Information Systems Research (IJAIRS), pp. 7-16, 2020.
- [15] N. A. Purwitasari, et al., “*Implementation of Artificial Neural Network Algorithm in Chatbot Development Using Natural Language Processing Approach*”, Jurnal IPTEK, Vol. 6, No.1, pp.14-21, Februari 2022.

Pengendalian Kestabilan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Dengan Metoda PID Auto Tuning Berbasis *Programmable Logic Kontroller*

Speed Stability Control of a 3-Phase Induction Motor Using PID Auto- Tuning Method Based on Programmable Logic Controller

Nanang Rohadi

Teknik Elektro, Universitas Padjadjaran
Jl. Hegarmanah, Jatinangor, Sumedang, Jawa-Barat 45363
nanang.rohadi@unpad.ac.id

Abstrak – Kecepatan motor induksi induksi 3 fasa dalam industry adalah aspek penting yang dapat mempengaruhi efisiensi operasional dan kualitas produksi. Persoalan yang sering muncul terkait perubahan kecepatan motor induksi adalah terjadinya perubahan beban ekstrim sehingga pengendali kecepatan dengan parameter pendali konstan tidak bisa dilakukan. Dalam hal ini kendali kecepatan secara adaptif pada motor diperlukan untuk meningkatkan kinerja terhadap perubahan beban. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan sistek pengendali kecepatan motor secara adaptif dengan metoda *Proporsional-Integral-Derifative (PID) with Auto Tuning (PIDAT)* yaitu fungsi pengendalian yang digunakan pada PLC. PIDAT bekerja dengan prinsip dasar pengendalian PID namun dilengkapi dengan kemampuan auto-tuning untuk menyesuaikan parameter kontrol yang sesuai berdasarkan perubahan karakteristik beban . PLC-Omron dengan fungsi PIDAT digunakan untuk implementasi terhadap metoda yang dikembangkan untuk mendapatkan aksi pengendalian dengan presisi tinggi dan stabilitas. Teknik ini dapat meningkatkan kinerja dari sistem kendali kecepatan terhadap perubahan beban secara akurat dengan kesalahan kondisi kecepatan konstan sebesar 1,667% dengan respon waktu settling sebesar 8,97 detik.

Kata kunci: PID Auto Tuning, Pengendalian Kecepatan, Motor Induksi, PLC, Ziegler-Nichols.

Abstract – The speed of a three-phase induction motor in an industrial setting is a critical aspect that can influence operational efficiency and production quality. A common issue related to changes in motor speed is the occurrence of extreme load variations, which makes it impossible to kontrol the speed using constant kontrol parameters. In this context, adaptive speed kontrol for the motor is necessary to improve performance in response to load changes. This research aims to implement an adaptive motor speed kontrol system using the *Proportional-Integral-Derivative (PID) with Auto Tuning (PIDAT)* method, a kontrol function utilized in PLCs. PIDAT operates on the basic principles of PID kontrol but is equipped with auto-tuning capabilities to adjust kontrol parameters according to changes in load characteristics. Omron PLCs with the PIDAT function are used to implement the developed method to achieve high precision and stability in kontrol actions. This technique can enhance the performance of speed kontrol systems in response to load variations accurately, with a constant speed condition error of 1.667% and a settling time response of 8.97 seconds.

Keywords: PID Auto Tuning, Speed Controlling, Induction Motor, PLC, Ziegler-Nichols.

1. Pendahuluan

Motor induksi diperlukan dalam berbagai aplikasi industri dan komersial karena beberapa kelebihan dan manfaatnya. Sejumlah alasan mengapa motor induksi banyak digunakan dan dianggap penting adalah karena memiliki durabilitas yang baik terhadap kondisi operasional yang keras dengan keandalan yang tinggi. Sejumlah karakteristik lain yang dimiliki sehingga motor induksi banyak digunakan dalam kegiatan industri atau kegiatan teknik lainnya adalah karena

SENTER 2024, 03 Oktober 2024, pp. 56-62

ISSN (p): 2985-4903

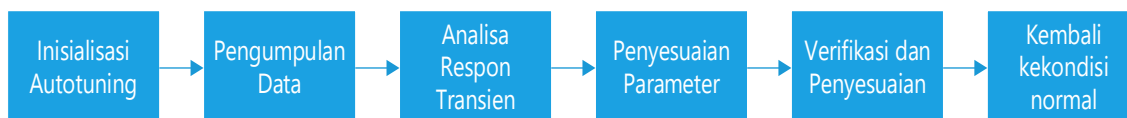
ISSN (e): 2986-2477

memiliki efisiensi energi tinggi, bentuknya sederhana, perawatan rendah dan kemudahan pengendalian dan kemampuan adaptasi terhadap perubahan beban yang baik [1]. Fleksibilitas dalam pengendalian terhadap berbagai aplikasi dengan berbagai metoda seperti pengendalian frekuensi variable (VFD) atau pengendalian dengan perubahan tegangan [2]. Secara keseluruhan, motor induksi adalah pilihan populer dalam berbagai aplikasi industri dan komersial karena keandalan, biaya dan kinerja yang stabil [3].

Pengendalian kecepatan motor induksi 3 fasa dengan PID metoda yang efektif bisa digunakan untuk pengendalian kecepatan motor [3]. Pengendalian berbasis PID adalah algoritma pengendalian yang umum digunakan dalam banyak sistem kontrol untuk mencapai kinerja yang stabil dan responsive. Pada pengendalian kecepatan motor induksi, pengendali PID digunakan untuk mengatur kecepatan motor dengan mengatur sinyal input berdasarkan kesalahan antaran kecepatan setpoint dan kecepatan aktual motor [3]. Komponen penting pada pengendalian berbasis PID yaitu mengandung sejumlah komponen yaitu Proporsional (P), Integral (I), dan Derivative (D). Masing-masing parameter ini akan menentukan respon berdasarkan kesalahan, mengeliminasi kesalahan berdasarkan akumulasi dan mengatasi perubahan kecepatan kesalahan yaitu memperbaiki kecepatan sistem sehingga *overshoot* dapat dikurangi. Kinerja dari pengendali dengan metoda PID berdasarkan nilai parameter dari ketiga komponen tersebut dilakukan secara konvensional, nilai parameter disesuaikan untuk mendapatkan aksi pengendalian yang sesuai.

Teknik PID konvensional dengan parameter konstan seperti dijelaskan diatas akan memerlukan penyesuaian nilai parameter secara manual terhadap perubahan beban untuk menghasilkan aksi pengendalian yang baik. Teknik PID konvensional dalam hal ini akan memakan waktu dan memerlukan pemahaman mendalam tentang sistem yang akan dikendalikan. Untuk mendapatkan hasil yang optimal maka PID Autotuning bisa digunakan [3]. Teknik ini akan mempermudah proses penyesuaian dengan menggunakan algoritma otomatis untuk menghitung parameter PID. Teknik ini cocok untuk sistem yang memerlukan penyesuaian yang cepat dan adaptasi terhadap perubahan kondisi beban yang relative ekstrim.

PID Autotuning adalah metode otomatis yang diimplementasi pada penelitian ini untuk pengendalian kecepatan motor induksi 3 fasa. Metoda ini digunakan untuk menentukan parameter PID yang optimal secara otomatis tanpa memerlukan penyesuaian manual yang rumit. Metoda ini menggunakan metoda khusus untuk menilai respon sistem dan menghitung parameter yang memberikan kinerja yang baik. Proses untuk melakukan autotuning yang dilakukan oleh PLC-Omron melalui fungsi PIDAT (Autotuning PID) adalah untuk menemukan nilai optimal bagi parameter PID dalam sistem kontrol tanpa kehilangan proses kontrol terhadap motor [4,5]. Sejumlah tahapan dalam cara kerja PIDAT seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses kerja autotuning PID (PIDAT)

Proses kerja *Autotuning* seperti pada Gambar 1. dapat dijelaskan lebih detail sebagai berikut [6]:

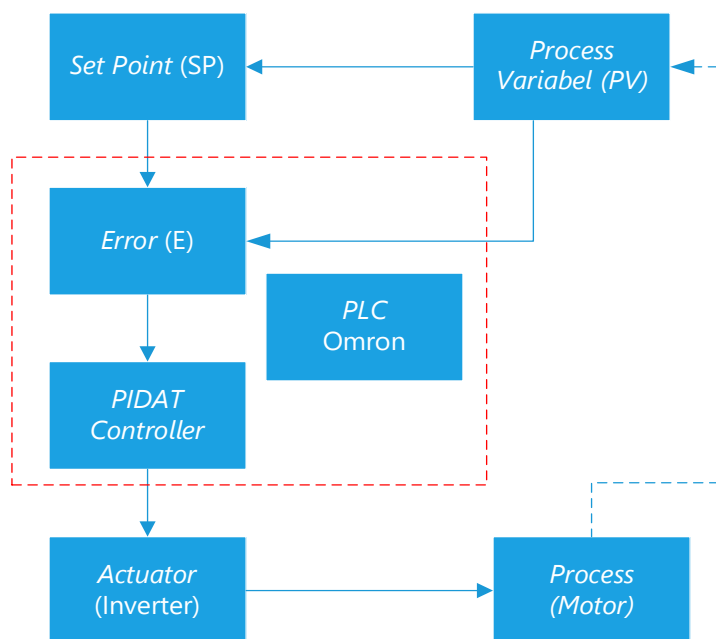
- Inisialisasi autotuning: dimulai dengan mengaktifkan mode autotuning pada PLC, yaitu melalui bit kontrol atau parameter dalam software pemrograman (CX-Programmer); Selanjutnya setpoint ditetapkan yaitu berupa nilai target yang ingin dicapai oleh proses.
- Pada proses pengumpulan data PLC mengintrouksi gangguan kedalam sistem yaitu berupa perubahan mendadak pada nilai kendali; selanjutnya pengukuran respon sistem dilakukan dengan memonitor variable proses sebagai respon terhadap perubahan yang diberikan pada variable manipulasi.

- Analisa respon dilakukan melalui pengamatan dinamika sistem dan kalkulasi parameter PID. Algoritma digunakan untuk menghitung nilai optimal untuk parameter PID berdasarkan respon yang diamati dengan tujuan untuk mendapatkan kinerja yang baik dari respon sistem (yaitu: respon cepat, *overshoot* kecil dan kestabilan).
- Penyesuaian parameter dilakukan untuk mendapatkan operasi parameter dan pengujian internal. Pengaturan parameter PID dilakukan berdasarkan hasil analisa untuk mendapatkan kinerja pengendali yang baik; setelah parameter ditetapkan, PLC melakukan pengujian internal untuk memastikan bahwa parameter yang baru efektif dalam mengontrol proses.
- Verifikasi dan penyesuaian dilakukan dengan pekerjaan pemantauan kinerja dan *fine-tuning* jika diperlukan.
- Kembali kondisi normal yaitu sistem kembali ke mode operasi normal dan dilakukan pemantauan lanjutan. Pada tahapan ini sistem kembali ke operasi secara normal menggunakan parameter PID yang telah dioptimalkan.

2. Perhitungan Parameter PID melalui PIDAT

2.1. Aturan Penulisan

Perhitungan matematik untuk menentukan parameter PID menggunakan PIDAT didasarkan pada respons sistem terhadap perubahan input yang diterapkan selama proses autotuning [5,6]. Dalam penelitian ini metode autotuning yang digunakan adalah metode Ziegler-Nichols yaitu metode untuk tuning dengan sistem lingkaran tertutup [5], lihat Gambar 2.



Gambar 2. Blok Diagram Pengendalian dengan Autotuning PID (PIDAT)

Blok diagram sistem kontrol lingkaran tertutup seperti pada Gambar 2.1 menggunakan PID dengan autotuning (PIDAT) dengan sejumlah komponen dasar. Elemen-elemen utama pada sistem kendali berbasis PIDAT dapat dijelaskan sbb.:

1. Setpoint (SP): nilai referensi atau target yang diinginkan untuk variable yang dikendalikan.

2. Pengukuran Error (E): adalah menghitung perbedaan antara SP dan keluaran dari proses variable (PV).
3. Kontroler PID dengan Autotuning (PIDAT): menerima sinyal error dan mengatur luaran aksi kendali dengan mempertimbangkan nilai P,I,D yang dihasilkan melalui process autotuning dengan menggunakan metoda perhitungan Ziegler-Nichols.
4. Aktuator (inverter): komponen yang menerima sinyal berupa aksi kendali dari pengendali PID dan mempengaruhi proses yang dikendalikan (motor).
5. Proses: sistem fisik atau proses yang dikendalikan (kecepatan motor).
6. Sinyal umpan balik: yang dihasilkan oleh sensor dan dikirim kembali untuk dibandingkan dengan PV.

Sistem lingkaran tertutup ini terus beroperasi yang untuk mengurangi error menuju nol, menyesuaikan luaran untuk mencapai setpoint yang diinginkan dengan kontroler PID yang di-tuning secara otomatis.

2.2. Mode Matematik Pengendali PID Dengan Metoda Ziegler-Nichols

Metoda ini dilakukan dengan mengatur pengontrolan ke mode P (hanya-Proporsional) dan secara bertahap meningkatkan gain K_p hingga sistem mulai berosilasi pada amplitudo konstan. Pada proses ini dua parameter penting diukur yaitu: Gain kritis (K_u) dan Periode Osilasi (T_u). Nilai K_p yang menyebabkan osilasi berkelanjutan dan T_u dinyatakan dengan satu waktu siklus osilasi [7,8].

Setelah K_u dan T_u diperoleh, maka parameter PID dapat dihitung menggunakan table Ziegler-Nichols sebagai berikut [7]:

Tipe Kontrol	K_p	T_i (internal Time)	T_d (Derivative Time)
P	$0.5 \times K_u$	-	-
PI	$0.45 \times K_u$	$T_u/1,2$	-
PID	$0.6 \times K_u$	$T_u/2$	$T_u/8$

Hasil yang didapat melalui Tabel 1, kemudian digunakan dalam sistem PID untuk mengatur proses kontrol, Perintah kontrol (U) dari kendali PIDAT dikalkulasi menggunakan pers. (1), sbb. [8]:

$$u(t) = K_p E(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} + A(t) \quad (1)$$

Dimana:

K_p, K_i, K_d : masing sebagai konstanta proporsional, integral dan derivative;

$A(t)$: sebagai antisipatori yaitu mengatur luaran kendali berdasarkan perubahan yang diinginkan, memungkinkan untuk mengurangi overshoot dan mendapatkan respon yang cepat.

T_i : waktu integral atau konstanta waktu integral yang mengatur seberapa cepat aksi integral diakumulasi; menentukan seberapa cepat kesalahan sebelumnya diintegrasikan menjadi kontribusi pada sinyal kendali.

T_d : waktu derivative(atau konstanta waktu derivative yang mengatur seberapa cepat efek derivative diimplementasi dalam sinyal kendali; untuk menentukan kecepatan respons derivative terhadap perubahan kesalahan.

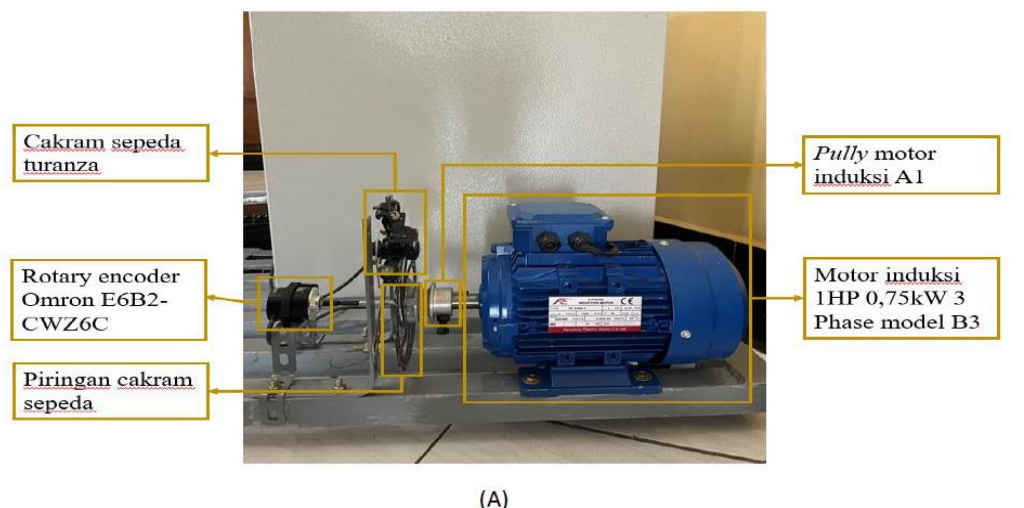
$u(t)_{PID}$: aksi kendali dari luaran kendali berbasis PID; $e(t)$ kesalahan sistem;

$$u(t) = \begin{cases} +u_0 & \text{jika } e(t) \geq 0 \\ -u_0 & \text{jika } e(t) < 0 \end{cases}$$

3. Hasil Pengujian dan Pembahasan

3.1. Sistem Fisik

Pada penelitian ini hasil pengujian telah dilakukan melalui sistem perangkat keras yang dikembangkan seperti terlihat pada Gambar 3. Tempak belakang seperti pada Gambar 3. (A) adalah motor dengan sistem perangkat untuk pembebanan, pengereman dan komponen pengukur kecepatan. Pembebanan disimulasi dengan melakukan perubahan pembebanan konstan dengan bobot beban yang dapat diukur. *Rotary encoder* Omron E6B2-CWZ6C digunakan sebagai sensor kecepatan motor induksi 3 fasa yang dapat terjadi perubahan kecepatan relatif terhadap perubahan beban.



(A)



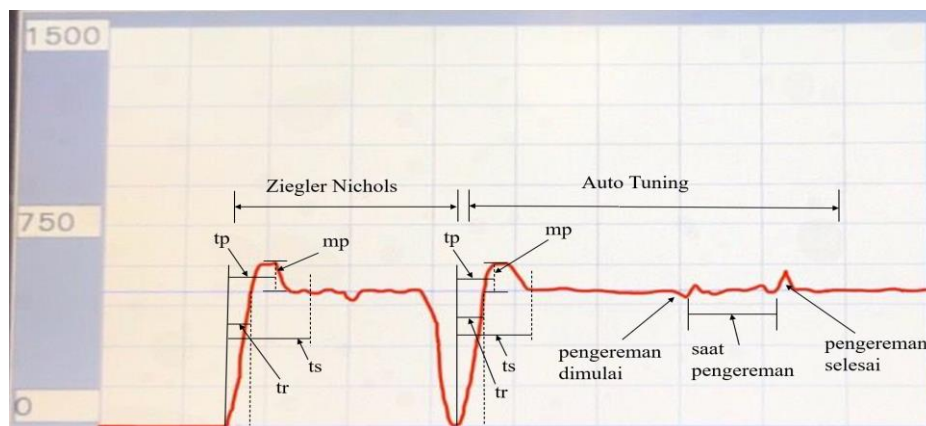
(B)

Gambar 3.. Sitem Perangkat Keras Berbasis PLC-Omron: (A) peralatan motor dan kelengkapannya; (B) instalasi perangkat pengendali

3.2. Hasil Pengujian

Hasil pengujian terhadap perubahan beban dapat dilihat pada Gambar 3.2. Percobaan dilakukan dengan mengamati respon kecepatan terhadap kerja PID konvensional dan *Autotuning* PID (PIDAT) untuk kecepatan set point (PV) 500 rpm. Perubahan beban dilakukan secara konstan selanjutnya response kecepatan sebagai aksi pengendalian kecepatan dapat diamati. Proses perubahana parameter secara otomatis terjadi untuk perubahan pembebanan ekstrim, dimana mekanisme perubahan parameter PID dengan metoda Ziegler-Nichols terjadi. Tahapan ini dapat

diamati dengan perubahan grafik respon kecepatan yaitu terjadi waktu jeda tanpa pengendalian dengan melihat terjadinya penurunan kecepatan, lihat Gambar 3.2. Selanjutnya kecepatan dapat kembali normal ketika nilai parameter baru hasil tuning telah terimplementasi. Respon dari grafik kecepatan dapat dilihat nilai-nilai dari kinerja dari PIDAT seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Respon Kecepatan PV=500rpm dengan beban konstan

Tabel 1 menunjukkan data hasil dari sejumlah pengujian yaitu dengan melakukan perubahan nilai set point kecepatan dengan pemilihan mode (AT: Autotuning; ZN: Ziegler-Nichols). Untuk setiap perubahan kecepatan dengan pembebanan konstan maka akan terjadi perbedaan nilai parameter PID dan selanjutnya akan mempengaruhi karakteristik respon transien dan steady state dari kecepatan motor.

Tabel 1. Hasil Pengujian dengan Autotuning PID dengan benban konstan

No	Kecepatan Setpoint (RPM)	Keterangan Metode	Beban (kg)	Parameter PID			Karakteristik Respon			
				Kp	Ti	Td	Maximum Overshoot (RPM)	Rise time (s)	Setting time (s)	Error steady state (%)
1	500	AT	2	29	4	1	15	0,52	2,1	0,4
2	500	ZN	2	120	2	1	5,5	1,46	4,17	2
3	700	AT	2	17	4	1	5	0,94	1,32	0,286
4	700	ZN	2	120	2	1	6,8	1,28	5,95	1,43
5	500	AT	4	29	4	1	9	0,86	2,24	1,2
6	500	ZN	4	120	2	1	5,5	1,02	4,08	1,3
7	700	AT	4	17	4	1	18	0,58	3,65	1,13
8	700	ZN	4	120	2	1	8,3	2	6,28	1,13

4. Kesimpulan

Dalam makalah ini, disajikan metodologi untuk pengendalian kecepatan motor induksi 3 fasa dengan PIDAT. Teknik kendali kecepatan ini dikembangkan melalui perangkat sistem fisik berbasis PLC- Omron. Algoritma menggunakan metoda Ziegler-Nichols digunakan untuk mengidentifikasi parameter sistem dan menghitung parameter PID yang optimal secara otomatis. Metodologi yang dikembangkan dapat diimplementasi untuk pengendalian otomatis yaitu proses tuning dapat disederhanakan dan tidak mengganggu sistem dan menghasilkan response sistem yang optimal. Response sistem terhadap sejumlah pengujian beban dan kecepatan dapat diamati

bahwa *rise-time* kurang dari 1 detik dan *settling-time* berkisar 2 detik dengan kesalahan kondisi stabil (*error steady state*) kurang dari 2 %

Referensi

- [1] M. Cacciato, A. Consoli, G. Scarcella, G. Scelba and A. Testa, "Efficiency optimization techniques via constant optimal slip kontrol of induction motor drives," International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, 2006. SPEEDAM 2006., Taormina, Italy, 2006, pp. 33-38, doi: 10.1109/SPEEDAM.2006.1649740.
- [2] S. Laha, J. Dhali and P. K. Gayen, "Comparative Performance between V/F and Rotor Flux-Oriented Kontrols of Induction Motor Drive," 2023 IEEE Devices for Integrated Circuit (DevIC), Kalyani, India, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/DevIC57758.2023.10134999.
- [3] D. Rahmatullah, P. Iradiratu Diah, B. Y. Dewantara and F. Achmad, "Design and Build of 3 Phase Induction Motor Speed Regulation on Programmable Logic Controller (PLC) Using PID Kontrol Method," 2021 3rd International Conference on Research and Academic Community Services (ICRACOS), Surabaya, Indonesia, 2021, pp. 275-280, doi: 10.1109/ICRACOS53680.2021.9701992.
- [4] K. S. Kula, "On-line autotuning of PID kontroller for desired closed-loop response," 2015 20th International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR), Miedzyzdroje, Poland, 2015, pp. 707-711, doi: 10.1109/MMAR.2015.7283961.
- [5] S. Levy, S. Korotkin, K. Hadad, A. Ellenbogen, M. Arad and Y. Kadmon, "PID autotuning using relay feedback," 2012 IEEE 27th Convention of Electrical and Electronics Engineers in Israel, Eilat, Israel, 2012, pp. 1-4, doi: 10.1109/EEEI.2012.6377118
- [6] V. F. Kuzishchin, E. I. Merzlikina and H. Van Va, "Study of Maximal Rapid Response Algorithm Combined with PID-Algorithm and Autotuning Module," 2018 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), Moscow, Russia, 2018, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICIEAM.2018.8728821. keywords:
- [7] S. Levy, S. Korotkin, K. Hadad, A. Ellenbogen, M. Arad and Y. Kadmon, "PID autotuning using relay feedback," 2012 IEEE 27th Convention of Electrical and Electronics Engineers in Israel, Eilat, Israel, 2012, pp. 1-4, doi: 10.1109/EEEI.2012.6377118.
- [8] H. Sun, M. J. Mnati, M. Nabil Ibrahim and A. V. den Bossche, "A Tuning Method for the Derivative Filter in PID Controller with Delay Time," 2018 9th International Conference on Mechanical and Aerospace Engineering (ICMAE), Budapest, Hungary, 2018, pp. 574-578, doi: 10.1109/ICMAE.2018.8467640.

Estimasi Indeks *Clear-Sky Global Solar Radiation* Menggunakan Model
Hottel dan Liu-Jordan di Jatinangor, Sumedang

*Estimation of the Clear-Sky Global Solar Radiation Index Using the Hottel
and Liu-Jordan Models in Jatinangor, Sumedang*

Septian Ari Kurniawan^{1*}, Mohammad Taufik²

^{1*,2}Departemen Teknik Elektro, Universitas Padjadjaran

Jl. Ir. Soekarno km 21, Jatinangor, Kabupaten Sumedang 45363, Jawa Barat

septian.ari.kurniawan@unpad.ac.id^{1*}, m.taufik@unpad.ac.id²

Abstrak – Energi surya dapat berkontribusi untuk memperoleh solusi pada permasalahan pertumbuhan permintaan energi yang pesat. Oleh karena itu, asesmen untuk penilaian potensi energi surya di lokasi tertentu sangat diperlukan. Penelitian ini berfokus pada pengestimasian indeks radiasi global di bawah kondisi langit cerah (*clear-sky global radiation index/CSGSR*) di Kecamatan Jatinangor ($-6,937^{\circ}$, $107,781^{\circ}$), Kabupaten Sumedang guna memberikan kontribusi terhadap pemahaman distribusi radiasi matahari di wilayah tersebut, sehingga dapat mengoptimalkan pemanfaatan energi matahari. Penelitian ini melibatkan penghitungan transmitansi atmosferik untuk radiasi langsung dan terdifusi menggunakan pemodelan Hottel dan Liu-Jordan. Penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat dua nilai maksimal pada pola CSGSR tiap tahunnya, yakni pada 24 Februari ($979,51 \text{ W/m}^2$) dan 18 Oktober ($969,58 \text{ W/m}^2$), yang mengindikasikan ketersediaan energi surya yang maksimal. Selain itu, terdapat pula satu titik terendah yang terjadi pada 21 Juni ($774,34 \text{ W/m}^2$) akibat titik balik musim panas.

Kata Kunci: *Clear-sky global solar radiation, model Hottel, model Liu-Jordan, energi surya.*

Abstract – Solar energy can contribute to obtaining solutions to the problem of rapid growth in energy demand. Therefore, assessments to assess the potential for solar energy in certain locations are very necessary. This research focuses on estimating the clear-sky global radiation index (CSGSR) in Jatinangor ($-6,937^{\circ}$, $107,781^{\circ}$), Sumedang Regency in order to contribute to the understanding of the distribution of solar radiation in the region, so as to optimize the use of solar energy. This research involves calculating atmospheric transmittance for direct and diffuse radiation using Hottel and Liu-Jordan modelling. This research shows that there are two maximum values in the CSGSR pattern each year, i.e. February 24th (979.51 W/m^2) and October 18th (969.58 W/m^2), which indicates maximum solar energy availability. Apart from that, there was also one lowest point which occurred on June 21st (774.34 W/m^2) due to the summer solstice.

Keywords: *Clear-sky global solar radiation, Hottel model, Liu-Jordan Model, solar energy.*

1. Pendahuluan

Energi terbarukan telah mendapatkan peningkatan perhatian yang signifikan akhir-akhir ini, lebih khusus, energi surya, yang mana dapat berkontribusi untuk memperoleh solusi yang tepat pada permasalahan pertumbuhan permintaan energi yang pesat. Oleh karena itu, asesmen untuk penilaian potensi energi surya di lokasi tertentu sangat diperlukan untuk memilih dan merancang sistem energi surya yang akan digunakan, misalnya sistem fotovoltaik (PV) atau kolektor terkonsentrasi [1][2]. Indeks radiasi global (*global radiation*) merupakan faktor yang penting

untuk diestimasi dalam perencanaan dan operasional sistem energi surya, terutama indeks radiasi global di bawah kondisi langit cerah (*clear-sky global solar radiation index*) [3][4].

Indeks *clear-sky global solar radiation* (CSGSR) dapat diestimasi dengan beberapa metode pemodelan. Pemodelan yang paling umum adalah Model Hottel dan Liu-Jordan. Model Hottel dapat digunakan untuk mengkalkulasi komponen radiasi langsung di bawah kondisi langit cerah (*clear-sky direct solar radiation*) dan model Liu-Jordan digunakan untuk mengkalkulasi komponen radiasi terdifusi di bawah kondisi langit cerah (*clear-sky diffuse solar radiation*) [5]-[7].

Model Hottel digunakan untuk mengestimasi nilai rata-rata *clear-sky direct solar radiation* di Jeddah, Arab Saudi. Penulis tersebut menyatakan bahwa nilai rata-rata yang diperoleh menggunakan model Hottel memiliki kesesuaian yang baik dengan data hasil pengukuran langsung [7]. Model Hottel dan model Liu-Jordan juga telah digunakan untuk mengestimasi indeks radiasi global rata-rata bulanan per jam di Yaman [8]. Model Hottel dan Liu-Jordan juga telah digunakan di Kota Qena, Mesir untuk menghitung komponen radiasi langsung di bawah kondisi langit cerah dan komponen radiasi terdifusi di bawah kondisi langit cerah, hasilnya menunjukkan bahwa penghitungan CSGSR memiliki kesesuaian dengan pengukuran langsung [5].

Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi indeks CSGSR di Kecamatan Jatinangor, Kabupaten Sumedang menggunakan model Hottel dan Liu-Jordan. Hasilnya diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengetahuan tentang distribusi radiasi surya di wilayah tersebut, yang nantinya dapat digunakan untuk optimasi pemanfaatan energi surya.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan cara mengestimasi nilai CSGSR menggunakan perangkat lunak simulasi MATLAB. Indeks CSGSR yang diestimasi merupakan penjumlahan antara radiasi matahari langsung pada kondisi langit cerah yang diperoleh melalui Model Hottel dan radiasi matahari terdifusi pada kondisi langit cerah yang diperoleh melalui Model Liu-Jordan. Langkah-langkah dalam menentukan indeks CSGSR ditunjukkan oleh diagram alir pada Gambar 1.

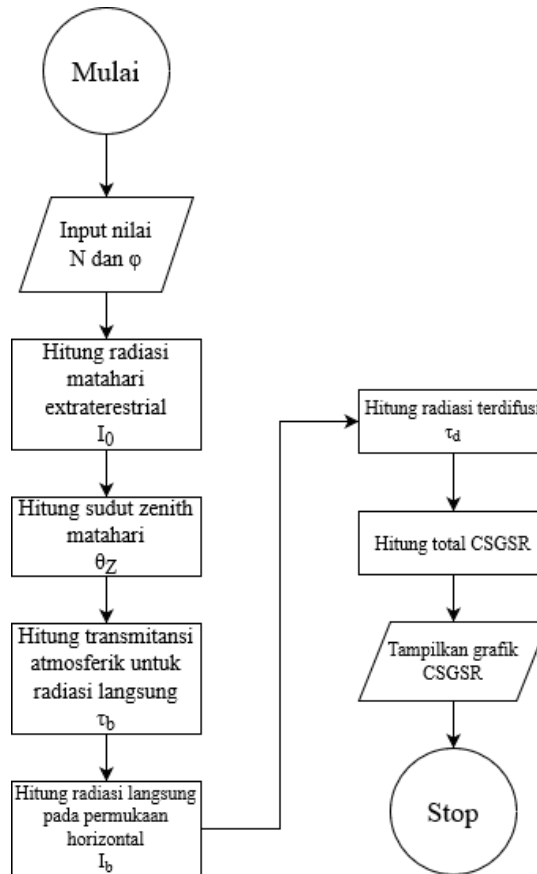
Model Hottel yang digunakan untuk menghitung radiasi matahari langsung pada kondisi langit cerah pada dasarnya menghitung transmitansi atmosferik untuk radiasi matahari langsung (τ_b) sesuai dengan persamaan (1) [5]. Transmitansi atmosferik menunjukkan proporsi radiasi matahari yang tidak diserap atau dihamburkan oleh komponen-komponen atmosfer [9].

$$\tau_b = \frac{I_b}{I_0} \quad (1)$$

di mana, I_b adalah radiasi sinar matahari per jam yang diterima secara tegak lurus terhadap permukaan, dan I_0 adalah radiasi sinar matahari extraterrestrial per jam. Nilai I_0 diperoleh dengan menggunakan persamaan (2) [5]

$$I_0 = I_{SC} \left[1 + 0,033 \left(\frac{360N}{365,25} \right) \right] \quad (2)$$

I_{SC} adalah konstanta surya, nilainya adalah 1367 W/m^2 . Konstanta surya adalah jumlah energi radiasi matahari yang diterima per satuan luas di atmosfer luar bumi pada bidang yang tegak lurus terhadap sinar matahari [10]. N adalah nomor hari dalam satu tahun, sehingga bervariasi dari 1 sampai dengan 365, sebagai contoh $N=1$ merujuk pada 1 Januari, $N=32$ merujuk pada 1 Februari, dan $N=365$ merujuk pada 31 Desember.



Gambar 1. Flowchart penghitungan CSGSR

Selanjutnya, penghitungan dari model ini adalah penghitungan radiasi langsung pada kondisi langit cerah pada permukaan horizontal dengan menggunakan persamaan (3) [5].

$$I_b = I_0 \tau_b \cos \theta_z \quad (3)$$

di mana θ_z adalah sudut zenith matahari, yang merupakan sudut antara sinar matahari yang datang dan garis yang tegak lurus terhadap permukaan bumi di titik pengamatan. Zenit matahari dipengaruhi oleh lintang lokasi pengamatan (φ), sudut deklinasi matahari (δ), dan sudut jam (ω). Zenit matahari dapat dihitung dengan (4) [5]

$$\cos \theta_z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega \quad (4)$$

Kecamatan Jatinangor berada di belahan bumi selatan dengan sudut lintang $6,937^\circ$ lintang selatan, nilai yang dimasukkan ke dalam φ adalah $-6,937$ (tanda negatif menunjukkan posisi lintang selatan). Sudut deklinasi matahari yang merupakan sudut antara sinar matahari dan bidang ekuator bumi. Sudut deklinasi dapat dihitung dengan persamaan (5) [5].

$$\delta = 23,45 \sin \left[360 \left(\frac{284+N}{365} \right) \right] \quad (5)$$

ω adalah sudut jam (*hour angle*), sudut yang mengukur posisi matahari di langit relatif terhadap meridian lokal pengamat. Meridian adalah garis khayal yang membagi langit menjadi belahan timur dan barat. Sudut jam dapat ditentukan dengan persamaan (6) [5].

$$\omega = 15(ST - 12) \quad (6)$$

ST adalah waktu solar (waktu matahari lokal) dalam jam, pada penelitian ini digunakan nilai 12 atau ketika matahari tepat di atas meridian lokal.

Transmitansi atmosferik untuk I_b pada kondisi langit cerah dapat dihitung berdasarkan model Hottel dengan menggunakan persamaan (7) [5].

$$\tau_b = a_0 + a_1 e^{\frac{-k}{\cos \theta_z}} \quad (7)$$

di mana a_0 , a_1 , dan k adalah konstanta-konstanta yang ditentukan menggunakan faktor pengoreksi untuk kondisi iklim yang berbeda sesuai dengan (8) [5].

$$r_0 = \frac{a_0}{a_0^*}; r_1 = \frac{a_1}{a_1^*}; \text{ dan } r_k = \frac{k}{k^*} \quad (8)$$

Nilai-nilai dari r_0 , r_1 , dan r_k untuk lokasi yang berada di iklim tropis dengan ketinggian kurang dari 2,5 km adalah 0,95; 0,98; dan 1,02 secara berturut-turut [6]. Oleh karena itu, persamaan a_0^* , a_1^* , dan k^* dapat diperoleh dengan mengacu pada (9) sampai (11) [5].

$$a_0^* = 0,4237 - 0,00821(6 - A)^2 \quad (9)$$

$$a_1^* = 0,5055 + 0,00595(6,5 - A)^2 \quad (10)$$

$$k^* = 0,2711 + 0,01858(2,5 - A)^2 \quad (11)$$

A adalah ketinggian lokasi pengamat dalam kilometer (km). Nilai ketinggian yang dimasukkan ke dalam variabel ini adalah 765 meter atau 0,765 km.

Model Liu-Jordan, mengacu pada (12) [5], digunakan untuk menghitung komponen radiasi terdifusi pada kondisi langit cerah pada permukaan datar. Radiasi terdifusi ini dihitung berdasarkan rasio radiasi terdifusi terhadap radiasi sinar matahari extraterrestrial pada permukaan datar.

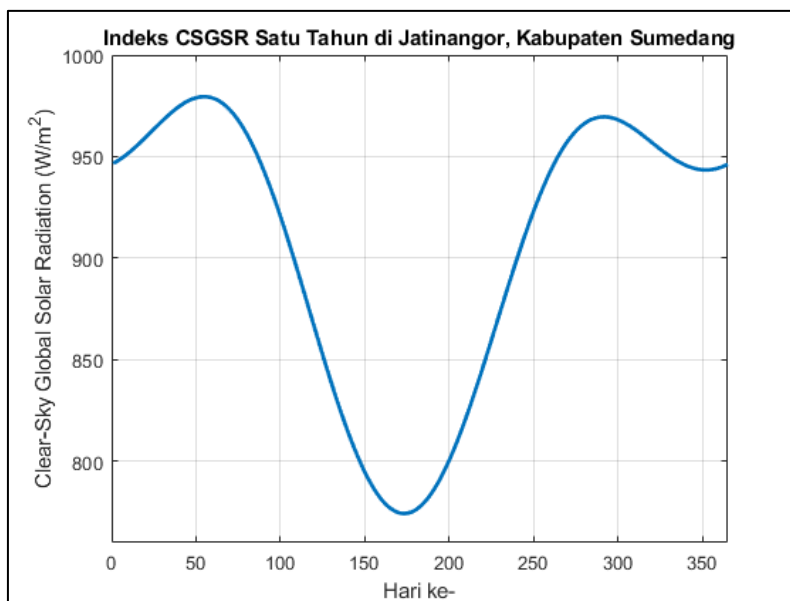
$$\tau_d = 0,271 - 0,294\tau_b \quad (12)$$

τ_d adalah rasio radiasi terdifusi dengan *extraterrestrial beam radiation* pada permukaan datar.

Komponen radiasi langsung dan radiasi terdifusi yang telah diperoleh sesuai dengan model Hottel dan model Liu-Jordan dijumlahkan untuk memperoleh estimasi CSGSR di lokasi penelitian, yakni Kecamatan Jatinangor.

3. Hasil dan Pembahasan

Estimasi indeks CSGSR di Kecamatan Kecamatan Jatinangor, Kabupaten Sumedang, telah berhasil disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB. Grafik CSGSR yang ditunjukkan pada Gambar 2 menunjukkan pola variasi tahunan yang signifikan. Grafik CSGSR tersebut memperlihatkan dua puncak radiasi matahari yang terjadi pada hari ke-55 (24 Februari) dan hari ke-292 (18 Oktober), masing-masing dengan nilai 979,51 W/m² dan 969,58 W/m². Kedua periode ini bertepatan dengan waktu ekuinoks lokal, di mana matahari berada dalam posisi yang hampir tegak lurus terhadap lokasi pengamatan, sehingga menghasilkan intensitas radiasi matahari yang lebih tinggi di wilayah Jatinangor. Kondisi ini menjadikan kedua waktu tersebut sebagai periode yang paling ideal untuk memanfaatkan energi surya, dengan potensi keluaran energi listrik yang maksimal.



Gambar 2. Grafik CSGSR Jatinangor, Kabupaten Sumedang

Sebaliknya, penurunan radiasi yang signifikan tercatat pada hari ke-173 (21 Juni), di mana radiasi hanya mencapai 774,34 W/m². Penurunan ini disebabkan oleh posisi matahari yang berada di titik balik musim panas (*summer solstice*) atau sedang berada di posisi belahan bumi utara. Oleh karena itu, Jatinangor yang terletak di belahan bumi selatan akibatnya mendapatkan lebih sedikit paparan sinar matahari. Meskipun terjadi penurunan, nilai radiasi yang tercatat masih cukup untuk menghasilkan energi listrik dalam jumlah yang signifikan. Hal ini berarti sistem tenaga surya di wilayah ini tetap dapat beroperasi dengan efisiensi yang memadai sepanjang tahun. Hal ini juga lah yang menjadi keuntungan wilayah tropis dibandingkan dengan wilayah empat musim.

Analisis ini menunjukkan pentingnya strategi optimasi dalam desain dan pengoperasian pembangkit listrik yang berasal dari energi surya. Penggunaan sistem penyimpanan energi dapat memainkan peran kunci dalam menyimpan surplus energi yang dihasilkan selama periode puncak radiasi untuk kemudian digunakan selama periode radiasi rendah. Penggunaan sistem penyimpanan energi juga dapat digunakan pada *timeframe* yang lebih singkat, seperti penyimpanan energi dalam satu hari agar dapat digunakan pada hari mendung atau malam hari. Penyesuaian orientasi panel surya sesuai dengan posisi matahari juga dapat meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan, terutama selama periode pergeseran posisi matahari yang signifikan. Penggunaan pelacak surya (*solar tracker*) otomatis dapat dipertimbangkan agar penyesuaian orientasi panel surya dapat dilakukan secara otomatis.

Berdasarkan pola CSGSR yang teridentifikasi, pengembangan kebijakan energi yang mendukung penerapan sistem energi terbarukan yang terintegrasi dan berkelanjutan menjadi sangat penting, terutama dalam upaya mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil dan menghadapi tantangan perubahan iklim. Dengan pendekatan yang terintegrasi ini, produksi energi surya di Jatinangor dapat dioptimalkan sepanjang tahun, meskipun terdapat variasi musiman yang signifikan dalam intensitas radiasi matahari.

4. Kesimpulan

Analisis CSGSR di Jatinangor memberikan gambaran terkait variasi ketersediaan radiasi matahari sepanjang tahun, di mana diperoleh potensi tertinggi terjadi pada 24 Februari dan 18 Oktober dengan radiasi secara berturut-turut adalah 979,51 W/m² dan 969,58 W/m². Gambaran ini dapat dijadikan panduan dalam desain dan operasional sistem energi surya untuk memastikan

kinerja optimal sepanjang tahunnya. Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan dengan cara memvalidasi radiasi matahari dengan pengukuran langsung dan memasukkan data-data lain terkait cuaca dan iklim. Selain itu, penelitian lanjutan dapat berfokus juga pada pengembangan strategi mitigasi dampak dari penurunan radiasi matahari pada periode tertentu dalam setahun.

Referensi

- [1] G. Frydrychowicz-Jastrzebska and A. Bugała, “Modeling the distribution of solar radiation on a two-axis tracking plane for photovoltaic conversion,” *Energies*, vol. 8, no. 2, pp. 1025–1041, 2015, doi: 10.3390/en8021025.
- [2] F. Y. Al-Aboosi, “Models and hierarchical methodologies for evaluating solar energy availability under different sky conditions toward enhancing concentrating solar collectors use: Texas as a case study,” *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, vol. 11, no. 2, pp. 177–205, Jun. 2020, doi: 10.1007/s40095-019-00326-z.
- [3] T. Lealea and R. Tchinda, “Estimation of Diffuse Solar Radiation in the North and Far North of Cameroon,” *European Scientific Journal*, vol. 9, no. 18, pp. 370–381, Jun. 2013.
- [4] S. I. Ao, L. Gelman, D. W. L. Hukins, A. Hunter, A. Korsunsky, and International Association of Engineers, “Comparison of Experimental Data and Isotropic Sky Models for Global Solar Radiation Estimation in Eastern Nigeria,” in *Proceedings of the World Congress on Engineering*, London, Jul. 2018, p. 841.
- [5] K. O. Kh, “Estimation of Clear-Sky Global Solar Radiation Using Hottel’s Model and Liu and Jordan’s Model for Qena/Egypt,” *Resources and Environment*, vol. 11, no. 1, pp. 9–17, 2021, doi: 10.5923/j.re.20211101.02.
- [6] A. Okibe and C. Andrew, “Experimental Validation of Hottel’s Transmittance Model for Estimating Beam Radiation In Makurdi Location,” *American Journal of Engineering Research*, vol. 2, no. 8, pp. 51–57, 2013.
- [7] A. Islahi, S. Shakil, and M. Hamed, “Hottel’s Clear Day Model for a typical arid city-Jeddah,” *International Journal of Engineering Science Invention*, vol. 4, no. 6, pp. 32–37, 2015.
- [8] G. M. Abdul Aziz, “Estimation of hourly clear-sky solar radiation for P.D.R. Yemen,” *Solar & Wind Technology*, vol. 7, no. 3, pp. 255–260, 1990.
- [9] Y. Sun, X. Hu, L. He, S. Zhao, and L. Yan, “Analysis of Atmospheric Transmission Characteristics in MIR Spectrum of VIIRS,” in *4th International Conference on Renewable Energy and Environmental Technology (ICREET 2016)*, 2017, pp. 289–294.
- [10] S. Milan, “KuaFu: exploring the Sun—Earth connection,” *Astronomy & Geophysics*, vol. 53, no. 4, p. 4.21-4.24, Aug. 2012, doi: 10.1111/j.1468-4004.2012.53421.x.

Pengembangan Sistem Otomatis Mesin Instalasi Pembuangan Air Limbah menggunakan PLC

Development of Automatic System for Wastewater Disposal Installation Machine using PLC

Fadlika Ardiansyah¹, Raihan Nurhakim² Muhammad Adli Rizqulloh³

^{1,2,3}Pendidikan Teknik Otomasi Industri dan Robotika

Universitas Pendidikan Indonesia

fadlikaardiansyah@upi.edu¹, raihannurhakim@upi.edu², muhammad.adli.riz@upi.edu³

Abstrak – Ladder Diagram atau Ladder Logic adalah bahasa pemrograman utama dalam Programmable Logic Controller (PLC) yang banyak digunakan dalam otomasi industri. PLC, sebagai komputer khusus berbasis mikroprosesor, menawarkan kemudahan penggunaan bagi operator dengan latar belakang non-teknis, terutama melalui pemrograman dengan Ladder Diagram, yang merupakan adaptasi dari teknologi relay konvensional. Penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem otomatis untuk mesin Instalasi Pembuangan Air Limbah (IPAL), dengan tujuan untuk menyederhanakan operasi mesin yang awalnya memerlukan beberapa langkah manual menjadi satu langkah mudah. Metode penelitian mencakup studi pustaka untuk mempelajari sistem yang ada, pemrograman menggunakan bahasa Ladder dengan aplikasi CX-Programmer, troubleshooting untuk memastikan fungsi program yang optimal, dan proses upload program ke mesin display perusahaan. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa desain pintu panel mesin IPAL menjadi lebih sederhana dan fungsional, dengan adanya fungsi kontrol manual dan otomatis yang meningkatkan efektivitas dan kemudahan penggunaan mesin. Pengembangan ini menyederhanakan antarmuka pengguna dan meningkatkan efisiensi operasional mesin IPAL.

Kata Kunci: PLC, Otomatis, Manual, Industri

Abstract – Ladder Diagram or Ladder Logic is the primary programming language used in Programmable Logic Controllers (PLCs) and is widely employed in industrial automation. PLCs, as specialized microprocessor-based computers, provide ease of use for operators with non-technical backgrounds, especially through programming with Ladder Diagrams, which are adaptations of conventional relay technology. This study focuses on the development of an automatic system for Wastewater Treatment Plant (IPAL) machines, aiming to simplify the machine operation that initially required several manual steps into a single easy step. The research methods include literature review to study existing systems, programming using Ladder language with the CX-Programmer application, troubleshooting to ensure optimal program functionality, and uploading the program to the company's display machine. The results of the study show that the design of the IPAL machine panel has become simpler and more functional, with the inclusion of manual and automatic control functions that enhance the machine's effectiveness and ease of use. This development streamlines the user interface and improves the operational efficiency of the IPAL machine.

Keywords: PLC, Automatic, Manual, Industry

1. Pendahuluan

Persyaratan untuk otomatisasi saat ini telah berubah untuk fokus pada peningkatan pencatatan autentikasi, pembuatan laporan, visualisasi, dan analisis yang lebih efisien guna menekan biaya produk. Kemajuan dalam sistem otomasi ini membutuhkan perangkat keras dan perangkat lunak khusus untuk kontrol dan pemantauan. Dalam pasar saat ini, beberapa vendor



terkemuka meliputi Siemens, Mitsubishi, Allen Bradley, dan Schneider. Untuk memfasilitasi transfer informasi antar perangkat dan antar proses, pemantauan energi kini menjadi lebih mudah dan fleksibel berkat penggunaan berbagai komunikasi jaringan dan protocol [1].

Ladder Diagram atau Ladder Logic adalah bahasa dan logika pemrograman yang paling banyak digunakan dalam PLC (Programmable Logic Controller). Dalam dunia sistem otomasi, bahasa pemrograman ini menjadi salah satu yang wajib dipelajari oleh tiap teknisi, khususnya yang bertugas di bagian IT, teknisi dan maintenance. Mirip dengan bahasa pemrograman lainnya, Ladder Diagram juga terdiri dari input dan output. Input-nya berupa kode binary, sedangkan output-nya berupa eksekusi yang diinstruksikan dalam rangkaian kode [2].

Programmable Logic Controller (PLC) adalah perangkat yang sangat user friendly berbasis microprocessor, merupakan komputer khusus yang memuat berbagai jenis dan kompleksitas fungsi kontrol. PLC dapat diprogram, dikendalikan, dan dioperasikan oleh seseorang yang tidak terlalu pandai dalam mengoperasikan Personal Computer (PC). PLC menggunakan bahasa pemrograman khusus yaitu ladder diagram (diagram tangga) untuk memprogram pada sistem PLC. Ladder diagram merupakan turunan dari teknologi relay konvensional, sehingga memudahkan operator dalam menggunakan PLC [3].

Programmable Logic Controller (PLC) adalah unit yang dirancang khusus untuk mengelola sistem kontrol otomatis pada mesin industri atau aplikasi lainnya. Di dalam CPU PLC, konsepnya bisa diibaratkan sebagai sekumpulan ribuan relay, namun ini bukan berarti terdapat banyak relay fisik dalam ukuran kecil. Sebaliknya, PLC mengandung rangkaian elektronik digital yang berfungsi seperti kontak NO (Normally Open) dan NC (Normally Closed) pada relay [4].

Proses pengotomatisasian adalah proses untuk membantu mempermudah operator dalam menggunakan mesin. Yang awalnya manual dan harus menekan beberapa tombol untuk menjalankan mesin menjadi hanya menekan 1 tombol [5].

Kata "otomasi" berasal dari istilah Yunani yang mengacu pada dedikasi diri. Otomasi berfungsi untuk meningkatkan produktivitas dengan memperbarui dan meningkatkan efisiensi kerja. Proses ini melibatkan penggunaan mesin untuk menjalankan urutan operasi yang telah ditetapkan, baik dengan campur tangan manusia maupun tanpa campur tangan dalam proses manufaktur [6].

Otomasi industri telah menjadi tren global dalam bidang manufaktur, dengan proses pengemasan dan penyortiran sebagai salah satu aplikasi yang paling umum. Banyak perusahaan kini beralih untuk mengotomatisasi operasi mereka. Kemajuan sistem kontrol dalam industri telah mendorong otomasi produksi, yang bertujuan tidak hanya untuk meningkatkan produktivitas dan mengurangi biaya tenaga kerja, tetapi juga untuk memungkinkan sistem berjalan secara otomatis dan terkomputerisasi. Kemajuan suatu industri sangat bergantung pada penerapan teknologi inovatif. Setiap industri berusaha untuk meningkatkan kecepatan produksi mereka, dengan produksi massal menjadi tujuan utama untuk bersaing di pasar yang kompetitif. Dengan otomasi penuh pada seluruh lini produksi, produksi massal menjadi lebih mudah dicapai [7].

Dalam beberapa tahun terakhir, sistem otomasi di industri manufaktur telah menjadi lebih canggih dengan adanya Human Machine Interface (HMI). HMI, atau sering disebut iHMI (interactive human-machine interface), adalah perangkat sistem elektronik dua arah yang menghubungkan manusia dan mesin. Perangkat ini memungkinkan transfer instruksi dari manusia ke mesin secara efektif serta pengumpulan umpan balik dari mesin. HMI dapat didefinisikan sebagai interaksi antara sistem PLC dan operator, yang ditampilkan melalui layar dengan ikon dinamis, angka, dan teks. Dengan bantuan panel HMI, operator dapat memantau dan mengontrol produksi hingga tingkat tertentu. Fitur penting dari HMI meliputi grafis beresolusi tinggi untuk representasi realistis mesin atau proses, alarm, grafik tren, simulasi, pesan, animasi peralatan

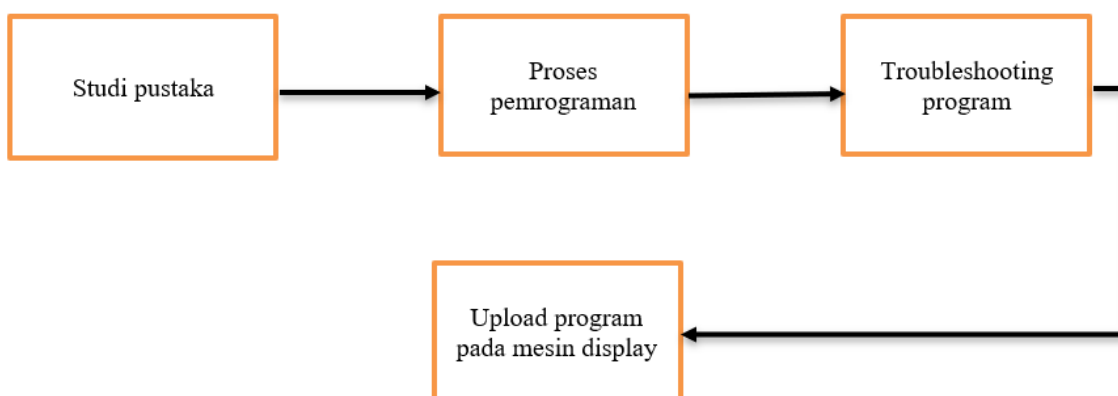
sesuai standar operator, pengurangan biaya perangkat keras, dan berbagai opsi komunikasi seperti port serial (SP), ethernet, data highway plus (DHP), dan dynamic data exchange (DDE) [8].

Prinsip kerja PLC secara umum terdapat 3 bagian yaitu, input, proses dan output. Input PLC dapat berupa sensor dan juga push button. Setelah menerima masukan, PLC memproses data tersebut sesuai dengan program yang telah diprogram sebelumnya. Program ini terdiri dari serangkaian instruksi logika yang ditulis dalam bahasa pemrograman khusus untuk PLC. Instruksi logika ini dapat mencakup operasi matematika, perbandingan, logika Boolean, dan fungsi-fungsi lainnya. Setelah diproses PLC menghasilkan keluaran. Keluara ini dapat berupa sinyal yang dikirimkan ke perangkat actuator seperti, motor, silinder dan lain-lain [9].

Human Machine Interface (HMI) adalah antarmuka yang memfasilitasi operator dalam melakukan perubahan pada peralatan di lapangan. Data yang ditampilkan pada HMI dapat berasal dari tautan objek dan server kontrol proses (OPC) yang tertanam, serta pertukaran data dinamis (DDE), sehingga HMI dapat berfungsi sebagai klien OPC atau klien DDE. Dalam penggunaannya, perangkat HMI dibagi menjadi dua kategori: workstation operator dan workstation engineering [10].

2. Metode Penelitian

Metode Pengumpulan Data adalah cara atau teknik yang digunakan untuk mengumpulkan informasi atau data dari berbagai sumber. Pemilihan metode pengumpulan data sangat penting karena akan mempengaruhi validitas dan reliabilitas hasil penelitian.



Gambar 1 Metode pengumpulan data

Berdasarkan gambar 1.1 metode pengumpulan data dilakukan berdasarkan observasi lapangan dan dokumentasi, diawali dengan studi Pustaka mengenai “Pengembangan Sistem Otomatis Mesin Instalasi Pembuangan Air Limbah”.

2.1. Studi Pustaka

Dalam Pengembangan Sistem Otomatis Mesin IPAL, tahap pertama dilakukan studi pustaka untuk mengetahui program yang relevan dari artikel jurnal yang telah ada, dan dalam pengembangannya bertujuan untuk memudahkan pengguna atau operator yang nanti akan mengoperasikan mesin ini.

Tabel 1 Perbandingan sistem yang ada saat ini

	Sistem sebelumnya	Sistem yang dikembangkan
Judul Penelitian	Program manual mesin IPAL	Pengembangan Sistem Otomatis Mesin IPAL

	Sistem sebelumnya	Sistem yang dikembangkan
Mesin dapat dioperasikan dengan 1x tekan tombol	Tidak	Ya
Design HMI lebih sederhana	Tidak	Ya
Mesin lebih mudah digunakan	Tidak	Ya

Berdasarkan Tabel 1. hasil dari studi pustaka didapatkan bahwa alat yang dikembangkan memiliki sistem manual.

Namun pada penelitian yang telah dilakukan memiliki beberapa kekurangan yakni tidak tersedianya sistem otomatis dari mesin IPAL, sehingga pengoperasian mesin akan memakan waktu.

2.2. Proses Pemrograman

Proses pemrograman ini dilakukan untuk membuat sistem otomatis pada mesin IPAL. Dimana pemrograman ini menggunakan bahasa ladder dan menggunakan aplikasi cx-programmer. PLC yang digunakan adalah PLC CP1L.

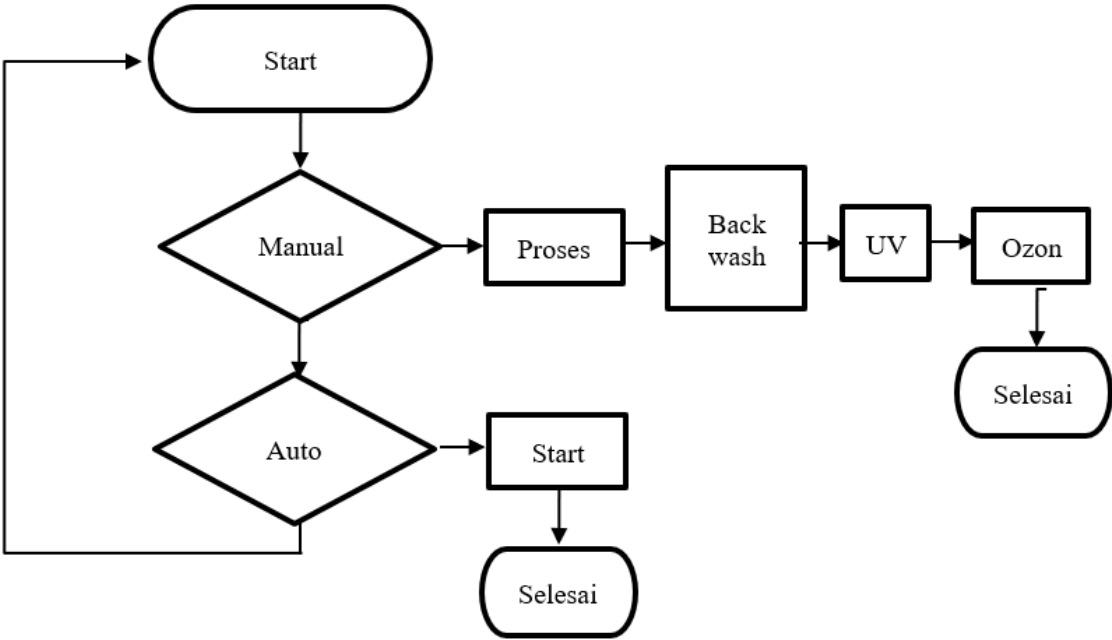
2.3. Troubleshooting Program

Dengan adanya proses trobleshooting program ini diharapkan tidak ada program yang error ataupun tidak berfungsi. Jadi program dipastikan berjalan dengan lancar.

2.4. Upload program pada mesin display

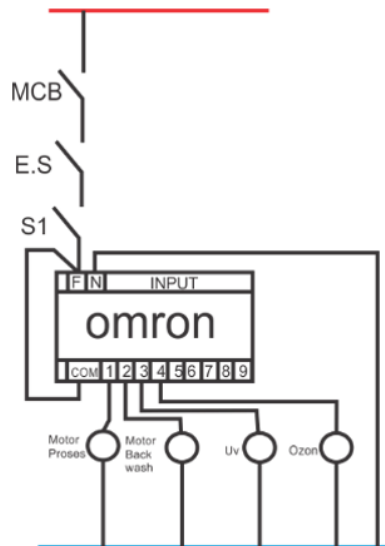
Proses upload program otomatis ini dilakukan pada mesin yang dipakai untuk display perusahaan. Dimana mesin ini digunakan untuk customer yang akan membeli mesin ini.

2.5. Flowchart fungsi mesin IPAL



Gambar 2. Flowchart fungsi mesin IPAL

Mesin IPAL ini mempunyai 2 mode yaitu manual dan otomatis. Ketika dijalankan secara manual maka keempat bagian dari proses, back wash, uv dan ozon akan terpisah dan dapat dijalankan masing-masing. Ketika fungsi otomatis dijalankan maka hanya ada tombol start dan mesin akan berjalan otomatis hingga selesai prosesnya.



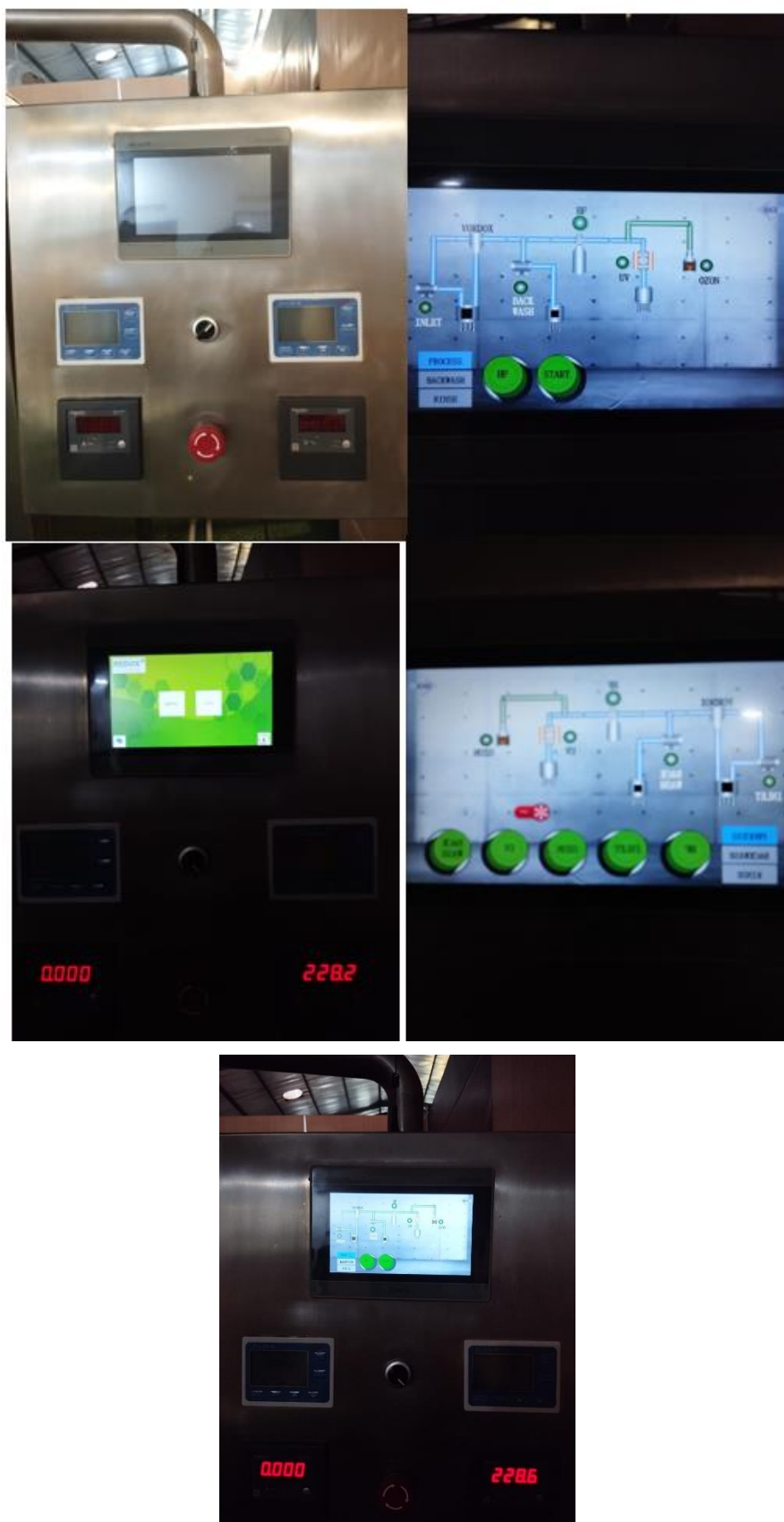
Gambar 3. Rangkaian kontrol mesin IPAL

3. Hasil dan Pembahasan

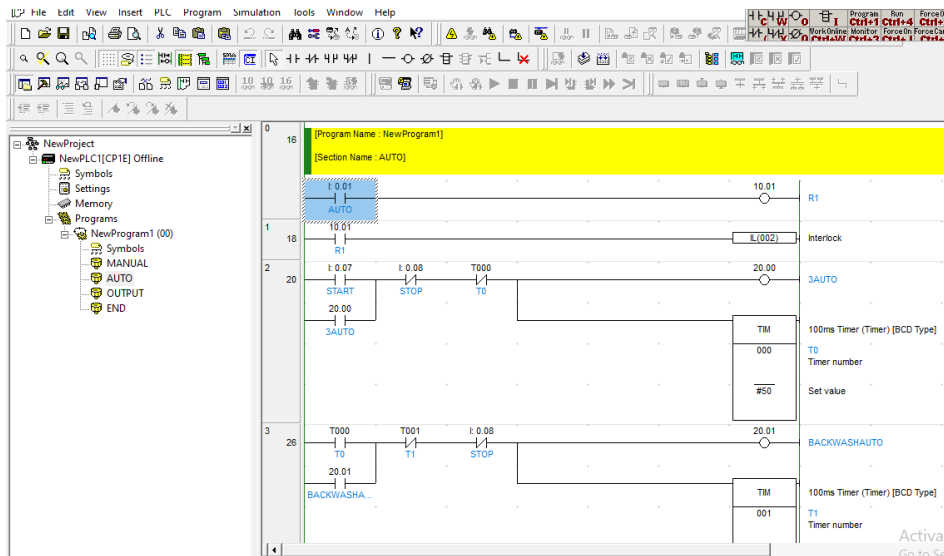
Pada gambar 4 terlihat desain pintu panel manual yang hanya ada indicator lampu, selektor dan voltmeter serta ampere meter. Dimana 1 selektor mewakili 1 fungsi yaitu backwash, inlet, Uv, ozon. Pada gambar 5 terlihat desain pintu panel otomatis dimana sudah menggunakan hmi untuk mengontrol mesin. Pada hmi juga terdapat fungsi manual dan otomatis. Dengan pengembangan ini desain pintu panel mesin IPAL jauh lebih sederhana dan fungsional serta efektivitas mesin yang bertambah.



Gambar 4. Kontrol mesin IPAL manual



Gambar 5. Hasil dari Pengembangan Sistem Otonatis Mesin IPAL



Gambar 6. Hasil dari progrsm Pengembangan Sistem Otonatis Mesin IPAL

4. Kesimpulan

Dari pembahasan diatas dapat disimpulkan bahwa pengembangan sistem otomatis mesin IPAL ini dapat menyederhanakan desain pada pintu panel, memudahkan operator saat menggunakan mesin, meningkatkan efektivitas mesin. Karena ketika mesin dijalankan manual akan memakan waktu kurang lebih 20 menit sampai 30 menit dan harus berurutan saat mengaktifkan selektor, dengan pengembangan ini operator mesin dapat menggunakan mesin dengan sekali tekan dan otomatis akan berhenti ketika selesai beroperasi. Jadi operator tidak perlu menunggu mesin hingga selesai beroperasi.

Referensi

- [1] M. S. S, "Industrial Automation Using Plc, Hmi and its Protocols Based on Real Time Data for Analysis," *Int. J. Adv. Res. Eng. Technol.*, vol. 11, no. 10, pp. 1353–1363, 2020, doi: 10.34218/IJARET.11.10.2020.129.
- [2] R. Afrino and A. Triwiyatno, "Perancangan Sistem Otomatisasi Berbasis Programmable Logic Controller (Plc) Omron Cpm1a Pada Prototype Alat Pengolah Susu Murni Menjadi Susu Pasteurisasi Aneka Rasa," *Dep. Tek. Elektro, Univ. Diponegoro*, vol. 6, pp. 1–8, 2017.
- [3] R. Lutfiyani and H. S. Kolibu, "Perancangan Program Logika Kontrol Pada Proses Design Program Logic Control In Process Of Bread PLC Dan Komputer Sebagai Pengontrol Waktu Dapat Dimonitoring Berbentuk Bahasa Program Ladder Diagram Dan Output Pada Motor Listrik Yang Terhubung Dengan Proses," *Fmipa Unsrat*, vol. 3, no. 5, pp. 3–6, 2004.
- [4] G. Alim, "Rancang Bangun Sistem Otomasi Aplikasi Mesin Pencampur Berbasis PLC OMRON CP1E 20 I/O," *J. Orang Elektro*, vol. 5, no. 1, pp. 63–67, 2016.
- [5] M. D. D. Rezaputra and M. R. A. Cahyono, "Perancangan Sistem Kontrol Otomatis Press Roll Berbasis PLC Mitsubishi Type-Q Pada Building Tire Machine," *Indones. J. Eng. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 92–101, 2021, doi: 10.26740/inajet.v3n2.p92-101.
- [6] M. G. Hudedmani, R. M. Umayal, S. K. Kabberalli, and R. Hittalamani, "Programmable Logic Controller (PLC) in Automation," *Adv. J. Grad. Res.*, vol. 2, no. 1, pp. 37–45, 2017, doi: 10.21467/ajgr.2.1.37-45.

- [7] A. Al Fahim, M. Mizanur Rahman, M. W. Hridoy, and K. R. Uddin, "Development of a PLC Based Automation Cell for Industry," *J. Integr. Adv. Eng.*, vol. 3, no. 2, pp. 87–100, 2023, doi: 10.51662/jiae.v3i2.94.
- [8] G. Wibisono and K. Priyanto, "Kontrol Dan Monitor Sistem Otomasi Automatic Water Treatment System Berbasis Plc Menggunakan Hmi Weintek Mt8071ip," *J. Tek.*, vol. 6, no. 4, p. 8, 2020.
- [9] D. Pongoh, L. Wenno, J. Lumentut, V. Kambey, and A. Aring, "Pengenalan Plc Sebagai Pusat Kontrol Dalam Sistem Otomasi Industri," *Cent. Publ.*, vol. 1, pp. 253–260, 2023, [Online]. Available: <http://centralpublisher.co.id>
- [10] F. A. K. Yudha and B. Riyanta, "Perancangan dan Simulasi Trainer Human Machine Interface (HMI) untuk media pembelajaran berbasis CX Designer PLC," *JMPM (Jurnal Mater. dan Proses Manufaktur)*, vol. 4, no. 2, pp. 136–145, 2020, doi: 10.18196/jmpm.v4i2.10607.

Analisis Kinerja Teknik *Image Processing* dalam Identifikasi Melanoma:
Pendekatan Berbasis *Contrast Stretching*, *Canny Edge Detection*, GLCM,
dan Ekstraksi Fitur Bentuk

*Performance Analysis of Image Processing Techniques in Melanoma
Identification: Approaches Based on Contrast Stretching, Canny Edge
Detection, GLCM, and Shape Feature Extraction*

Annisa Nurul Aini¹, Ihsan Kamil², Ageng Ramadhan³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Gunung Djati Bandung
Jl. A.H. Nasution No. 105, Cipadung, Cibiru. Kota Bandung, Jawa Barat, 40614
anhamalaini@gmail.com¹, sannplayworks@gmail.com², agengramadhan21@gmail.com³

Abstrak – Melanoma merupakan jenis kanker kulit yang berasal dari melanosit. Penyebab utama kanker melanoma adalah radiasi sinar UV. Berdasar pada American Cancer Society, diperkirakan terdapat 100.640 kasus baru melanoma di Amerika Serikat pada tahun 2024 dengan perkiraan kematian 8.920 kasus. Tingkat kesembuhan melanoma dapat mencapai 90% jika dapat dideteksi sedini mungkin. Pengetahuan mengenai image processing semakin berkembang terutama dalam bidang fitur ekstraksi. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik melanoma dengan menggunakan fitur ekstraksi tekstur dan fitur ekstraksi bentuk sebagai upaya deteksi dini melanoma. Citra yang digunakan pada penelitian ini merupakan 50 citra melanoma yang diperoleh dari Dataset Kaggle (<https://www.kaggle.com/datasets/bhavesmittal/melanoma-cancer-dataset>). Terdapat tiga tahapan dalam pengolahan citra melanoma, diantaranya pra-pemrosesan data berupa perbaikan citra menggunakan contrast stretching, segmentasi menggunakan thresholding dan Operator Canny, serta fitur ekstraksi menggunakan GLCM dan fitur bentuk. Diperoleh hasil penelitian berupa karakteristik melanoma berdasarkan GLCM (contrast, dissimilarity, homogeneity, energy, correlation, dan ASM) serta karakteristik melanoma berdasarkan fitur bentuk (rata-rata dari area, perimeter, convex hull area, convex hull perimeter, solidity, dan convexity perimeter).

Kata Kunci: Fitur bentuk, GLCM, melanoma, operator canny, thresholding

Abstract – Melanoma is a type of skin cancer that originates from melanocytes. The main cause of melanoma cancer is UV radiation. Based on the American Cancer Society, it is estimated that there will be 100,640 new cases of melanoma in the United States in 2024 with an estimated death of 8,920 cases. The cure rate for melanoma can reach 90% if it is detected as early as possible. Knowledge about image processing is growing, especially in the field of feature extraction. Thus, this study aims to determine the characteristics of melanoma by using texture extraction features and shape extraction features as an effort to detect melanoma early. The images used in this study were 50 melanoma images obtained from the Kaggle Dataset (<https://www.kaggle.com/datasets/bhavesmittal/melanoma-cancer-dataset>). There are three stages in melanoma image processing, including data pre-processing in the form of image enhancement using contrast stretching, segmentation using thresholding and the Canny operator, as well as feature extraction using GLCM and shape features. The research results were obtained in the form of melanoma characteristics based on GLCM (contrast, dissimilarity, homogeneity, energy, correlation, and ASM) as well as melanoma characteristics based on shape features (average of area, perimeter, convex hull area, convex hull perimeter, solidity, and convexity perimeter).

Keywords: Canny Operator, GLCM, Melanoma, Thresholding, Shape Features

1. Pendahuluan

Kulit merupakan organ terluar dan terbesar dalam tubuh manusia yang berfungsi untuk melindungi dari kerusakan fisik, polusi, sinar UV, dan lainnya. Hal tersebut sering kali menjadi penyebab munculnya penyakit kulit ringan sampai penyakit kulit mematikan seperti melanoma atau kanker kulit [1][2]. Melanoma merupakan jenis kanker kulit yang berasal dari melanosit, dimana melanosit merupakan salah satu penyusun dari epidermis (bagian terluar kulit) yang berfungsi untuk melindungi dan menghasilkan pigmen yang memberi warna pada kulit dan penyebab utama melanoma adalah radiasi sinar UV. Meskipun kasus melanoma terhitung jarang terjadi, namun penyakit ini memiliki persentase tingkat kematian yang tinggi [1].

American Cancer Society [3] melaporkan perkiraan 100.640 kasus melanoma baru di Amerika Serikat pada tahun 2024, dengan perkiraan kematian 8.920 kasus. Kasus kematian akibat melanoma kebanyakan diakibatkan oleh ketidaktahuan masyarakat atas perbedaan *nevus* dengan melanoma. Meskipun demikian, deteksi dini melanoma dapat memberikan kemungkinan sembuh sebesar 90% terutama jika melanoma terdeteksi ketika stadium 0 atau I [4]. Pengetahuan mengenai *image processing* terutama tentang fitur ekstraksi tekstur menggunakan GLCM (*Gray-Level Co-occurrence Matrix*) dan fitur ekstraksi bentuk dapat membantu untuk deteksi dini melanoma dengan mengenali karakteristiknya. Fitur ekstraksi tekstur dapat digunakan untuk mengenali melanoma dari segi variasi warna atau tekstur yang membedakan melanoma dengan bintik-bintik yang lain. Fitur ekstraksi bentuk dapat digunakan untuk mengenali melanoma dari segi asimetris dan *border* atau batas dari melanoma. Tahapan yang diperlukan untuk mengetahui karakteristik melanoma dengan menggunakan fitur ekstraksi diantaranya, (1) Pra-pemrosesan, (2) Segmentasi, dan (3) Fitur ekstraksi. Pra-pemrosesan merupakan proses mengumpulkan dataset dan proses perbaikan citra dengan menggunakan contrast stretching yang bertujuan untuk meningkatkan perbedaan antara *foreground* dan *background*. Segmentasi merupakan proses penting karena dapat memfokuskan analisis pada objek yang akan diteliti sehingga mampu memaksimalkan hasil dari ekstraksi fitur [1]. Tujuan penelitian ini sesuai dengan rumusan masalah yang telah dijelaskan sebelumnya, yakni untuk mengetahui karakteristik melanoma dengan menggunakan fitur ekstraksi tekstur dan fitur ekstraksi bentuk sebagai upaya deteksi dini melanoma.

2. Metode Penelitian

Metode dalam penelitian ini dilakukan dalam 6 pengujian, yaitu dataset, analisis perencanaan sistem, tahapan implementasi sistem, tahap segmentasi, dan tahap ekstraksi fitur. Analisis yang dilakukan bertujuan untuk mengidentifikasi objek berupa kanker *melanoma* berdasarkan dataset. Berikut merupakan analisis dan tahapan yang termuat pada penelitian ini.

2.1. Dataset

Dataset yang digunakan terdiri dari 50 citra kanker *melanoma* dan masing-masing memiliki teksur dan bentuk yang berbeda. Total data citra yang digunakan sebagai *dataset* berjumlah 50 data atau keseluruhan. Data citra ini diambil dari *website* yang bernama kaggle.

2.2. Analisis Perencanaan Sistem

Tahapan-tahapan perencanaan analisis kinerja Teknik *Image Processing* dalam identifikasi kanker *melanoma* dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

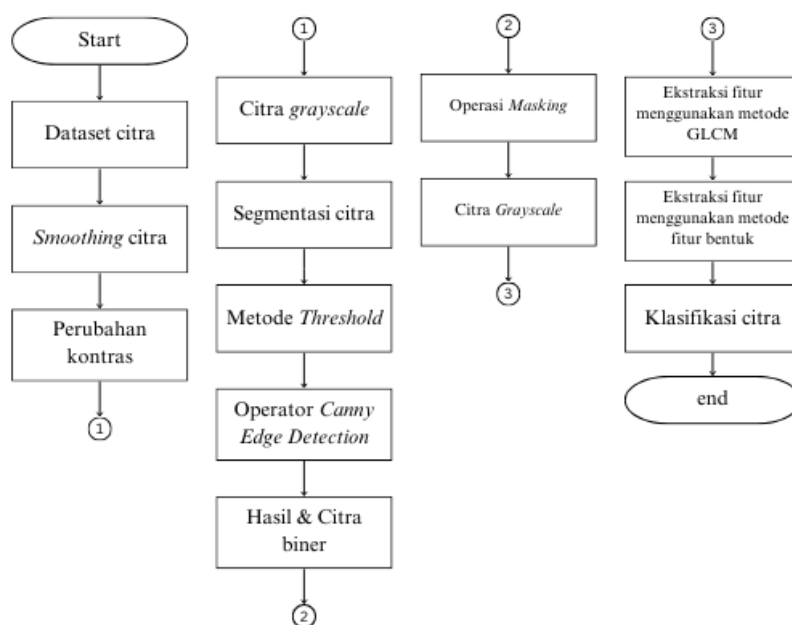
Tabel 1. Analisis Perencanaan Kinerja.

No	Tahap	Keterangan
1	Pengumpulan kebutuhan	Melakukan pengumpulan hal-hal yang dibutuhkan dalam kinerja, seperti dataset berupa gambar dan program.

No	Tahap	Keterangan
2	Perancangan cepat	Membuat perancangan identifikasi jenis kanker melanoma.
3	Membangun prototipe	Membuat sebuah prototipe berupa program pengolahan citra untuk identifikasi jenis kanker melanoma.
4	Evaluasi prototipe	Melakukan evaluasi pada prototipe yang sudah dibuat.

2.3. Tahapan Implementasi Sistem

Tahapan implementasi sistem pada penelitian ini dibagi ke dalam tiga tahapan besar seperti yang ditunjukkan pada gambar 1 berikut.



Gambar 1. Tahapan Implementasi Sistem

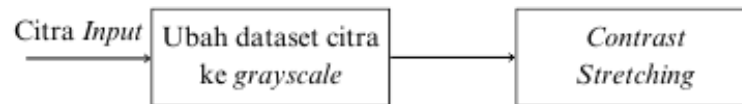
Penelitian dimulai dengan pengumpulan dataset yang didapatkan berupa citra, citra tersebut dilakukan proses penghalusan (*smoothing* citra) dan perubahan kontras. Tahapan ini merupakan tahapan awal sebelum dilakukan proses atau yang disebut *preprocessing*. Citra yang sudah melewati *preprocessing* dilakukan perubahan warna dari RGB ke citra *grayscale* hal ini bertujuan untuk dilakukan tahapan segmentasi. Penelitian ini menggunakan dua tahapan metode segmentasi, yaitu metode ambang (*Threshold*) dan metode *Canny Edge Detection*. Citra digabungkan dengan kedua metode tersebut. Tahapan selanjutnya ialah *postprocessing*, hasil citra yang sudah disegmentasi dilakukan tahapan masking sebelum dilakukannya pemisahan citra (*cropped*). Tahap terakhir yaitu ekstraksi fitur, ekstraksi fitur berfokus pada pembentukan matriks-matriks *gray level Co-occurrence Matrix* (GLCM) dan pembentukan rata-rata pada ekstraksi fitur bentuk.

2.4. Tahapan Preprocessing

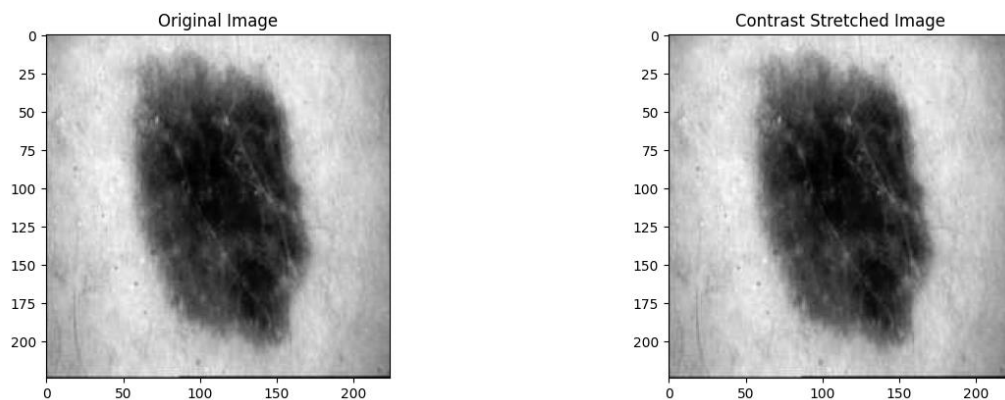
Tahap *preprocessing* berfokus pada pengoptimalisasian pada citra *grayscale* sebelum citra tersebut diproses ke dalam tahap segmentasi. Tahap ini merupakan *contrast stretching*.

2.4.1. Contrast Stretching

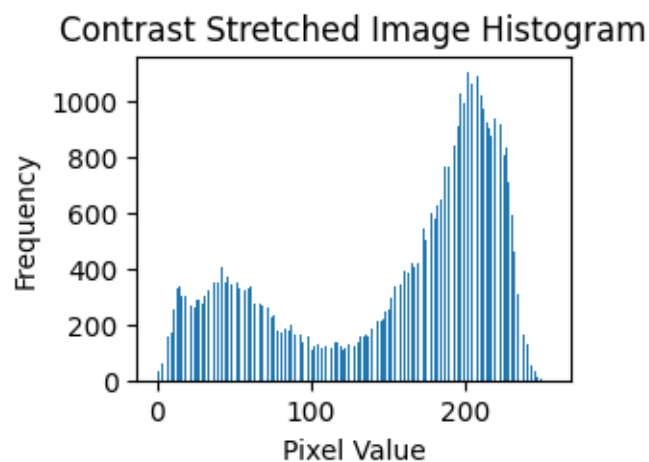
Contrast stretching digunakan pada penelitian ini agar citra mendapatkan citra yang lebih baik dibandingkan citra aslinya. Hal ini mempermudah ke dalam tahapan selanjutnya yaitu segmentasi.



Gambar 2. Proses *Contrast Stretching*.



Gambar 1 Perbandingan citra setelah dan sebelum dilakukan *Contrast Stretching*.



Gambar 2 Histogram citra *Contrast Stretching*.

2.5. Tahap Segmentasi

Penelitian ini menggunakan metode *thresholding* atau metode ambang untuk memutuskan nilai *thresholding* menjadi ukuran nilai pemisahan antara daerah penyakit kanker *melanoma* dan daerah kulit pada citra. Proses *thresholding* menghasilkan citra biner dengan mengubah nilai piksel yang berada di bawah level *threshold* menjadi nilai 0 atau hitam dan nilai piksel yang berada di atas level *threshold* menjadi nilai 1 atau putih. Jika $g(x,y)$ adalah citra biner hasil *thresholding* pada citra $f(x, y)$ untuk nilai *threshold* [5]. Maka dapat menggunakan persamaan $g(x,y) = \text{nilai intensitas citra biner pada } (x,y) \text{ dan } T = \text{nilai threshold}$.

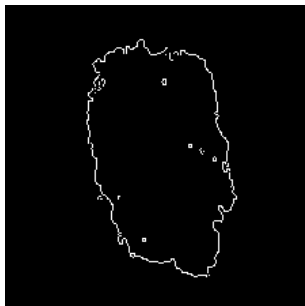
$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if } (x, y) \geq T \\ 0, & \text{if } (x, y) < T \end{cases} \quad (1)$$



Gambar 3 Hasil metode ambang (*Thresholding*).

Selain metode *thresholding*, penelitian ini juga menggunakan operator *Canny Edge Detection*, operator ini diperuntukkan untuk menemukan bagian-bagian tepi yang mengalami perubahan intensitas warna secara drastis dari sebuah objek serta mengurangi noise dan mengidentifikasi tepi dengan tepat. Algoritma *Canny Edge Detection* secara umum beroperasi sebagai berikut:

1. Penghalusan untuk mengurangi noise terhadap pendeteksian tepi.
2. Menhitung potensi gradien citra
3. *Non-maximal suppression* dari gradien citra untuk melokalisasi *edge* secara presisi.
4. *Hysteresis thresholding* untuk melakukan klasifikasi akhir.



Gambar 4 Hasil proses operator *Canny*.



Gambar 5 Hasil proses *masking*.



Gambar 6 Hasil proses segmentasi

2.6. Tahap Ekstraksi Fitur

Tahap ekstraksi fitur dinamakan tahap *postprocessing* yang berfokus pada fitur-fitur *Gray Level Co-occurrence matrix* (GLCM) dan fitur bentuk.

2.6.1. Ekstraksi Fitur GLCM

GLCM merupakan matriks dimana jumlah baris dan kolom memiliki nilai yang sama dengan tingkat keabuan yang dibentuk masing-masing orientasi 0°, 45°, 90°, dan 135° pada jarak satu piksel. Matrik-matrik ini memberikan karakteristik tekstur yang dideskripsikan sebagai fitur-fitur GLCM. GLCM memiliki 12 fitur. Tetapi pada penelitian ini, hanya 6 fitur yang diambil untuk dilakukan penelitian seperti yang ditunjukkan pada tabel 2. berikut:

Tabel 1 Fitur-fitur GLCM.

Fitur	Rumus
Contrast	$\sum_k k^2 \left[\sum_i \sum_j P(i, j) \right]$
Dissimilarity	$\sum_{i,j} P_{i,j} i - j $
Homogeneity	$\sum_{i,j} \frac{P(i, j)}{1 + i - j }$
Energy	$\sum_{i,j} pP$
Correlation	$\sum_{i,j} \frac{(i - \mu_i)(i - \mu_j)P(i, j)}{\sigma_i \sigma_j}$
ASM	$\sum_{i,j} P_{i,j}^2$

Dimana $P(i, j)$ merupakan nilai elemen pada matrik GLCM. Nilai μ adalah nilai *mean* dan σ merupakan standar deviasi [6][7][8]. *contrast* sebagai fitur ukuran variasi lokal, *dissimilarity* sebagai ukuran perbedaan rata-rata intensitas antar piksel, *homogeneity* sebagai ukuran homogenitas suatu citra, *energy* yang menyatakan *joint probability occurrence* pada pasangan piksel tertentu, *correlation* sebagai fitur ukuran *linear dependence* dari level keabuan antara piksel-piksel, ASM sebagai pengukuran keteraturan dan kehalusan tekstur secara keseluruhan [8]. Tahapan yang digunakan dalam pengambilan ciri tekstur dari gambar menggunakan GLCM ialah sebagai berikut:

1. Citra warna dirubah menjadi citra *grayscale*.
2. Masing-masing nilai dari RGB citra diubah menjadi keabuan dengan menggunakan rumus keabuan.
$$Keabuan = 0.2989 \times R + 0.5870 \times G + 0.1140 \times B \quad (2)$$

$$Piksel\ baru = setPixel(255, nilai\ keabuan, nilai\ keabuan) \quad (3)$$
3. Segmentasi nilai warna ke dalam 16 bin
4. Hitung nilai *co-occurrence matrix* dalam empat arah masing-masing 0°, 45°, 90°, dan 135°.
5. Hitung informasi ciri tekstur yaitu *contrast*, *dissimilarity*, *homogeneity*, *energy*, *correlation*, dan ASM.

2.6.2. Ekstraksi Fitur Bentuk

Fitur bentuk merupakan karakter dari suatu objek yang merupakan konfigurasi oleh garis dan kontur. Fitur bentuk dikategorikan bergantung pada teknik yang digunakan, kategori teknik

berdasarkan batas (*boundary-based*) dan berdasarkan daerah (*region-based*). Pada penelitian ini menggunakan fitur bentuk kategori teknik berdasarkan batas (*boundary-based*). Hal ini karena penelitian ini menggunakan operator yang digunakan untuk ekstraksi fitur bentuk, yaitu *Canny Edge Detection*. Operator *canny* berhubungan dengan ekstraksi fitur karena dipergunakan untuk menemukan bagian-bagian tepi dari sebuah objek. Fitur bentuk rata-rata pada penelitian ini yang digunakan ialah 5 fitur bentuk seperti yang ditunjukkan pada tabel 3 berikut:

Tabel 2 Tabel rumus Ekstraksi Fitur Bentuk

Fitur	Rumus
Area	$A_i = \sum_{r=0}^{height-1} \sum_{c=0}^{width-1} I_i(r, c)$
Perimeter	Menghitung piksel 1' yang tetangga sekitarnya = '0'
Area Convex Hull	$Area = \frac{1}{2} (x_i y_i + 1 - y_i x_i + 1) + (x_n y_1 - y_n x_1) $
Convex Hull Perimeter	$Perimeter = \sum_{t=1}^{n-1} \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2} + \sqrt{(x_1 - x_n)^2 + (y_1 - y_n)^2}$
Solidity	$solidity = \frac{Area}{Area\ convex\ hull}$

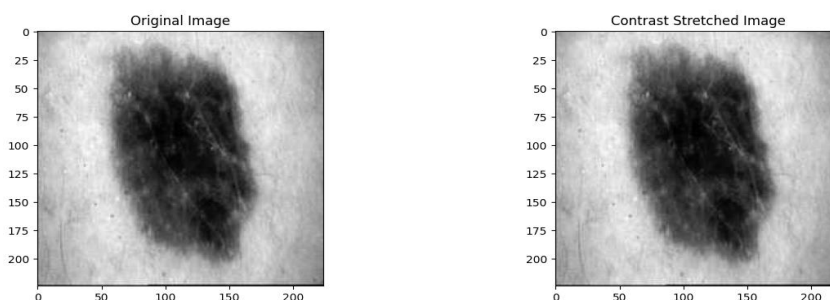
3. Hasil dan Pembahasan

Citra yang digunakan merupakan 50 citra melanoma yang diperoleh dari Dataset Kaggle (<https://www.kaggle.com/datasets/bhaveshmittal/melanoma-cancer-dataset>). Citra tersebut selanjutnya akan dianalisis dengan menggunakan teknik ekstraksi fitur untuk diketahui karakteristiknya, diantaranya dengan menggunakan GLCM (Gray-Level Co-occurrence Matrix) untuk fitur tekstur dan fitur bentuk.

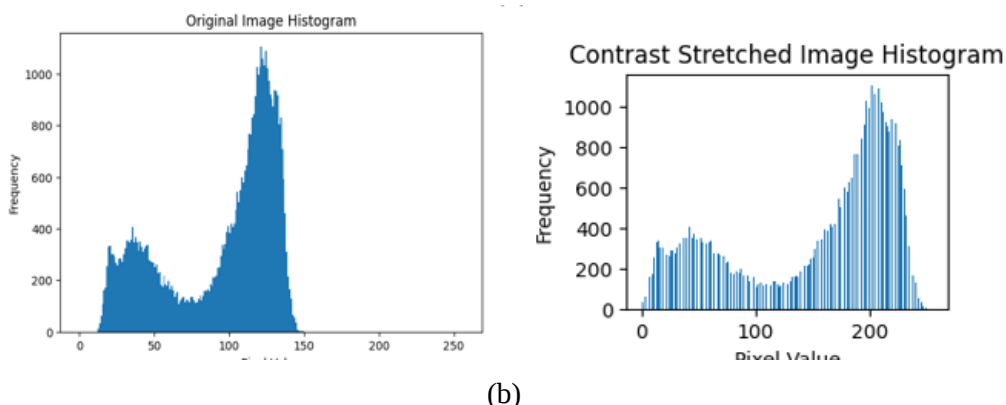
3.1. Pra-Pemrosesan Data

3.1.1. Contrast Stretching

Langkah yang dilakukan pada proses ini merupakan *contrast stretching*. *Contrast stretching* bekerja dengan merenggangkan atau memperluas rentang pixel suatu citra sehingga persebaran pixel lebih menyeluruh.



(a)



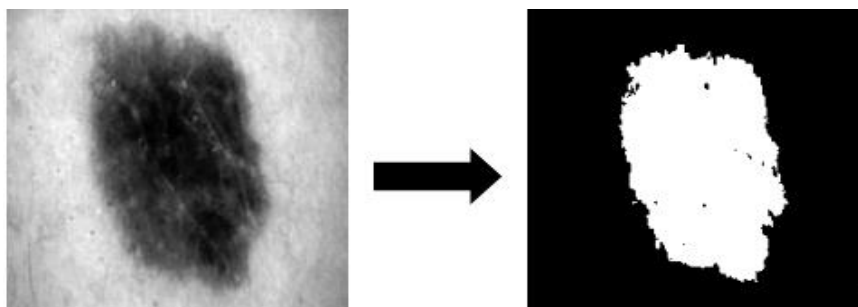
(b)
Gambar 9. citra sebelum dan sesudah *contrast stretching* (a) dan histogram citra sebelum dan sesudah *contrast stretching*.

Berdasarkan histogram di atas, terlihat bahwa pixel pada *original image histogram* berkumpul di tengah sehingga perbedaan antara melanoma dan jaringan kulit sehat tidak terlalu jelas. Pada *contrast stretched image histogram*, persebaran pixel lebih merata untuk setiap nilai. Hal tersebut membuat perbedaan antara daerah terang yang merupakan jaringan kulit sehat dan daerah gelap yang merupakan melanoma terlihat lebih jelas. Selain itu, proses *contrast stretching* ini juga dapat mempermudah proses segmentasi.

3.2. Segmentasi

3.2.1. Thresholding (Segmentasi Berbasis Ambang)

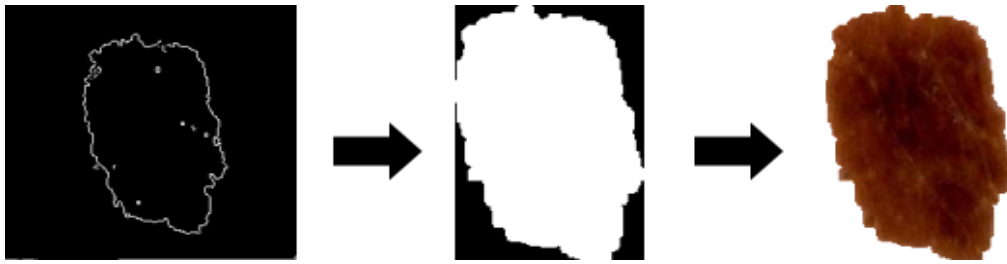
Segmentasi menggunakan metode ini bertujuan untuk mengubah suatu citra menjadi citra biner dengan menggunakan nilai ambang. Nilai ambang yang digunakan adalah 100, namun nilai ini dapat diubah sesuai dengan kebutuhan. Cara kerja dari metode ini adalah dengan mengubah pixel yang memiliki intensitas di atas atau sama dengan 100 akan dianggap sebagai 255 atau putih, sedangkan pixel dengan intensitas di bawah 100 akan dianggap sebagai 0 atau hitam. Setelah itu untuk kebutuhan pemisahan *background* dan *foreground*, citra biner akan di inverse dimana yang tadinya berwarna hitam akan menjadi putih begitupun sebaliknya.



Gambar 10. Segmentasi menggunakan metode *threshold*.

3.2.2. Operator Canny (Segmentasi Berbasis Tepi)

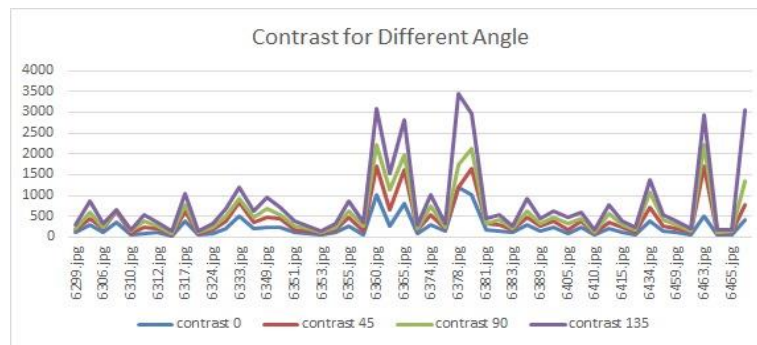
Operator Canny merupakan algoritma kompleks yang mampu mendeteksi tepi dengan akurat dan halus. Penggunaan *thresholding* sebelumnya dapat mempermudah Operator Canny untuk melakukan deteksi tepi, sedangkan penggunaan operator tersebut setelah *thresholding* dapat mereduksi noise sehingga membuat area menjadi lebih relevan. Selanjutnya, dilakukan proses *masking* agar area melanoma tidak ikut terpotong ketika proses *cropping*.



Gambar 11. Segmentasi menggunakan Operator *Canny* (a), *masking* (b), dan hasil *cropping* (c).

3.3. Fitur Ekstraksi

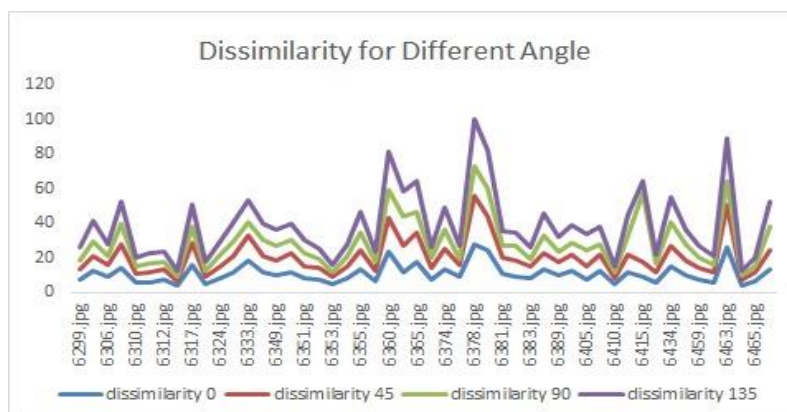
3.3.1. Ekstraksi Fitur Tekstur Menggunakan GLCM (Gray-Level Co-occurrence Matrix)



Grafik 12 *Contrast for different angels.*

Contrast stretching merupakan teknik perbaikan citra yang bertujuan untuk meningkatkan kontras gambar dengan memperluas rentang nilai intensitas piksel. Dalam analisis ini, terlihat bahwa kontras gambar dengan sudut 135 derajat memiliki nilai kontras paling tinggi diantara sudut lainnya, sedangkan kontras gambar dengan sudut 0 derajat memiliki nilai kontras paling rendah. Selain itu, terdapat beberapa gambar dengan nilai kontras tinggi di sudut 90 derajat, yang menandakan bahwa sudut ini bisa menghasilkan gambar dengan detail yang lebih jelas.

Secara umum, dapat disimpulkan bahwa sudut 135 derajat menghasilkan gambar dengan kontras paling tinggi, diikuti oleh sudut 90 derajat, dan kemudian sudut 45 dan 0 derajat. Pendeteksian tepi menggunakan metode *Canny* menghasilkan perbedaan yang signifikan dalam pengenalan struktur tepi pada melanoma. Sebagai contoh, gambar 6300.jpg menunjukkan nilai *dissimilarity* yang lebih tinggi pada sudut 0° (12,6) dibandingkan dengan sudut 90° (8,33). *Dissimilarity* yang tinggi mengindikasikan adanya perubahan intensitas yang signifikan, yang membantu dalam mendeteksi tepi yang tajam dan detail dari lesi melanoma.

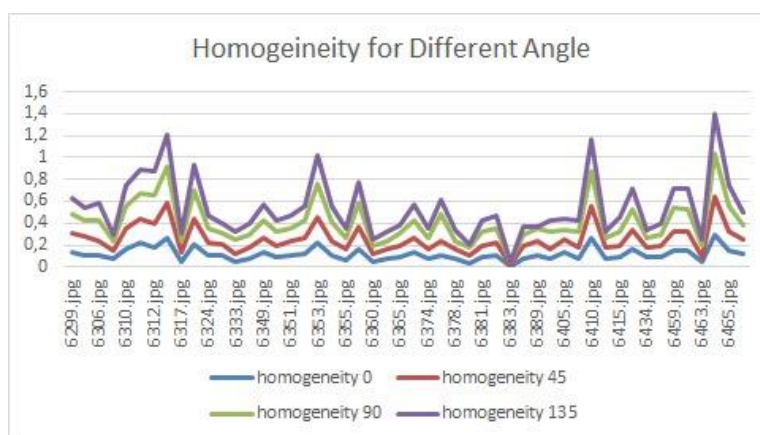


Grafik 13. *Dissimilarity for different angels.*

Grafik tersebut menampilkan disimilaritas gambar untuk berbagai sudut, dengan empat kurva yang masing-masing mewakili disimilaritas pada sudut 0, 45, 90, dan 135 derajat. Secara umum, terlihat bahwa disimilaritas bervariasi baik antar gambar maupun antar sudut yang berbeda. Variasi ini menunjukkan kompleksitas tekstur dalam dataset dan pentingnya analisis multi-sudut dalam menilai karakteristik gambar.

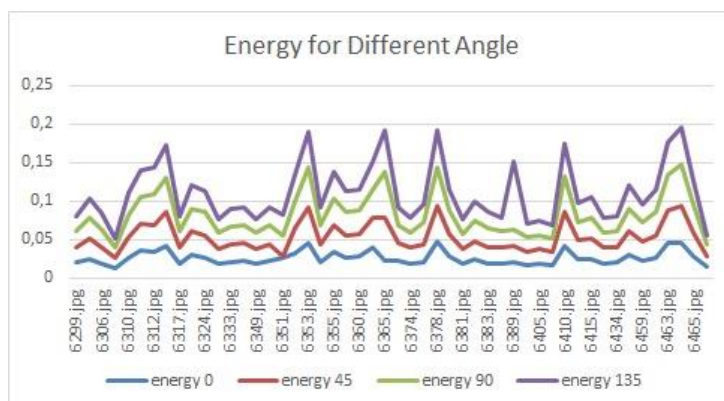
Kurva untuk sudut 0 derajat cenderung memiliki nilai disimilaritas yang lebih rendah dibandingkan dengan sudut lainnya. Hal ini dapat mengindikasikan bahwa gambar-gambar yang dianalisis pada sudut 0 derajat memiliki tingkat kemiripan yang lebih tinggi satu sama lain. Hal ini mungkin disebabkan oleh orientasi umum atau pola tertentu dalam gambar yang lebih konsisten ketika dilihat dari sudut 0 derajat.

Sementara itu, kurva untuk sudut 45, 90, dan 135 derajat menunjukkan pola yang lebih mirip satu sama lain, dengan puncak dan lembah yang serupa. Kemiripan pola ini mengindikasikan adanya hubungan yang lebih kuat dalam hal disimilaritas gambar pada sudut-sudut tersebut. Hal ini mungkin mencerminkan karakteristik tekstur atau pola yang lebih konsisten ketika gambar dianalisis dari sudut-sudut ini, yang dapat memberikan wawasan penting dalam analisis tekstur dan klasifikasi gambar.



Grafik 14 Homogeneity for different angels.

Homogeneity dalam GLCM mengukur kedekatan distribusi elemen dalam GLCM ke diagonal GLCM. Grafik tersebut menunjukkan homogenitas untuk sudut yang berbeda. Dari grafik terlihat bahwa homogenitas paling tinggi untuk sudut 135 derajat, kemudian 90 derajat, 45 derajat, dan 0 derajat. Dari pola grafik juga dapat dilihat bahwa homogenitas untuk sudut 135 derajat cenderung lebih konsisten dibandingkan sudut lain.

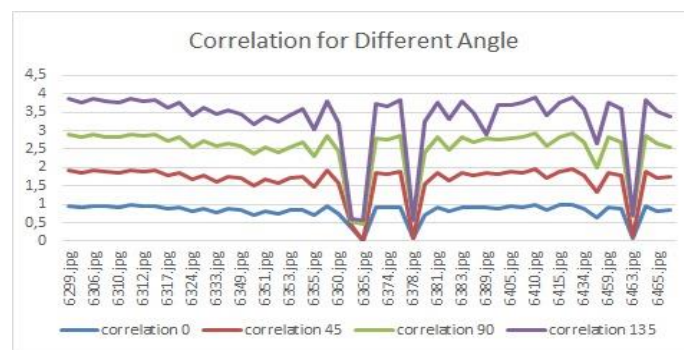


Grafik 15 Energy for different angels

Grafik tersebut menggambarkan energi untuk berbagai sudut dalam analisis tekstur gambar. Sumbu X merepresentasikan gambar-gambar yang dianalisis, sementara sumbu Y menunjukkan nilai energi. Empat kurva yang ditampilkan mewakili sudut 0 derajat, 45 derajat, 90 derajat, dan 135 derajat, memberikan gambaran komprehensif tentang karakteristik energi tekstur pada orientasi yang berbeda.

Analisis grafik mengungkapkan bahwa energi untuk sudut 0 derajat dan 45 derajat cenderung memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan sudut 90 derajat dan 135 derajat. Perbedaan ini mungkin mengindikasikan bahwa tekstur gambar memiliki keseragaman yang lebih rendah atau kompleksitas yang lebih tinggi ketika dianalisis pada sudut 0 dan 45 derajat. Sementara itu, sudut 90 derajat dan 135 derajat menunjukkan pola energi yang lebih bervariasi, menandakan adanya perbedaan yang lebih signifikan dalam karakteristik tekstur pada orientasi ini di antara gambar-gambar yang dianalisis.

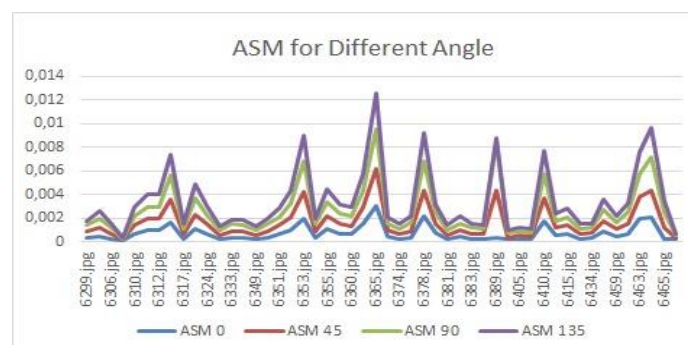
Lebih lanjut, grafik menunjukkan bahwa energi untuk sudut 135 derajat mencapai puncak tertinggi, sementara energi untuk sudut 90 derajat menunjukkan puncak terendah. Perbedaan yang mencolok ini bisa menjadi indikator penting dalam mengidentifikasi fitur unik atau pola tertentu dalam gambar.



Grafik 16. *Correlation for different angels.*

Correlation dalam GLCM mengukur ketergantungan linear intensitas piksel pada posisi relatif satu sama lain. Grafik tersebut menunjukkan korelasi antara gambar dengan berbagai sudut. Terlihat bahwa korelasi gambar dengan sudut 0 derajat, 45 derajat, dan 90 derajat memiliki pola yang relatif stabil, dengan nilai korelasi yang berkisar antara 0,5 hingga 2,5. Sebaliknya, korelasi gambar dengan sudut 135 derajat memiliki pola yang lebih fluktuatif, dengan nilai korelasi yang berkisar antara 1,5 hingga 4.

Hal ini menunjukkan bahwa gambar dengan sudut 135 derajat memiliki lebih banyak variasi dalam korelasi dibandingkan dengan gambar dengan sudut lainnya. Berdasarkan grafik ini, dapat disimpulkan bahwa sudut 135 derajat memiliki pengaruh yang signifikan terhadap korelasi gambar, dan perlu dipertimbangkan dalam analisis dan pemrosesan gambar.



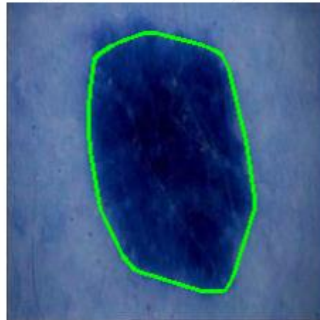
Grafik 17 *ASM for different angels.*

Dari data ini, kita dapat melihat bahwa gambar 6389 memiliki nilai ASM tertinggi, diikuti oleh gambar 6464 dan 6353. Nilai ASM yang lebih tinggi ini menunjukkan bahwa gambar-gambar tersebut memiliki tekstur yang lebih homogen dibandingkan dengan gambar lainnya.

Dalam konteks identifikasi melanoma, nilai ASM yang lebih rendah (seperti pada gambar 6324) mungkin lebih mengindikasikan lesi yang berpotensi ganas, karena melanoma cenderung memiliki tekstur yang lebih heterogen. Namun, perlu diingat bahwa ASM hanyalah salah satu dari banyak fitur yang perlu dipertimbangkan dalam diagnosis.

3.3.2. Ekstraksi Fitur Bentuk

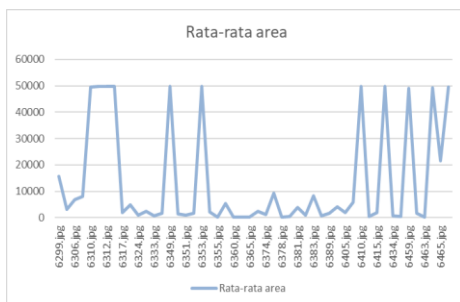
Gambar dengan convex hull (min_area=3000)



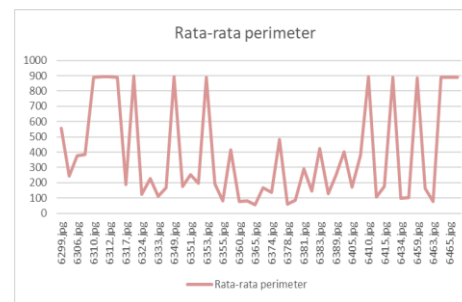
Gambar 18. Gambar dengan *convex hull*.

Gambar tersebut menampilkan hasil ekstraksi fitur bentuk menggunakan metode convex hull, sebuah metode yang menghasilkan bentuk cembung terkecil yang dapat mencakup seluruh titik dalam suatu set data. Convex hull, yang direpresentasikan oleh garis hijau yang mengelilingi objek utama, memberikan gambaran kasar tentang bentuk objek dan membantu dalam identifikasi fitur-fiturnya. Analisis gambar menggunakan teknik ini mengungkapkan beberapa informasi penting.

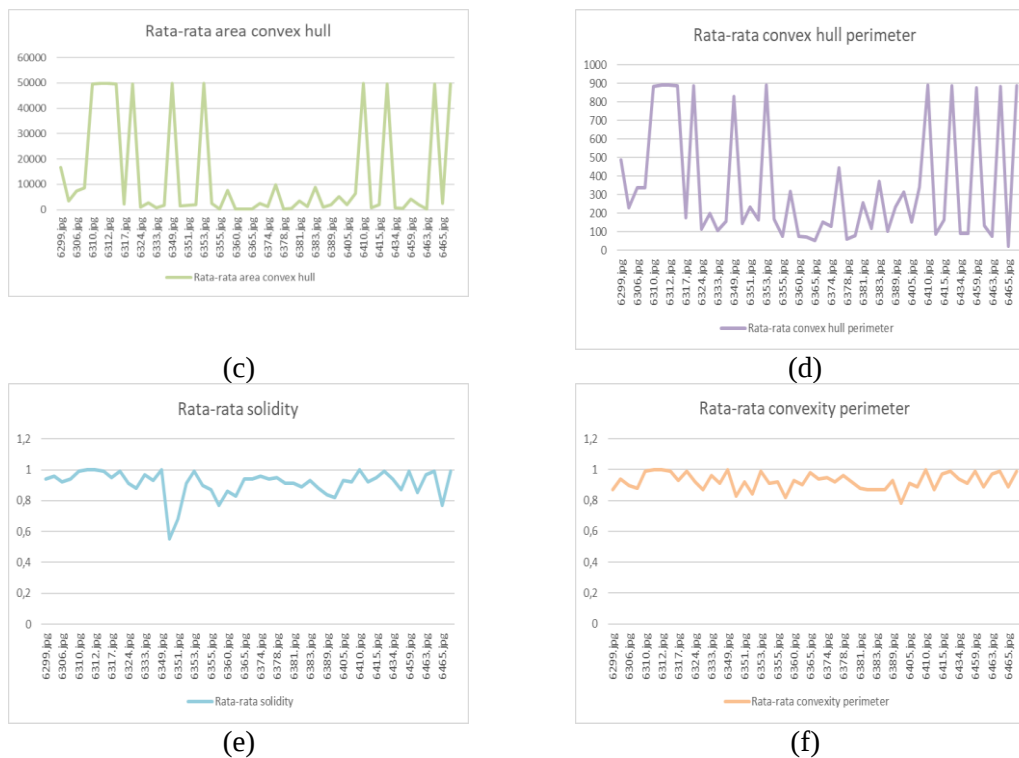
Pertama, bentuk convex hull mengindikasikan bahwa objek yang dianalisis memiliki bentuk yang relatif bulat atau oval. Ini memberikan wawasan awal tentang morfologi objek tanpa perlu meneliti detail-detail kecil. Kedua, luas area convex hull dapat digunakan sebagai estimasi ukuran objek, memberikan metrik kuantitatif yang berguna untuk perbandingan antar objek. Ketiga, posisi dan orientasi convex hull dalam gambar dapat menunjukkan orientasi objek, yang bisa menjadi informasi penting dalam berbagai aplikasi analisis citra.



(a)



(b)



Grafik 19. Rata-rata area (a), rata-rata *perimeter* (b), rata-rata *area convex hull* (c), rata-rata *convex hull perimeter* (d), rata-rata *solidity* (e), dan rata-rata *convexity perimeter* (f).

Grafik ini menyajikan nilai rata-rata dari beberapa parameter bentuk yang diukur pada serangkaian gambar, termasuk rata-rata area, *perimeter*, *area convex hull*, *solidity*, dan *convexity perimeter*. Analisis grafik mengungkapkan pola yang menarik dalam karakteristik bentuk objek yang dipelajari. Rata-rata area dan *perimeter* menunjukkan pola yang serupa, dengan kecenderungan meningkat seiring bertambahnya nomor gambar. Hal ini mengindikasikan bahwa objek dalam gambar-gambar yang lebih akhir cenderung memiliki ukuran yang lebih besar atau bentuk yang lebih kompleks.

Sementara itu, rata-rata *area convex hull* menampilkan pola yang lebih tidak beraturan, menunjukkan variabilitas yang lebih tinggi dalam bentuk keseluruhan objek di antara gambar-gambar tersebut. Pola ini mungkin mencerminkan keragaman dalam kompleksitas bentuk atau variasi dalam orientasi objek. Di sisi lain, rata-rata *solidity* dan *convexity perimeter* menunjukkan tren yang menarik, dengan nilai yang cenderung rendah pada gambar-gambar awal dan meningkat secara bertahap seiring bertambahnya nomor gambar.

Berdasarkan analisis ini, dapat disimpulkan bahwa bentuk-bentuk objek dalam rangkaian gambar ini cenderung menjadi semakin kompleks dan tidak teratur seiring dengan peningkatan nomor gambar. Peningkatan dalam nilai *solidity* dan *convexity perimeter* mengindikasikan bahwa objek-objek pada gambar-gambar yang lebih akhir memiliki bentuk yang lebih mendekati *convex hull* mereka, mungkin menandakan bentuk yang lebih padat atau kurang bergerigi. Temuan ini dapat memiliki implikasi penting dalam berbagai aplikasi analisis citra, seperti dalam pengenalan pola, klasifikasi objek, atau dalam konteks medis untuk analisis perkembangan lesi atau tumor.

4. Kesimpulan

Analisis citra *melanoma* menggunakan teknik ekstraksi fitur seperti GLCM dan fitur bentuk memberikan wawasan penting tentang karakteristik lesi kulit. Proses sebelum pemrosesan menggunakan *contrast stretching* terbukti dalam meningkatkan perbedaan antara daerah

melanoma dan jaringan kulit sehat, memfasilitasi segmentasi yang lebih akurat. Metode segmentasi yang digunakan, termasuk *thresholding* dan operator *canny*, berhasil memisahkan area *melanoma* dari latar belakang, memungkinkan analisis yang lebih mendetail.

Ekstraksi fitur tekstur menggunakan GLCM mengungkapkan perbedaan signifikan dalam karakteristik citra pada berbagai sudut. Sudut 135 derajat secara konsisten menunjukkan nilai kontras tertinggi, sementara sudut 0 derajat menunjukkan nilai terendah. Analisis disimilaritas, homogenitas, energi dan korelasi pada berbagai sudut memberikan informasi tentang kompleksitas tekstur lesi. Variasi dalam nilai-nilai ini dapat menjadi indikator penting dalam membedakan lesi jinak dari yang berpotensi ganas.

Fitur bentuk yang diekstrak menggunakan metode *convex hull* memberikan penilaian kuantitatif tentang morfologi lesi. Analisis *area*, *perimeter*, *solidity*, dan *convexity perimeter* menunjukkan kecenderungan peningkatan kompleksitas bentuk seiring dengan peningkatan nomor gambar. Hal ini mengindikasikan variasi yang signifikan dalam karakteristik bentuk lesi *melanoma*, yang dapat menjadi faktor penting dalam diagnosis dan klasifikasi.

Kesimpulannya, kombinasi analisis tekstur dan bentuk menggunakan berbagai teknik ekstraksi fitur memberikan pemahaman komprehensif tentang karakteristik citra *melanoma*. Pendekatan dari beberapa sudut dalam analisis GLCM dan penggunaan *convex hull* untuk analisis bentuk terbukti efektif dalam meningkatkan akurasi diagnosis *melanoma*.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kami sampaikan kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyusunan jurnal ini. Secara khusus, kami ingin mengucapkan apresiasi kepada dosen pembimbing dan rekan tim yang telah memberikan wawasan serta masukan berharga selama proses penelitian. Tak lupa, penghargaan kami sampaikan kepada lembaga dan institusi yang telah memberikan dukungan untuk kelancaran penelitian ini. Semoga jurnal ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan menjadi inspirasi untuk penelitian lebih lanjut di masa depan.

Referensi

- [1] M. A. Ahmed Thaajwer and U. A. Piumi Ishanka, "Melanoma skin cancer detection using image processing and machine learning techniques," in *ICAC 2020 - 2nd International Conference on Advancements in Computing, Proceedings*, 2020. doi: 10.1109/ICAC51239.2020.9357309.
- [2] D. Juniati, "Klasifikasi Jenis Tumor Kulit Menggunakan Dimensi Fraktal Box Counting dan K-Means," *J. Ris. dan Apl. Mat.*, vol. 3, no. 2, pp. 71–77, 2019.
- [3] American Cancer Society, "Cancer Facts & Figures 2022," *Atlanta Am. Cancer Soc.*, 2022.
- [4] C. K. Viknesh, P. N. Kumar, R. Seetharaman, and D. Anitha, "Detection and Classification of Melanoma Skin Cancer Using Image Processing Technique," *Diagnostics*, vol. 13, no. 21, 2023, doi: 10.3390/diagnostics13213313.
- [5] W. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing Using MATLAB*, 2nd edition. 2004.
- [6] F. Albregtsen, "Statistical Texture Measures Computed from Gray Level Cooccurrence Matrices," ... *Lab. Dep. Informatics, Univ. ...*, 2008.
- [7] R. Widodo, A. W. Widodo, and A. Supriyanto, "Pemanfaatan Ciri Gray Level Co-Occurrence Matrix (GLCM) Citra Buah Jeruk Keprok (*Citrus reticulata* Blanco) untuk Klasifikasi Mutu," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 2, no. 11, 2018.
- [8] M. M. B, A. Ana, and A. S. Hidayat, "Implementasi Algoritma GLCM Dan MED pada Aplikasi Pendeteksi Kolesterol Melalui Iris Mata," *MIND J.*, vol. 2, no. 2, 2018, doi: 10.26760/mindjournal.v2i2.23-42.

- [9] S. Oukil, R. Kasmi, K. Mokrani, and B. García-Zapirain, "Automatic segmentation and melanoma detection based on color and texture features in dermoscopic images," *Ski. Res. Technol.*, vol. 28, no. 2, 2022, doi: 10.1111/srt.13111.
- [10] E. O. Olaniyi, T. E. Komolafe, O. K. Oyedotun, T. T. Oyemakinde, M. Abdelaziz, and A. Khashman, "Eye Melanoma Diagnosis System using Statistical Texture Feature Extraction and Soft Computing Techniques," *J. Biomed. Phys. Eng.*, vol. 13, no. 1, 2023, doi: 10.31661/jbpe.v0i0.2101-1268.
- [11] J. Bethanney Janney and S. Emalda Roslin, "Classification and detection of skin cancer using hybrid texture features," *Biomed.*, vol. 37, no. 2, 2017.
- [12] W. Septian, D. Riana, and M. J. Prayogo, "DETEKSI DIAMETER TUMOR PADA KULIT MENGGUNAKAN SEGMENTASI CITRA BERDASARKAN KARAKTERISTIK ABCDE," *INFORMATIKA*, vol. 3, 2016.
- [13] Y. I. NURHASANAH, I. A. DEWI, and F. PALLAR, "Sistem Pengenalan Jenis Kanker Melanoma pada Citra Menggunakan Gray Level Co-occurrence Matrices (GLCM) dan K-Nearest Neighbor (KNN) Classifier," *MIND J.*, vol. 5, no. 1, 2021, doi: 10.26760/mindjournal.v5i1.66-80.
- [14] D. Singh, D. Gautam, and M. Ahmed, "Detection techniques for melanoma diagnosis: A performance evaluation," in *2014 International Conference on Signal Propagation and Computer Technology, ICSPCT 2014*, 2014. doi: 10.1109/ICSPCT.2014.6884948.
- [15] R. Srikanteswara and A. C. Ramachandra, "Segmentation Techniques in Image Processing to Detect Melanoma," *Int. J. Sci. Eng. Res.*, vol. 10, no. 12, 2019.
- [16] E. Vocaturo, L. Caroprese, and E. Zumpano, "Features for melanoma lesions: Extraction and classification," in *Proceedings - 2019 IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence Workshops, WI 2019 Companion*, 2019. doi: 10.1145/3358695.3360898.
- [17] M. A. M. Almeida and I. A. X. Santos, "Classification models for skin tumor detection using texture analysis in medical images," *J. Imaging*, vol. 6, no. 6, 2020, doi: 10.3390/JIMAGING6060051.
- [18] E. S. Nugroho and Y. E. Anggraini, "Review Teknik Segmentasi Pada Deteksi Kanker Kulit (Melanoma)," *J. Komput. Ter.*, vol. 4, no. 1, 2018.

Smart – Farming: Kendali Kelembapan Media Tanaman Otomatis Berbasis IoT

Smart – Farming: IoT-Based Automatic Control of Plant Media Humidity

R. N. Halimi^{1*}, B. Halimi²

Sekolah Teknik Elektro dan Informatika

Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganesa 10 Bandung

18023014@mahasiswa.itb.ac.id^{1*}, burhan@itb.ac.id²

Abstrak – Penyiraman media tanam tanaman merupakan salah satu langkah penting untuk menjamin tanaman dapat tumbuh dengan baik. Untuk menjamin bahwa penyiraman dilakukan dengan baik, perlu adanya jaminan bahwa waktu penyiraman dan jumlah air yang disiramkan dilakukan secara tepat. Oleh karena itu, makalah ini mengusulkan sebuah sistem penyiraman tanaman otomatis berbasis IoT (internet of things) dan kendali kelembapan media tanam tanaman. Metode yang diusulkan menggunakan handphone (gawai) sebagai media komunikasi antara sistem dengan pengguna. Untuk mendeteksi kelembapan media tanam, digunakan sensor kelembapan tanah tipe kapasitif untuk menjamin penyiraman yang dilakukan sesuai dengan kebutuhan tanaman. Sedangkan untuk pengaturan waktu penyiraman digunakan komponen RTC sehingga memungkinkan pengguna mengatur jumlah sekaligus waktu penyiraman yang dilakukan. Sedangkan untuk mengatur aliran air, digunakan relai dan katup yang digerakkan solenoid untuk mengatur aliran air siraman. Sebagai kendali utama sistem, digunakan Arduino Uno R3 sebagai komponen pengatur utama sistem. Sedangkan untuk kebutuhan daya, sistem yang diusulkan menggunakan 2 level tegangan DC, yaitu 5 V dan 12 V.

Kata Kunci: Penyiram tanaman otomatis, sensor kelembapan tanah, Arduino Uno, IoT,

Abstract – Watering plant growing media is an important step to ensure plants can grow well. To ensure that watering is done well, there needs to be a guarantee that the time of watering and the amount of water sprinkled are done correctly. Therefore, this paper proposes an automatic plant watering system based on IoT (internet of things) and humidity control of plant growing media. The proposed method uses a handphone (device) as a communication medium between the system and the user. To detect the humidity of the planting medium, a capacitive type soil moisture sensor is used to ensure that watering is carried out according to the plant's needs. Meanwhile, to set the watering time, the RTC component is used so that it allows users to regulate the amount and time of watering carried out. Meanwhile, to regulate the water flow, relay and valve are used which are driven by a solenoid to regulate the flow of the flushing water. As the main control system, Arduino Uno R3 is used as the main control component of the system. Meanwhile, for power requirements, the proposed system uses 2 DC voltage levels, namely 5 V and 12 V.

Keywords: Automatic plant watering, soil moisture sensor, Arduino Uno R3, IoT

1. Pendahuluan

Pemanasan global yang disebabkan oleh peningkatan polusi gas rumah kaca karbon dioksida (CO₂) di udara menjadi salah satu permasalahan yang menjadi banyak perhatian publik sampai saat ini. Sebagai salah satu bentuk antisipasi dan bukti peran aktif Indonesia terkait permasalahan tersebut, Pemerintah Indonesia telah mencanangkan target *Net Zero Emission* (NZE) pada tahun 2060 atau lebih cepat [1]. Untuk mencapai target tersebut, salah satu strategi yang diterapkan oleh

pemerintah Indonesia adalah dengan melakukan revisi terkait kebijakan di bidang energi. Hal ini tidak terlepas dari fakta bahwa sektor energi merupakan salah satu sektor yang berpotensi menghasilkan emisi gas buang yang terbesar.

Selanjutnya, bagaimana langkah mengurangi emisi gas rumah kaca yang sudah terlanjur dilepaskan ke udara? Salah satu langkah yang dapat dilakukan adalah dengan menerapkan mekanisme penangkapan gas CO₂ di udara. Salah satu metode penangkapan CO₂ di udara yang sangat ramah dengan lingkungan adalah dengan menggunakan proses alami tumbuhan atau tanaman yaitu fotosintesis. Selain manfaat penangkapan gas CO₂ di udara, proses ini juga memberikan manfaat ganda berupa hasil tambahan yang dihasilkan tanaman tersebut. Oleh karena itu metode ini dianggap memiliki keuntungan baik dilihat dari sisi ekonomi maupun lingkungan [2].

Di sisi lain, dengan semakin meningkatnya jumlah penduduk dan adanya tuntutan perkembangan kehidupan dan kemajuan teknologi di daerah, khususnya perkotaan, menyebabkan lahan untuk tanaman juga berkurang dan banyak dialih fungsikan menjadi lahan non pertanian, seperti perumahan dan industri [3]. Selain itu, dengan tingkat kesibukan penduduk perkotaan yang sangat tinggi, pemeliharaan tanaman menjadi salah satu kendala bagi pemilik lahan tanaman di perkotaan. Oleh karena itu, perlu adanya suatu teknologi yang *user friendly* yang dapat memudahkan manusia untuk tetap dapat mengoptimalkan pemeliharaan dan perawatan tanaman di tengah kesibukan yang sangat padat selain ketersediaan lahan yang terbatas juga. Harapannya, meskipun dengan lahan yang minimal dan kesibukan pemilik atau penanggung jawab pihak pemeliharaan/perawatan tanaman, tumbuh kembang tanaman dapat terjamin dengan baik.

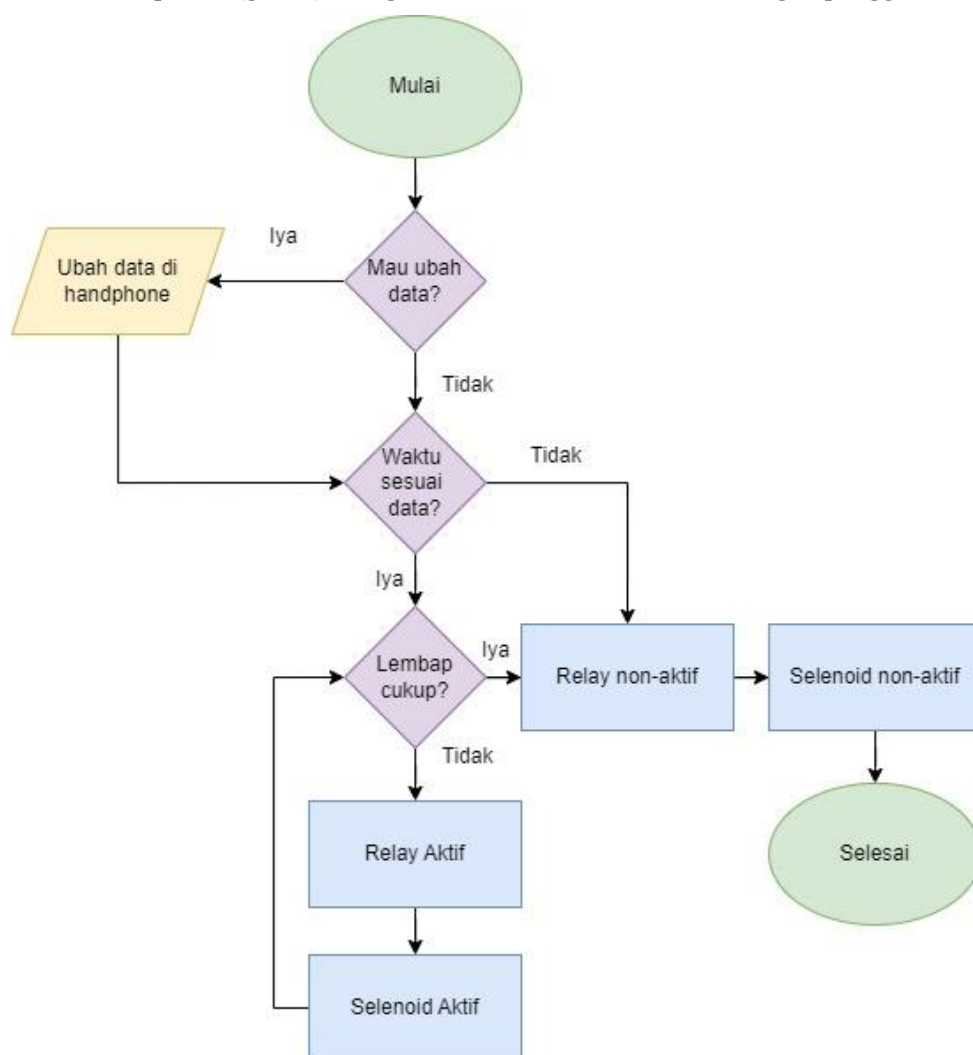
Secara umum, ada beberapa langkah penting dalam perawatan tanaman agar tanaman dapat tumbuh dengan baik, diantaranya [4]:

1. Pemilihan media tanam yang tepat
2. Pemilihan tempat penanaman
3. Pemilihan tanaman yang tepat
4. Pemberian sinar matahari yang cukup
5. Penyiraman tanaman yang tepat
6. Pengaturan suhu dan kelembapan tanaman
7. Pengendalian hama untuk memastikan tanaman terbebas dari hama
8. Penggunaan pupuk yang tepat
9. Penjagaan kesehatan lingkungan sekitar tanaman

Berdasarkan langkah-langkah di atas, terdapat langkah yang bersifat rutin secara harian yang harus dilakukan, yaitu penyiraman tanaman. Pada umumnya penyiraman tanaman dilakukan sehari dua kali, yaitu di waktu pagi hari dan juga sore hari [5]. Beberapa usulan terkait penyiraman tanaman secara otomatis atau *smart farming* telah banyak diusulkan para peneliti [5-8]. Dua poin penting terkait penyiraman tanaman secara otomatis ini adalah bagaimana menjamin bahwa waktu penyiraman dan berapa volume air yang diperlukan untuk disiramkan ke tanaman adalah tepat [5]. Makalah ini mengusulkan pemanfaatan teknologi *internet of things* (IoT) sebagai alat bantu sebagai implementasi langkah penyiraman tanaman yang tepat sekaligus pengaturan tingkat kelembapan tanaman untuk menjamin tanaman dapat tumbuh dengan baik. Tingkat kelembapan media tanam tanaman yang baik berkisar di nilai 60 – 80% [7]. Untuk menjamin bahwa waktu penyiraman dan berapa volume air yang diperlukan untuk disiramkan ke tanaman setepat mungkin, digunakan sensor kelembapan tipe kapasitif untuk mendeteksi tingkat kelembapan media tanah tanaman. Sedangkan untuk mengatur volume air yang disiramkan, digunakan katup air yang digerakkan oleh relai untuk mengatur aliran air penyiraman.

2. Metode Penelitian

Secara umum, prinsip kerja sistem penyiram otomatis yang diusulkan diperlihatkan di Gambar 1. Pada langkah awal, pengguna diberi kesempatan untuk melakukan pengaturan waktu penyiraman. Sebagaimana disampaikan pada pembahasan sebelumnya, pada umumnya penyiraman dilakukan dua kali dalam sehari, yaitu di waktu pagi hari dan di waktu sore hari. Pada metode yang diusulkan, pengguna dapat mengatur waktu penyiraman lebih dari dua kali sehari, misalnya tiga kali sehari (pagi, siang dan sore). Pengaturan waktu penyiraman dapat dilakukan via *handphone* (gawai) sebagai media komunikasi sistem dengan pengguna.



Gambar 1. Diagram alir usulan sistem penyiraman tanaman otomatis.

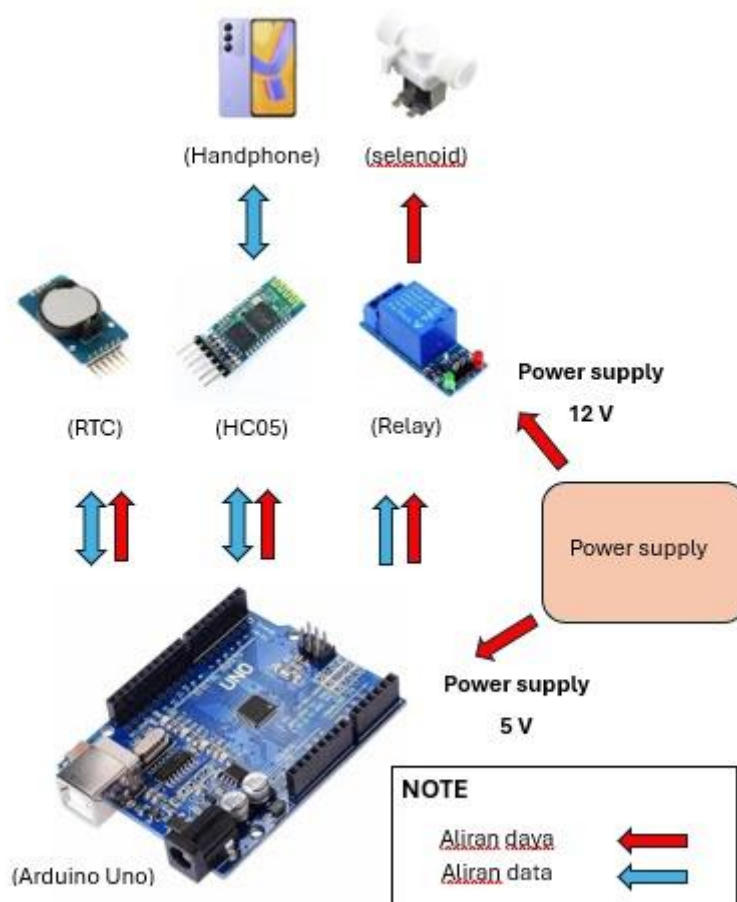
Setelah pengguna melakukan pengaturan waktu penyiraman, sistem akan bekerja berdasarkan waktu pengaturan tersebut untuk melakukan penyiraman tanaman. Untuk menjamin bahwa penyiraman yang dilakukan sesuai dengan kebutuhan tanaman, sistem dilengkapi dengan sensor kelembapan tipe kapasitif untuk mendeteksi apakah media tanam tanaman benar-benar memerlukan penyiraman berdasarkan pembacaan kondisi aktual kelembapan media tanam tanaman tersebut. Jika ternyata pada saat pengecekan tersebut, kelembapan media tanam tanaman masih pada batas kelembapan yang ditentukan (dapat diatur oleh pengguna), maka sistem tidak akan memberikan perintah penyiraman atau relay tetap pada kondisi non aktif (status OFF) sehingga solenoid sebagai penggerak katup penyiraman pun tetap pada kondisi tidak aktif (status OFF). Hal sebaliknya jika pengecekan kelembapan menghasilkan bahwa nilai kelembapan media

tanam tanaman berada ada nilai di bawah batas yang sudah ditentukan, maka sistem akan memberikan perintah ON ke relai yang selanjutnya akan memerintak solenoid untuk aktif dan secara otomatis katup akan terbuka atau proses penyiraman berada pada kondisi aktif.

3. Hasil dan Pembahasan

Aliran daya dan data (instruksi) sistem penyiraman otomatis diperlihatkan pada Gambar 2. Panah berwarna merah menunjukkan aliran daya listrik ke setiap komponen sistem. Sedangkan panah berwarna biru memperlihatkan aliran instruksi yang diberikan ke komponen sistem. Gawai (*handpone*) berperan sebagai media komunikasi sistem dengan pengguna. Komponen HC05 merupakan sensor kelembapan tipe kapasif yang digunakan untuk mengecek kondisi kelembapan media tanam tanaman. Untuk pengaturan waktu, digunakan *timer* RTC sebagai komponen pengendali waktu. Sedangkan sebagai komponen kendali utama digunakan *Arduino Uno R3*.

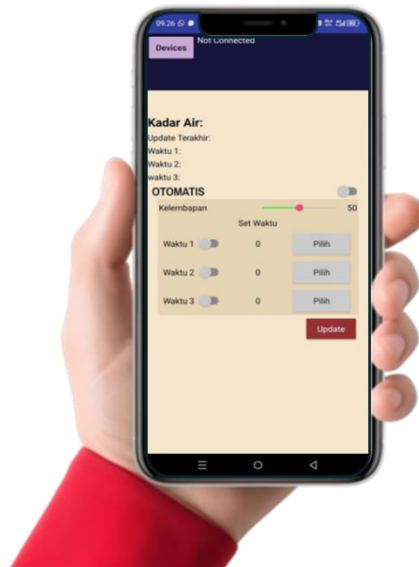
Untuk sistem daya (*power supply*), digunakan sumber daya yang mampu menyuplai daya dengan level tegangan 5 V dan 12 V. Level tegangan 5 V digunakan untuk menyuplai kebutuhan daya *Arduino Uno R3* agar dapat bekerja secara optimal. Sedangkan level tegangan 12 V diperuntukan untuk menyuplai kebutuhan daya relai sekaligus solenoid untuk menggerakkan katup air.



Gambar 2. Skema implementasi sistem.

Di sisi media komunikasi (gawai) yang digunakan pengguna, tampilan sistem yang diusulkan diperlihatkan pada Gambar 3. Sistem memberikan kesempatan kepada pengguna untuk mengatur atau men-set tingkat kelembapan yang diharapkan dengan menggeser menu tombol geser *kelembapan* di layar gawai. Sedangkan untuk mengatur waktu penyiraman pengguna dapat

melakukan waktu pengaturan dengan meng-*input*-kan waktu penyiraman yang sesuai dengan mengaktifkan waktu penyiraman dan memilih waktu yang dikehendaki. Setelah pengaturan dilakukan, maka sistem dapat bekerja secara otomatis.



Gambar 3. Tampilan di sisi pengguna.

4. Kesimpulan

Pada makalah ini telah diusulkan sebuah sistem penyiraman tanaman otomatis berbasis IoT dan kendali kelembapan media tanam tanaman. Metode yang diusulkan menggunakan gawai sebagai media komunikasi antara sistem dengan pengguna. Untuk mendeteksi kelembapan media tanam, digunakan sensor kelembapan tanah tipe kapasitif untuk menjamin penyiraman yang dilakukan sesuai dengan kebutuhan tanaman. Sedangkan untuk pengaturan waktu penyiraman digunakan komponen RTC sehingga memungkinkan pengguna mengatur jumlah sekaligus waktu penyiraman yang dilakukan. Sedangkan untuk mengatur aliran air, digunakan relai dan katup yang digerakkan solenoid untuk mengatur aliran air siraman. Sebagai kendali utama sistem, digunakan *Arduino Uno R3* sebagai komponen pengatur utama sistem. Sedangkan untuk kebutuhan daya, sistem yang diusulkan menggunakan 2 level tegangan DC, yaitu 5 V dan 12 V.

Referensi

- [1] Direktorat Jenderal ENergi Baru Terbarukan dan Konvservasi Energi (EBTKE), "Sekjen ESDM Beber Strategi Kejar Target Emisi Nol Bersih," [https://ebtke.esdm.go.id/post/2023/10/02/3607/sekjen.esdm.beber.strategi.kejar.targ et.emisi.nol.bersih?lang=en](https://ebtke.esdm.go.id/post/2023/10/02/3607/sekjen.esdm.beber.strategi.kejar.target.emisi.nol.bersih?lang=en), tanggal akses, 10 September 2024
- [2] A. Bose, R. O'Shea, S. De, and J. D. Murphy, "Carbon Capture by Photosynthesis of Plants," *Encyclopedia of Renewable Energy, Sustainability and the Environment*, Vol. 4, 2024, pp. 881-894.
- [3] Suryani, R. Nurjasm, dan R. Fitri, "Pemanfaatan Lahan Sempit Perkotaan Untuk Kemandirian Pangan Keluarga," *Jurnal Ilmiah Respati*, Vol. 11, No. 2, Desember 2020, hal. 93-102.
- [4] SMA Negeri 1 Sleman, "Merawat Tanaman agar tumbuh subur," , tanggal akses: 10 September 2024, <https://sman1sleman.sch.id/merawat-tanaman-agar-tumbuh-subur/>
- [5] D. Divani, P. Patil, and S. K. Punjabi, "Automated Plant Watering System," 2016

- International Conference on Computation of Power, Energy Information and Communication (ICCPEIC), Chennai, India, 20-21 April 2016,
- [6] M. Rahman, Md S. R. Kohinoor, and A. A. Sami, “Enhancing Poultry Farm Productivity Using IoTBased Smart Farming Automation System, “2023 26th International Conference on Computer and Information Technology (ICCIT), Cox’s Bazar, Bangladesh, 13-15 December, 2023
 - [7] F. M. S. Nursuwars, R. Rianto, dan D. G. Sujana, “IoT: Kelembaban Tanah dan Suhu Ruang sebagai Parameter Sistem Otomatis Penyiraman Air Bawah dan Atas Tanah, “Jurnal Transistor Elektro dan Informatika, Vol. 2 No. 3, 2018
 - [8] S. F. P. D. Musa, “A Qualitative Review of Smart Farming in ASEAN,” 2023 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), Singapore, 18-21 Dec., 2023

Kalibrasi ADC Berbasis Ambang Batas dan Penyempurnaan Algoritmik dalam Robot Pengikut Garis

Threshold-Based ADC Calibration and Algorithmic Refinement in Line Follower Robots

Raihan Nurhakim¹, Fadlika Ardiansyah², Muhammad Adli Rizqulloh^{3*}

^{1,2,3} Pendidikan Teknik Otomasi Industri Dan Robotika, Fakultas Pendidikan Teknologi Dan Industri
Universitas Pendidikan Indonesia

Jl. Dr. Setiabudhi No.299 Bandung 40154 Jawa Barat – Indonesia Telp. 022-2013163

raihaannurhakim@upi.edu¹, fadlikaardiansyah@upi.edu², Muhammad.adli.riz@upi.edu^{3*}

Abstrak – Penelitian ini mengkaji perancangan dan implementasi algoritma penentuan ambang batas pada sensor infrared untuk robot pengikut garis. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan akurasi pendeteksian jalur robot dalam berbagai kondisi pencahayaan, serta menyempurnakan respon robot terhadap perubahan posisi dan intensitas cahaya. Sistem ini menggunakan kalibrasi ADC (Analog-to-Digital Converter) berbasis ambang batas untuk mengoptimalkan kinerja sensor. Hasil pengujian menunjukkan bahwa robot mampu beroperasi dengan baik pada kondisi pencahayaan terang (610 Lux) hingga redup (420 Lux), dengan nilai ADC yang bervariasi berdasarkan gerakan robot, seperti bergerak maju, berbelok, dan berhenti. Algoritma yang diimplementasikan memungkinkan penyesuaian secara real-time terhadap nilai sensor, meningkatkan kemampuan robot untuk mengikuti jalur dengan akurat. Dengan demikian, metode kalibrasi dan perancangan algoritma yang diterapkan terbukti efektif dalam menjaga performa robot pengikut garis di berbagai kondisi lingkungan.

Kata Kunci: Kalibrasi ADC, Ambang Batas Robot, Pengikut Garis Sensor Infrared, Algoritma Kontrol Penyempurnaan Sistem.

Abstract – This study examines the design and implementation of a threshold determination algorithm for infrared sensors for line-following robots. The main goal of this study is to improve the accuracy of robot path detection in various lighting conditions, as well as improve the robot's response to changes in light position and intensity. The system uses threshold-based ADC (Analog-to-Digital Converter) calibration to optimize sensor performance. The test results show that the robot is able to operate well in bright (610 Lux) to dim (420 Lux) lighting conditions, with ADC values varying based on the robot's movements, such as moving forward, turning, and stopping. The implemented algorithm allows for real-time adjustments to the sensor values, improving the robot's ability to follow the path accurately. Thus, the calibration method and algorithm design applied have proven to be effective in maintaining robot.

Keywords: ADC calibration, robot threshold, infrared sensor line follower, system enhancement control algorithm.

1. Pendahuluan

Teknologi robotika terus berkembang pesat [1], [2] dan memberikan kontribusi signifikan dalam berbagai aspek kehidupan, salah satunya adalah dalam bidang otomatisasi [3]. Line follower adalah salah satu jenis robot yang dirancang untuk mengikuti jalur atau garis tertentu secara otomatis. Robot ini banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti sistem transportasi otomatis, industri manufaktur, dan pendidikan. Pentingnya penelitian ini terletak pada



pengembangan algoritma yang tepat dan efisiensi dalam pemrosesan sinyal dari sensor-sensor yang digunakan untuk mendeteksi jalur.

Banyak penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan kinerja robot line follower, dengan fokus pada berbagai pendekatan yang dapat mengoptimalkan kemampuan robot dalam mengikuti jalur. Saat ini, metode yang paling banyak digunakan mencakup kontrol PID, logika fuzzy, dan algoritma optimasi. Metode-metode ini dikenal karena efisiensinya dalam menghadapi tantangan yang berbeda dalam lingkungan robotik.

Kontrol PID, misalnya, dikenal karena kemampuannya dalam menyesuaikan parameter kontrol secara dinamis berdasarkan umpan balik dari sensor, yang memungkinkan robot untuk mengikuti jalur dengan lebih stabil. Penelitian [4], [5] [6] menunjukkan bahwa penggunaan PID dalam kontrol robot line follower secara signifikan meningkatkan stabilitas dan mengurangi deviasi jalur pada berbagai kondisi permukaan. Selain itu, kemajuan terbaru dalam teknik tuning PID otomatis semakin memperluas aplikasi metode ini dalam sistem robotik. Sementara itu, terdapat penelitian tentang penerapan logika fuzzy untuk memperoleh respons akselerometer yang baik dan tanpa gangguan pada robot line follower. Penelitian yang dilakukan oleh Ali Sanjaya dkk. dengan judul "Memanfaatkan Metode Logika Fuzzy Bersama dengan Akselerometer dan Giroskop" menunjukkan bahwa robot berhasil menyeimbangkan dirinya sendiri meskipun terdapat gangguan [7]. Logika fuzzy terus mendapatkan perhatian karena fleksibilitasnya dalam menghadapi ketidakpastian sistem, yang memungkinkan respons kontrol lebih adaptif pada kondisi lingkungan yang dinamis. Di sisi lain, metode optimasi seperti Ant Colony Optimization (ACO) dan Algoritma Bellman-Ford telah diterapkan untuk meningkatkan efisiensi pencarian jalur terpendek pada robot mobile [8]. Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan metode ACO berhasil memungkinkan robot untuk secara akurat menentukan jalur terpendek. Percobaan sebanyak 20 kali menghasilkan jalur optimal dengan panjang total 213 cm, probabilitas 3,239, dan waktu tempuh sekitar 14 hingga 17 detik. Hasil ini menegaskan peran penting ACO dalam pengambilan keputusan navigasi di persimpangan jalan yang kompleks. ACO dan algoritma optimasi lainnya seperti Particle Swarm Optimization (PSO) kini menjadi pilihan populer dalam mengatasi permasalahan navigasi berbasis pencarian jalur terpendek dan optimasi lintasan. Selain itu, Algoritma Bellman-Ford juga terbukti sebagai alternatif yang efektif, dengan kemampuannya menghasilkan total jarak dari titik awal hingga tujuan. Kombinasi dari algoritma optimasi dengan kecerdasan buatan seperti pembelajaran mesin (machine learning) juga mulai diterapkan secara luas, menunjukkan potensi dalam meningkatkan efisiensi dan kinerja robot line follower secara keseluruhan.

Namun, pada penelitian ini, fokus utama adalah pada kalibrasi ADC berbasis ambang batas dan penyempurnaan algoritmik dalam robot pengikut garis. Pendekatan ini diharapkan dapat memberikan peningkatan pada deteksi sensorik dan pengambilan keputusan robot saat mengikuti jalur, terutama dalam kondisi lingkungan yang dinamis. Kalibrasi berbasis ambang batas memungkinkan sensor untuk bekerja dengan lebih akurat dalam mendeteksi perubahan intensitas garis, sementara penyempurnaan algoritmik bertujuan meningkatkan respons sistem dalam berbagai skenario operasional. Dengan pendekatan ini, penelitian ini berupaya memberikan solusi yang lebih optimal dalam meningkatkan kinerja robot line follower dibandingkan metode yang ada.

2. Metode Penelitian

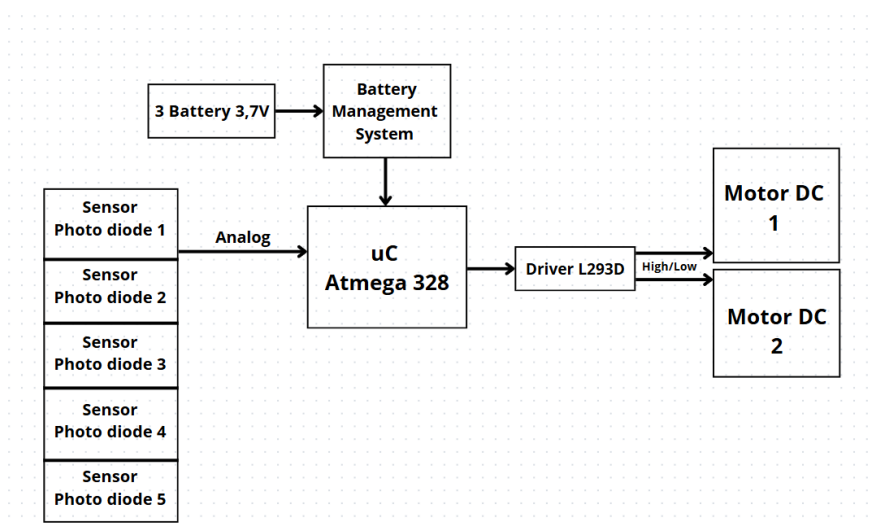
Penelitian ini memfokuskan pada dua aspek utama. Pertama, penelitian ini mengkaji perancangan sistem sensor infrared untuk pembacaan ADC (Analog-to-Digital Converter) pada robot line follower. Fokus utama pada bagian ini adalah bagaimana sensor infrared dapat digunakan secara efektif untuk mengukur nilai ADC, yang merupakan kunci dalam mendeteksi garis dan menentukan posisi robot. Kedua, penelitian ini mengevaluasi sistem yang dirancang, khususnya algoritma kode yang diterapkan, untuk memastikan bahwa robot line follower

berfungsi dengan tepat sesuai dengan tujuannya. Hal ini mencakup pengujian dan penyempurnaan algoritma agar robot dapat mengikuti garis dengan akurat dan efisien.

2.1. Sistem Line Follower

Robot line follower (LF) merupakan robot yang dapat bergerak secara otomatis tanpa intervensi manusia, namun tetap membutuhkan panduan berupa garis. Prinsip kerja dasar dari robot line follower adalah mendeteksi perbedaan antara warna gelap dan terang pada permukaan lantai atau arena [9], [10]. Warna gelap, seperti hitam, biasanya tidak memantulkan cahaya, sementara warna terang, seperti putih, mampu memantulkan cahaya. Perbedaan ini digunakan sebagai panduan bagi robot line follower untuk mengikuti jalur yang telah ditentukan. Robot jenis ini terbagi menjadi dua kategori utama, yaitu line follower analog dan digital. Line follower analog adalah robot yang tidak memerlukan pemrograman berbasis software, sedangkan line follower digital menggunakan software dalam proses pemrogramannya.

Sistem robot line follower terdiri dari beberapa komponen utama yang bekerja secara sinergis untuk mendeteksi dan mengikuti garis pada permukaan. Blok diagram pada Gambar 1. menunjukkan sistem robot line follower yang menggunakan mikrokontroler ATmega 328 sebagai pusat kendali, dengan beberapa komponen penting yang terhubung secara langsung. Sistem robot line follower ini ditenagai oleh tiga baterai berkapasitas 3.7V yang terhubung secara seri, sehingga menghasilkan total tegangan 11.1V ($3.7V \times 3$). Baterai-baterai ini kemudian terhubung ke Battery Management System (BMS) yang bertugas mengatur distribusi daya secara efisien, melindungi komponen dari kerusakan akibat kelebihan beban, serta memastikan pengoperasian yang optimal. Mikrokontroler ATmega 328 bertindak sebagai pusat kendali dari seluruh sistem, menerima input dari lima sensor photodiode yang mendeteksi perbedaan intensitas cahaya antara garis hitam dan putih pada permukaan. Data dari sensor-sensor ini kemudian diproses oleh mikrokontroler untuk menentukan arah dan kecepatan robot. Sinyal output dari mikrokontroler dikirim dalam bentuk sinyal high/low ke dua motor DC yang berfungsi menggerakkan robot. Kombinasi pengaturan pada motor ini memungkinkan robot untuk bergerak maju, berbelok, atau menyesuaikan arah sesuai dengan data yang diterima dari sensor.



Gambar 14. Blok diagram sistem

2.2. Perancangan Sensor Garis

Sensor adalah perangkat yang berfungsi mengubah besaran fisik menjadi besaran listrik, sehingga informasi tersebut dapat dianalisis dengan menggunakan rangkaian listrik tertentu. Dalam perancangan ini, jenis sensor yang digunakan adalah sensor infrared, yang terdiri dari dua komponen utama: infrared transmitter dan infrared receiver. Infrared transmitter berfungsi

sebagai pemancar cahaya infrared, sedangkan infrared receiver berfungsi untuk menerima cahaya yang dipantulkan oleh objek atau permukaan di sekitarnya.

Spesifikasi dari infrared transmitter dan infrared receiver yang ditampilkan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Infrared transmitter yang digunakan memerlukan tegangan maju 1.2V sampai 1.45V, serta memiliki konsumsi arus maksimal sebesar 100mA. Sedangkan infrared receiver memiliki spesifikasi sebagai berikut: photocurrent sebesar 4 μ A (mikroampere), yaitu arus yang dihasilkan receiver ketika terkena cahaya infrared, dan dark current sebesar 10 nA (nanoampere), yaitu arus kecil yang ada ketika tidak ada cahaya. Dark current ini tidak perlu dipertimbangkan dalam perhitungan resistor normal.

Tabel 1. Spesifikasi Sensor Transmitter

No	Nama Spesifikasi	Detail
1	Type	IR
2	Wavelength	850nm – 940nm
3	Voltage - Forward (Vf) (Typ)	1.2V – 1.45V
4	Current - DC Forward (If) (Max)	100mA
5	Viewing Angle	20 – 60
6	Mounting Type	Through Hole

Tabel 2. Spesifikasi Sensor Receiver

No	Nama Spesifikasi	Detail
1	Peak Wavelength	940 nm
2	Dark Current	10 nA
3	Vr - Reverse Voltage	32V
4	Rise Time	6 ns
5	Fall Time	6ns Maximum
6	Operating Temperature	+85°C Minimum
7	Operating Temperature	-25°C Pd - Power
8	Dissipation	150 mW
9	Photocurrent	4 μ A

Dalam rancangan sensor pembacaan permukaan, dibutuhkan resistor tertentu untuk mengoptimalkan pembacaan. Untuk menentukan nilai resistor yang terhubung dengan infrared transmitter, digunakan persamaan berikut:

Pertama tentukan tegangan resistor (V_{res}):

$$V_{res} = V_{dc} - V_f \quad (1)$$

Dengan sumber tegangan (V_{dc}) sebesar 5V dan tegangan maju (V_f) sebesar 1,35V (nilai rata-rata), maka:

$$V_{res} = 5V - 1,35V = 3,65V \quad (2)$$

Kemudian, hitung nilai resistor menggunakan hukum Ohm:

$$R = \frac{V_{res}}{I} \quad (3)$$

Dengan arus maksimum (I_f) sebesar 0,1A (100mA), maka:

$$R = \frac{3,65V}{0,1A} = 365\Omega \quad (4)$$

Nilai resistor yang terhitung adalah 36,5 Ω . Anda dapat memilih resistor dengan nilai mendekati 36,5 Ω , atau memilih resistor dengan nilai 100 Ω , yang lebih umum tersedia di pasaran. Selanjutnya, tentukan resistor untuk bagian yang terhubung dengan receiver. Resistor yang terhubung dengan infrared receiver tidak perlu dihitung berdasarkan tegangan resistor dari arus biasa. Sebaliknya, kita menggunakan arus photocurrent untuk menentukan nilai resistor.

Untuk receiver, kita lebih fokus pada sinyal yang diterima dan bagaimana sinyal tersebut diproses. Receiver menghasilkan photocurrent yang sangat kecil (4 μA dalam hal ini), dan kita perlu memilih resistor yang sesuai untuk menurunkan tegangan dengan cara yang memungkinkan sinyal dari receiver dapat diproses oleh rangkaian berikutnya. Nilai tegangan resistor (V_{res}) yang digunakan adalah nilai target berdasarkan desain sistem untuk memproses sinyal dengan baik. Jadi, untuk menemukan nilai resistor ditentukan dengan langkah-langkah berikut:

Pertama tentukan tegangan Resistor (V_{res}):

Pilih nilai tegangan drop yang memadai berdasarkan desain sistem. Misalnya, jika kita ingin resistor menurunkan tegangan sebesar 1V untuk pemrosesan sinyal.

Lalu hitung nilai resistor menggunakan hukum Ohm:

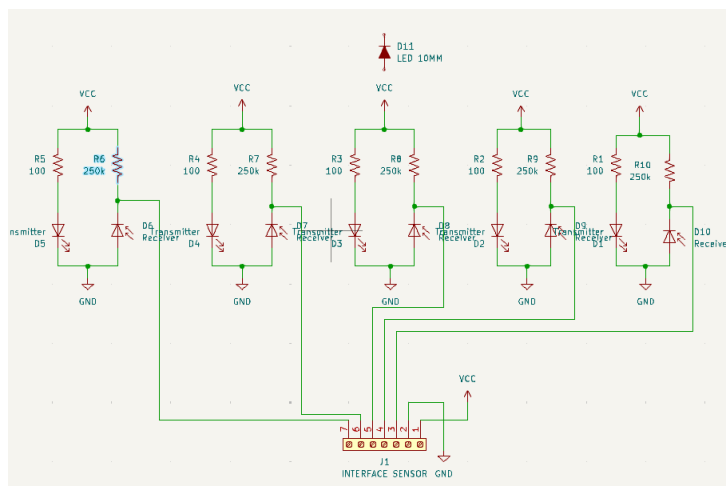
$$R = \frac{1V}{4 \times 10^{-6}A} = 250k\Omega \quad (5)$$

Nilai resistor yang terhitung adalah 250 k Ω . Anda dapat memilih resistor dengan nilai mendekati 250 k Ω dari komponen yang tersedia di pasaran, seperti 220 k Ω atau 330 k Ω .

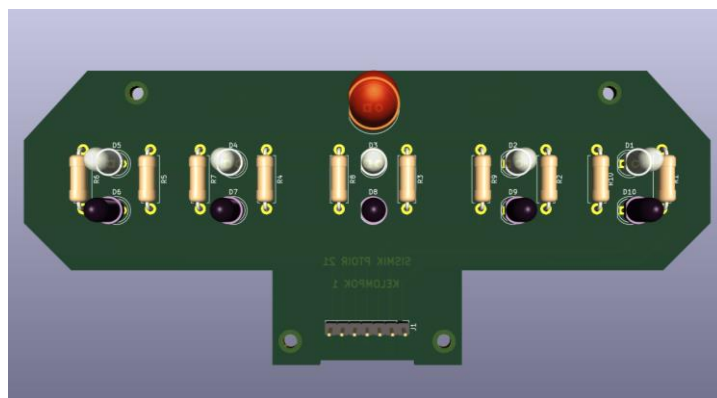
Setelah nilai resistor ditemukan, langkah selanjutnya adalah menyusun rancangan sesuai dengan nilai yang telah dihitung. Dalam rancangan ini, digunakan resistor dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Resistor sebesar 100 Ω yang terhubung dengan infrared transmitter.
- Resistor sebesar 250 k Ω yang terhubung dengan infrared receiver.

Skematik rancangan ditampilkan pada Gambar 2, yang menunjukkan konfigurasi komponen dalam sistem sensor. Kemudian detail desain PCB, yang ditampilkan pada Gambar 3, mengilustrasikan bahwa infrared transmitter ditempatkan di bagian depan, sementara infrared receiver berada di bagian belakang untuk pembacaan permukaan. Sistem ini terdiri dari lima sensor yang diletakkan sejajar. Output dari masing-masing sensor dihubungkan ke mikrokontroler Atmega328 pada pin analog untuk diolah menggunakan ADC. Kemudian, terdapat sebuah LED berukuran 10 mm yang berfungsi sebagai penyangga untuk menjaga jarak tetap antara infrared dan permukaan. Tujuan penggunaan penyangga ini adalah agar infrared dapat mempertahankan jarak optimal dalam tugasnya membaca permukaan dengan akurat.



Gambar 15 Konfigurasi skematik rancangan sesor



Gambar 16 Design PCB Sensor Pembacaan ADC

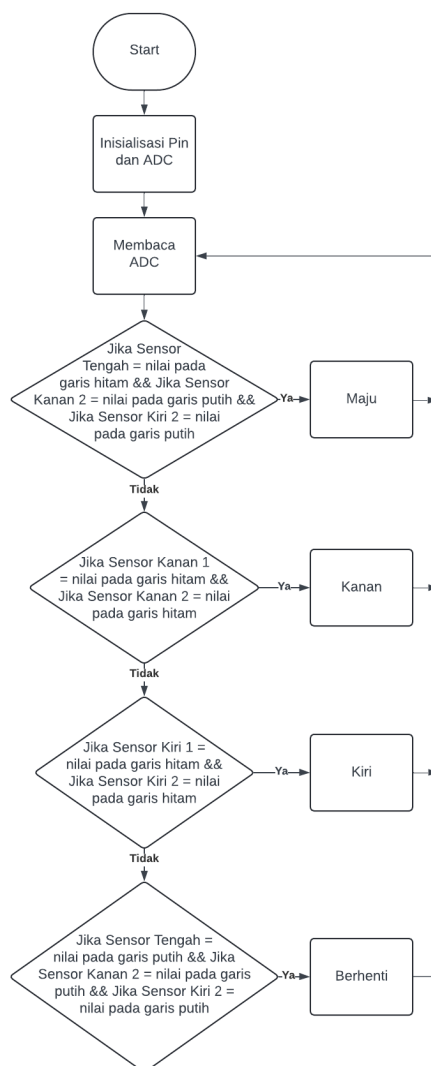
2.3. Perancangan Algoritma Robot Line Follower

Alur flowchart dari line follower yang dikembangkan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4. Berdasarkan flowchart tersebut, setelah sistem dimulai, mikrokontroler akan menginisialisasi port dan ADC. Setelah inisialisasi, dalam loop utama, mikrokontroler membaca nilai dari lima sensor yang terhubung. Berdasarkan nilai yang diperoleh dari sensor, mikrokontroler akan menentukan tindakan yang sesuai: maju, berhenti, belok kanan, atau belok kiri. Proses ini akan terus berlangsung selama sistem aktif, memastikan bahwa robot bergerak sesuai dengan informasi yang diterima dari sensor.

Program dirancang untuk tetap berada dalam loop utama, mengontrol gerakan robot secara berkelanjutan berdasarkan pembacaan sensor. Flowchart ini menggambarkan alur kerja sistem yang menggunakan sensor untuk mendeteksi garis hitam dan putih, kemudian menentukan tindakan robot berdasarkan hasil deteksi tersebut.

Proses dimulai dengan inisialisasi pin dan ADC (Analog-to-Digital Converter) untuk memungkinkan sistem membaca data dari sensor. Setelah itu, sistem membaca nilai ADC dari sensor yang telah diinisialisasi. Berdasarkan data yang diperoleh, sistem akan mengambil keputusan. Misalnya, jika sensor tengah mendeteksi garis hitam dan kedua sensor di kanan serta kiri mendeteksi garis putih, robot akan bergerak maju. Jika kedua sensor di kanan mendeteksi garis hitam, robot akan berbelok ke kanan. Jika kedua sensor di kiri mendeteksi garis hitam, robot akan berbelok ke kiri. Namun, jika semua sensor mendeteksi garis putih, robot akan berhenti.

Setelah setiap keputusan diambil, sistem akan mengulang proses dengan membaca kembali nilai ADC, menciptakan siklus yang terus berulang hingga sistem dihentikan.



Gambar 17. Alur Sistem Line Follower

3. Hasil dan Pembahasan

Pada bagian ini, hasil dari pengujian robot line follower yang telah dirancang dan diimplementasikan dijelaskan secara rinci. Pengujian dilakukan dengan mengukur respons sensor di berbagai kondisi pencahayaan (terang, sedang, dan redup) serta pada berbagai posisi pergerakan robot (maju, belok kanan, belok kiri, dan berhenti). Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi keandalan sensor dalam mendeteksi garis hitam di berbagai skenario lingkungan.

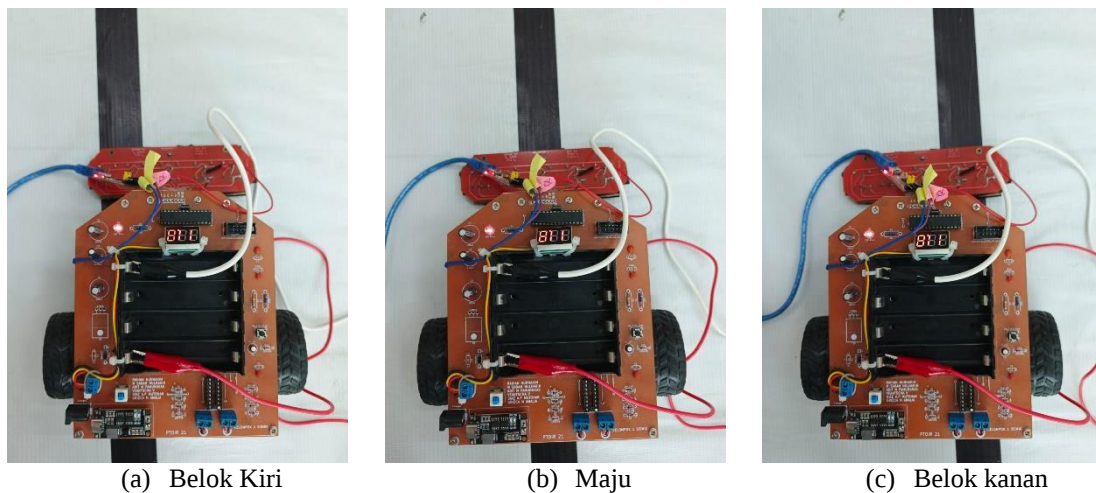
Pengujian dilakukan dengan tujuan untuk melihat seberapa responsif sensor terhadap perubahan permukaan yang terdeteksi, dan bagaimana variasi pencahayaan mempengaruhi pembacaan sensor serta keputusan yang diambil oleh sistem kontrol robot. Hal ini penting karena robot line follower sering beroperasi di lingkungan yang pencahayaannya tidak selalu seragam. Data hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel untuk memberikan gambaran yang lebih jelas tentang performa sistem, serta bagaimana setiap sensor berkontribusi dalam pengambilan keputusan arah pergerakan robot.

Pengujian pembacaan nilai ADC pada sensor line follower dilakukan dengan mempertimbangkan dua variabel yang akan diubah beberapa kali, yaitu posisi pembacaan sensor dan kondisi pencahayaan ruangan. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan sensor dapat mendeteksi garis dengan akurat dalam berbagai skenario.

Pengujian posisi sensor dilakukan berdasarkan asumsi empat skenario utama, yaitu:

- Maju: Semua sensor berada di atas garis putih, robot bergerak lurus diperlihatkan pada Gambar 5(b).
- Belok Kanan: Sensor paling kanan mendeteksi garis hitam, yang diasumsikan sebagai sinyal untuk berbelok ke kanan diperlihatkan pada Gambar 5(c).
- Belok Kiri: Sensor paling kiri mendeteksi garis hitam, yang diasumsikan sebagai sinyal untuk berbelok ke kiri diperlihatkan pada Gambar 5(a).
- Berhenti: Semua sensor mendeteksi garis hitam, yang diasumsikan sebagai sinyal untuk menghentikan robot.

Gambar 5 (a-c) menggambarkan bagaimana setiap kondisi sensor diinterpretasikan dan bagaimana pergerakan robot disesuaikan dengan kondisi tersebut.



(a) Belok Kiri

(b) Maju

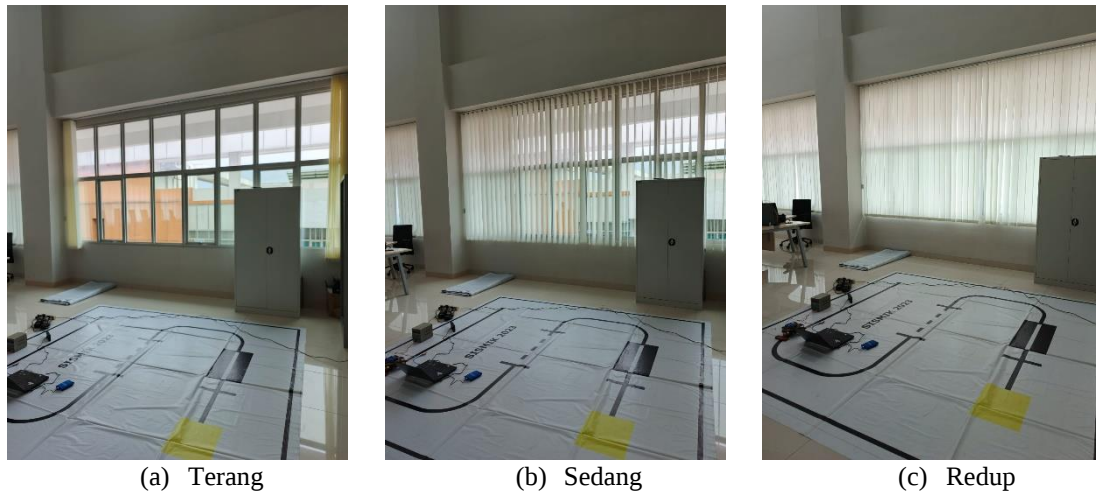
(c) Belok kanan

Gambar 18. Posisi pembacaan sensor terhadap permukaan

Kondisi pencahayaan ruangan juga divariasikan menjadi tiga mode untuk menguji sensitivitas sensor terhadap perubahan intensitas cahaya, yaitu:

- Terang: Tirai dibuka sepenuhnya, sehingga cahaya matahari masuk maksimal tanpa ada penghalang. Kondisi ini menyerupai situasi di siang hari dengan pencahayaan optimal diperlihatkan pada Gambar 6(a).
- Sedang: Tirai dibuka setengah, membiarkan cahaya masuk sebagian, sehingga ruangan berada dalam kondisi pencahayaan sedang diperlihatkan pada Gambar 6(b).
- Redup: Tirai ditutup sepenuhnya untuk memblokir cahaya dari luar semaksimal mungkin, meskipun siang hari, sehingga ruangan menjadi lebih gelap diperlihatkan pada Gambar 6(c).

Gambar 6 (a-c) menunjukkan pengujian sensor dalam setiap kondisi pencahayaan tersebut.



Gambar 6. Kondisi pencahayaan ruangan

Dengan memvariasikan beberapa kondisi, diperoleh hasil pengujian yang dirangkum dalam Tabel 3. Tabel hasil pengujian ini menunjukkan pembacaan lima sensor ADC pada berbagai posisi robot di bawah kondisi pencahayaan yang berbeda. Data yang disajikan mencakup nilai lux dari pencahayaan ruangan serta nilai output dari masing-masing sensor saat robot berada dalam posisi maju, berbelok, atau berhenti.

Tabel 3. Hasil Pengujian

No	Posisi Sensor Line Follower	Kondisi Pencahayaan	Nilai Lux Pada Ruangan	Nilai 5 Sensor ADC				
				ADC0	ADC1	ADC2	ADC3	ADC4
1	Maju	Terang	610Lux	832	907	925	996	927
2	Belok kanan	Terang	610Lux	811	987	990	929	924
3	Belok kiri	Terang	610Lux	960	908	919	930	994
4	Berhenti	Terang	610Lux	836	909	914	934	928
5	Maju	Sedang	420Lux	821	902	920	993	923
6	Belok kanan	Sedang	420Lux	845	990	988	925	917
7	Belok kiri	Sedang	420Lux	967	912	927	931	998
8	Berhenti	Sedang	420Lux	836	909	917	935	927
9	Maju	Redup	212Lux	860	907	926	998	927
10	Belok kanan	Redup	212Lux	854	990	968	928	927
11	Belok kiri	Redup	212Lux	940	912	921	931	995
12	Berhenti	Redup	212Lux	850	907	924	931	926

Berdasarkan hasil pengujian yang dirangkum dalam Tabel 3, terlihat bahwa setiap kondisi pencahayaan mempengaruhi pembacaan nilai ADC dari kelima sensor. Pengujian dilakukan pada tiga tingkat pencahayaan, yaitu terang, sedang, dan redup, dengan masing-masing skenario posisi robot: maju, berbelok kanan, berbelok kiri, dan berhenti.

Nilai lux yang tercatat dalam tabel mencerminkan intensitas cahaya di ruangan pada setiap kondisi, yang berpengaruh pada sensitivitas sensor dalam mendeteksi garis hitam. Pada

kondisi pencahayaan terang, pembacaan sensor lebih stabil dan konsisten, sedangkan pada kondisi redup, terdapat fluktuasi yang lebih besar pada nilai ADC.

Hasil pengujian ini memberikan pemahaman yang lebih jelas tentang bagaimana sensor berinteraksi dengan lingkungannya. Dengan menganalisis data ini, ambang batas (threshold) yang optimal dapat ditentukan, sehingga algoritma kontrol robot dapat menyesuaikan pergerakan robot dengan tepat, baik saat robot harus bergerak lurus, berbelok, maupun berhenti. Threshold yang tepat akan memungkinkan robot untuk berfungsi secara andal di berbagai kondisi pencahayaan dan lingkungan.

4. Kesimpulan

Penelitian ini telah berhasil menerapkan metode kalibrasi ADC berbasis ambang batas dan penyempurnaan algoritmik dalam robot pengikut garis. Dengan menggunakan sistem sensor infrared yang dikalibrasi secara tepat, robot dapat mendeteksi garis dengan lebih akurat di berbagai kondisi pencahayaan, termasuk terang, sedang, dan redup. Penggunaan ambang batas ADC memungkinkan sensor untuk bekerja dengan lebih efisien dalam membedakan antara permukaan gelap dan terang, yang sangat penting dalam pengambilan keputusan arah gerak robot. Algoritma yang dikembangkan juga mampu mengoptimalkan respons robot, baik ketika bergerak lurus, berbelok, maupun berhenti.

Pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu beradaptasi dengan kondisi lingkungan yang dinamis dan berbagai skenario pergerakan robot. Peningkatan akurasi dan efisiensi sistem ini menegaskan pentingnya kalibrasi sensor berbasis ambang batas dan penyempurnaan algoritmik dalam meningkatkan performa robot line follower. Hasil penelitian ini dapat menjadi acuan untuk pengembangan lebih lanjut dalam teknologi robotika, khususnya untuk robot yang bergantung pada sensorik presisi tinggi.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada dosen pengampu mata kuliah Sismik yang telah membimbing dan memberikan ilmu yang berharga selama perkuliahan. Saya juga mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan mahasiswa Pendidikan Teknik Otomasi Industri dan Robotika angkatan 21, khususnya kelompok satu, yaitu Raihan, Saddam, Veant, Grizca, Aditya, dan Diaz, yang telah bekerja sama sebagai tim yang solid. Berkat dukungan dan kerja keras semua pihak, penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

Referensi

- [1] F. Hartmann, M. Baumgartner, and M. Kaltenbrunner, "Becoming Sustainable, The New Frontier in Soft Robotics," *Adv. Mater.*, vol. 33, no. 19, 2021, doi: 10.1002/adma.202004413.
- [2] R. S. Batth, A. Nayyar, and A. Nagpal, "Internet of Robotic Things: Driving Intelligent Robotics of Future - Concept, Architecture, Applications and Technologies," *Proc. - 4th Int. Conf. Comput. Sci. ICCS 2018*, pp. 151–160, 2018, doi: 10.1109/ICCS.2018.00033.
- [3] D. A. Ayubi, D. A. Prasetya, and I. Mujahidin, "Pendeteksi Wajah Secara Real Time pada 2 Degree of Freedom (DOF) Kepala Robot Menggunakan Deep Integral Image Cascade," *Cyclotron*, vol. 3, no. 1, pp. 22–27, 2020, doi: 10.30651/cl.v3i1.4306.
- [4] A. S. Priambodo, A. Nasuha, and O. A. Dhewa, "Implementasi Integrasi dari Computer vision dan Kendali PID untuk Kendali Kecepatan Dinamis pada Robot Line follower Integrated Implementation of Computer vision and PID Control for Dynamic Speed Control of Line follower Robot," vol. 12, no. 1, 2024.
- [5] A. N. Albab and E. Rahmawati, "Rancang Bangun Sistem Navigasi Mobile Robot Berbasis Sensor Rotary Encoder Menggunakan Metode Odometri," *J. Inov. Fis. Indones.*, vol. 08, no. 2017, pp. 23–27, 2019.
- [6] I. Riyanto, L. Margatama, R. Rizkia, and E. Marantika, "Robot Forklift Line Follower

- dengan Kendali PID dan Sensor Warna,” *urnal Ilm. Teknol. Energi, Teknol. Media Komun. dan Instrumentasi Kendali.*, vol. 1, no. 1, pp. 8–16, 2021, [Online]. Available: <http://journal.univpancasila.ac.id/index.php/joule/>
- [7] A. Sanjaya, H. Mawengkang, S. Efendi, and M. Zarlis, “Stability of Line Follower Robots with Fuzzy Logic and Kalman Filter Methods,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1361, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1361/1/012016.
- [8] A. Ihsan, T. A. Adlie, and S. Harliansyah, “Optimalisasi Pencarian Jalur Terpendek Mobile Robot dengan Menggunakan Metode Ant Colony Optimization (ACO),” *Techné J. Ilm. Elektrotek.*, vol. 23, no. 1, pp. 39–54, 2024, doi: 10.31358/techne.v23i1.389.
- [9] R. T. Jurnal, “Simulasi Desain Skema Robot Line Follower Penyiram Tanaman Menggunakan Simulator Software Proteus 8,” *Petir*, vol. 10, no. 2, pp. 73–81, 2018, doi: 10.33322/petir.v10i2.26.
- [10] D. B. Susilo, H. Wibawanto, and A. Mulwinda, “Prototype Mesin Pengantar Barang Otomatis Menggunakan Load Cell Berbasis Robot Line Follower,” *J. Tek. Elektro*, vol. 10, no. 1, pp. 23–29, 2018, doi: 10.15294/jte.v10i1.12277.

Greengrow: Smart Greenhouse untuk Optimalisasi Budidaya Microgreen menggunakan Deep Learning

Greengrow: Smart Greenhouse for Optimizing Microgreen Cultivation Using Deep Learning

Rendi Bagus Siswoyo¹, Rossy Musdawiyah Anisa², Satria Alwan Dewantara³, Ryan Rachmadha Febriansyah⁴, Rin Rin Nurmallasari⁵

^{1,2,3,4,5}Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati

Jl. A. H Nasution No. 483, 0227800525

1217070071@student.uinsgd.ac.id¹, 1217070078@student.uinsgd.ac.id²,

1217070081@student.uinsgd.ac.id³, 1217070079@student.uinsgd.ac.id⁴, rinrinm@uinsgd.ac.id⁵

Abstrak – Di era modern ini, pertumbuhan populasi yang pesat dan urbanisasi yang semakin meningkat telah menjadi tantangan bagi sektor pertanian perkotaan. Oleh karena itu, penelitian ini telah menghasilkan solusi teknologi baru yang dapat diterapkan di lingkungan perkotaan, yaitu sistem budidaya microgreen dalam greenhouse dengan menggunakan teknologi pemantauan dan deep learning untuk memastikan kesehatan dan pertumbuhan tanaman. Greenhouse ini dilengkapi dengan kamera untuk pemantauan secara real-time dan sistem penyiraman otomatis yang dikendalikan oleh ESP8266. Data pemantauan dari kamera dianalisis menggunakan algoritma deep learning YOLOv8 untuk mendeteksi kondisi tanaman. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan smart greenhouse dapat meningkatkan kualitas dan kuantitas produksi microgreen dibandingkan dengan metode konvensional. Status implementasi sistem ini masih dalam tahap awal, dengan tantangan biaya investasi awal dan kebutuhan data yang besar untuk melatih model deep learning. Namun, peningkatan produksi dan penggunaan sumber daya yang lebih efisien akan membantu petani mendukung praktik pertanian berkelanjutan.

Kata Kunci: Smart Greenhouse, Microgreen, Deep Learning, YOLOv8, Sistem Penyiraman Otomatis

Abstract – In this modern era, rapid population growth and increasing urbanization have challenged the predominantly urban agricultural sector. Therefore, this research has produced a new technological solution that can be applied in urban environments, namely a microgreen cultivation system in a greenhouse using monitoring and deep learning technology to ensure plant health and growth. The greenhouse has a camera for real-time monitoring and an automatic watering system controlled by ESP8266. Monitoring data from the camera is analyzed using the YOLOv8 deep learning algorithm to detect plant conditions. The results of this research showed that using smart greenhouses can increase the quality and quantity of microgreen production compared to conventional methods. The implementation status of this system is still in its infancy, facing initial investment costs and large data requirements to train deep learning models. However, better production and more efficient use of these resources will help farmers to support sustainable agricultural practices.

Keywords: Smart Greenhouse, Microgreen, Deep Learning, YOLOv8, Automatic Watering System

1. Pendahuluan

Di era modern ini, pertumbuhan penduduk yang pesat dan meningkatnya urbanisasi telah membawa tantangan baru di sektor pertanian, terutama di daerah perkotaan [1]. Indonesia, dengan jumlah penduduk mencapai 281.603,8 juta jiwa pada tahun 2024, menempati urutan keempat sebagai negara dengan populasi terbanyak di dunia [2]. Kepadatan penduduk yang tinggi di kota-

SENTER 2024, 03 Oktober 2024, pp. 109-119

ISSN (p): 2985-4903

ISSN (e): 2986-2477

kota besar menyebabkan ketersediaan lahan pertanian semakin terbatas [1]. Selain itu, polusi udara dan kualitas lingkungan yang buruk di perkotaan menjadi hambatan signifikan bagi budidaya tanaman secara konvensional [3]. Untuk mengatasi masalah ini, budidaya *microgreen* di dalam *greenhouse* merupakan solusi inovatif yang menawarkan beberapa keuntungan [4]. *Microgreen* adalah tanaman kecil yang dipanen pada fase awal pertumbuhannya, biasanya 7-14 hari setelah tanam, dan memiliki kandungan nutrisi yang tinggi [5]. Dengan menggunakan *greenhouse*, kita dapat menciptakan lingkungan yang terkendali dan terlindungi dari polusi udara serta faktor eksternal lainnya yang dapat merusak tanaman [4]. *Greenhouse* memungkinkan budidaya *microgreen* secara efisien di daerah perkotaan tanpa mengorbankan kualitas dan kuantitas produksi [6].

Selain itu, untuk memastikan pertumbuhan dan kesehatan *microgreen*, *greenhouse* dilengkapi dengan kamera yang berfungsi untuk memantau tanaman secara *real-time* [7]. Teknologi *deep learning* digunakan untuk membaca objek dari masing-masing daun *microgreen*, sehingga dapat mengidentifikasi kondisi tanaman dengan akurat [7]. Data dari kamera ini dikirim ke aplikasi yang telah dibuat, memberikan pemberitahuan berdasarkan tahapan penanaman *microgreen* [8]. Aplikasi ini tidak hanya memberikan informasi visual tentang keadaan *microgreen*, tetapi juga memberikan panduan dan rekomendasi berbasis *real-time* untuk sistem penyiraman otomatis yang terintegrasi dalam *greenhouse* [8].

Dalam membuat *greenhouse* ini, tidak membutuhkan banyak komponen untuk meminimalisir pengeluaran komponen elektronik. Oleh karena itu, percobaan yang dilakukan tidak menggunakan sensor kelembaban tanah. Melainkan menggantinya dengan perhitungan. Pompa air mini memiliki laju aliran 80-120 L/H. Ukuran pot yang digunakan memiliki diameter luar 8 cm dan diameter dalam 5,9 cm, dengan tinggi 6,6 cm. Berikut adalah perhitungan yang digunakan :

$$\text{Laju aliran} = \frac{80 \text{ L/h}}{3600 \text{ s}} = 0.0222 \text{ L/s} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{Volume bola :} \\ V &= \frac{4}{3} \pi r^3 \\ V &= \frac{4}{3} \pi (3)^3 \\ V &= 113.1 \text{ cm}^3 \end{aligned} \quad (2)$$

Volume setengah bola:

$$V_{\text{setengah bola}} = \frac{1}{2} \times 36\pi \text{ cm}^3 \quad (3)$$

$$V_{\text{setengah bola}} = 18\pi \text{ cm}^3$$

$$V_{\text{setengah bola}} = 56.55 \text{ cm}^3$$

Waktu yang dibutuhkan untuk membasahi tanah adalah 75% :

$$\text{Waktu} = \frac{75\% \times 56.55 \text{ cm}^3}{0.0222 \text{ liter/s}} = 1.91 \text{ detik}$$

Dengan demikian, waktu yang dibutuhkan untuk menyiram hingga 75% dari volume tanah dalam pot adalah antara sekitar 1,27 detik hingga 1,91 detik.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem budidaya *microgreen* di dalam *greenhouse* yang dapat diterapkan di daerah perkotaan, dengan memanfaatkan teknologi pemantauan dan *deep learning* untuk memastikan kesehatan dan pertumbuhan tanaman [7]. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengurangi dampak negatif polusi udara terhadap pertanian perkotaan dan memberikan solusi praktis bagi masyarakat perkotaan untuk menanam sayuran berkualitas tinggi di lingkungan yang terbatas [5].

Dengan sistem *greenhouse* yang dilengkapi dengan teknologi canggih ini, diharapkan masyarakat perkotaan dapat lebih mudah mengakses dan menanam *microgreens* tanpa terpengaruh oleh kualitas udara yang buruk [4]. Hal ini tidak hanya berkontribusi untuk meningkatkan kesehatan masyarakat melalui konsumsi sayuran segar dan bergizi, tetapi juga mendukung ketahanan pangan di tengah pertumbuhan penduduk yang cepat [1].

Makalah ini akan membahas secara rinci desain *greenhouse*, teknologi pemantauan dan *deep learning* yang digunakan, serta penerapan sistem penyiraman otomatis. Selain itu, hasil pengujian dan analisis kinerja sistem juga akan dibahas dalam mendukung pertumbuhan dan kesehatan *microgreen* di lingkungan perkotaan.

2. Metode Penelitian

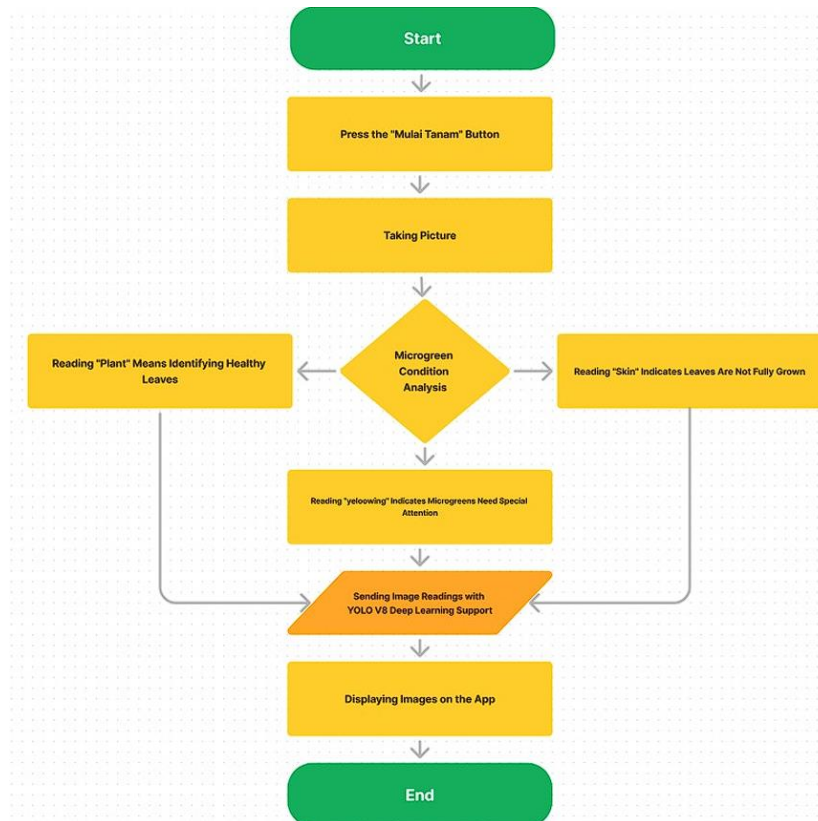
Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan tujuan untuk mengembangkan dan menguji sistem budidaya *microgreen* dalam smart *greenhouse* yang memanfaatkan teknologi *deep learning* dan sistem otomatisasi. Metode penelitian ini meliputi beberapa tahapan sebagai berikut:

2.1. Alat dan Bahan

Eksperimen ini menggunakan berbagai alat dan bahan yang dirancang untuk memastikan pemantauan dan pemeliharaan tanaman *microgreen* yang optimal di dalam *greenhouse*. Berikut ini adalah penjelasan rinci mengenai alat dan bahan yang digunakan:

2.1.1. Webcam

Eksperimen ini menggunakan webcam beresolusi tinggi untuk memantau pertumbuhan dan kesehatan *microgreen* di dalam *greenhouse*. Webcam ini dipilih karena resolusi tinggi yang memungkinkan dapat mendeteksi setiap daun secara akurat. Webcam dipasang di atas agar dapat menjangkau seluruh area penanaman didalam *greenhouse* dan dapat mendeteksi tanaman secara maksimal. Dengan fitur ini, setiap perubahan tanaman dapat dideteksi dengan baik, pertumbuhan dan identifikasi penyakit menjadi lebih mudah. Untuk mengetahui cara kerja webcam dalam sistem monitoring dapat dilihat pada gambar 1 dibawah ini.



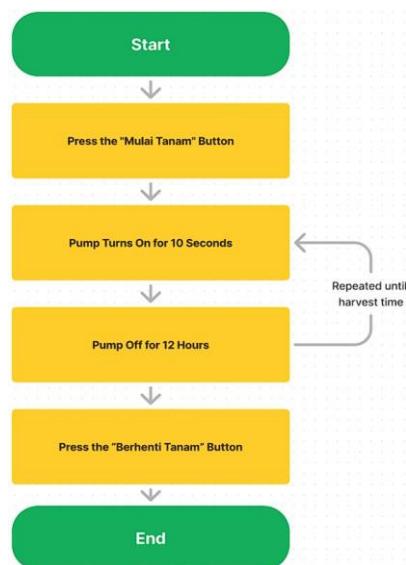
Gambar 1. Alur Kerja Sistem Monitoring

2.1.2. GreenHouse

Greenhouse yang digunakan dalam percobaan ini terbuat dari kain paranet yang mampu menahan debu dan polusi. Ukurannya 30 cm x 27 cm x 33 cm, cukup untuk menyimpan microgreen dengan tetap memungkinkan sirkulasi udara yang baik. Sistem ventilasi yang terkontrol memastikan bahwa udara bersih dapat masuk sementara udara kotor tidak dapat masuk, menjaga kondisi lingkungan didalam *greenhouse* tetap optimal untuk pertumbuhan tanaman microgreen.

2.1.3. Sistem Penyiraman Otomatis

Eksperimen ini menggunakan sistem penyiraman otomatis yang dikontrol menggunakan ESP8266, *mini water pump*, dan relay 4-channel untuk memastikan tanaman microgreen mendapatkan air yang cukup secara konsisten. Pompa air mini dipilih karena efisiensinya serta kemudahan instalasi didalam *greenhouse*. Dalam percobaan ini, durasi penyiraman dihitung berdasarkan perhitungan bahwa air mengalir selama 2 detik untuk mencapai 75% kelembapan yang diinginkan pada media tanam microgreen. Untuk memastikan sistem penyiraman otomatis ini bekerja dengan baik perlu dibuat alur kerja seperti yang ditampilkan oleh gambar 2.

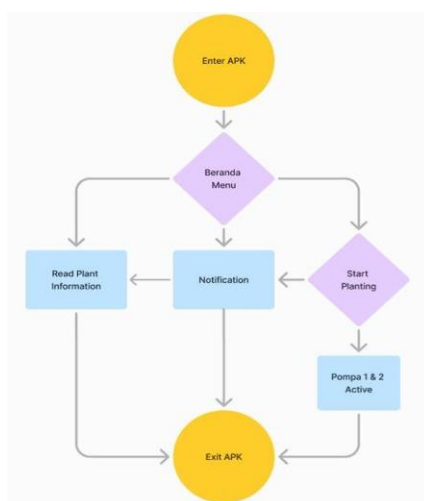


Gambar 2. Alur Kerja Sistem Penyiraman Otomatis

ESP8266 sebagai kontroler utama dalam mengatur jadwal penyiraman dengan mengontrol relay untuk mengendalikan pompa air. Relay 4 channel digunakan untuk menghubungkan dan mengatur pompa air mini, memastikan penyiraman otomatis sesuai dengan waktu dan volume air yang telah dihitung. Sistem ini dirancang untuk meminimalkan intervensi manual serta memastikan microgreens mendapatkan perlakuan optimal tanpa risiko kekurangan atau kelebihan air.

2.1.4. Aplikasi

Pada percobaan ini, sebuah aplikasi asisten berbasis platform android dikembangkan untuk mendukung proses penanaman dan pemantauan microgreen. Aplikasi ini memiliki berbagai fitur seperti notifikasi, panduan penanaman, dan pemantauan secara real-time. Fitur notifikasi membantu pengguna mengetahui kondisi terkini tanaman mereka, sementara panduan penanaman memberikan instruksi tahapan tatacara merawat microgreen. Fitur pemantauan secara langsung memungkinkan pengguna melihat kondisi tanaman kapan saja dan dimana saja serta memperoleh laporan analisis dari sistem *deep learning* yang mendeteksi pertumbuhan dan kesehatan tanaman. Dalam memastikan aplikasi dapat bekerja dengan baik, perlu adanya alur kerja seperti yang ditampilkan pada gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3. Alur Kerja Aplikasi

2.2. Desain

Penelitian ini mencoba untuk membudidaya microgreen ditengah kota dengan tingkat polusi yang tinggi maka diperlukan penggunaan *greenhouse* agar dapat melindungi dan mengoptimalkan pertumbuhan microgreen. *Greenhouse* ini menggunakan kain paranet untuk melindungi dari debu dan polusi serta ventilasi terkontrol untuk memastikan sirkulasi udara yang baik. Sebuah webcam beresolusi tinggi, yang diposisikan setinggi 33cm pada bagian tengah atas *greenhouse*, menangkap gambar secara berkala untuk memantau pertumbuhan dan kesehatan tanaman. Sistem penyiraman otomatis yang dioperasikan oleh mikrokontroller ESP8266 dan *mini water pump* memastikan kelembapan tanah tetap konsisten dengan mengalirkan air selama 2 detik untuk mempertahankan tingkat kelembapan sebesar 75%. Desain ini mengintegrasikan pemantauan dan penyiraman otomatis guna meminimalkan intervensi manual, mengefisiensikan penggunaan air, serta memastikan microgreen tumbuh sehat dilingkungan perkotaan.

2.3. Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dalam percobaan ini dirancang untuk memberikan informasi yang akurat dan secara langsung tentang pertumbuhan dan kesehatan microgreen. Pemantauan dilakukan menggunakan webcam beresolusi tinggi yang dipasang di *greenhouse*. Webcam ini secara otomatis mengambil gambar setiap 12 jam, sehingga setiap perubahan signifikan dalam pertumbuhan atau kondisi tanaman dapat didokumentasikan dengan baik. Gambar-gambar tersebut kemudian dikirim secara otomatis ke aplikasi.

Untuk analisis data dalam percobaan ini menggunakan pemodelan *deep learning* YOLOv8. Pemodelan ini telah dilatih untuk mendeteksi berbagai tanda pertumbuhan dan penyakit pada microgreen berdasarkan gambar yang diambil oleh webcam. YOLOv8 mampu mengenali dan mengklasifikasikan perubahan pada daun microgreen, seperti perubahan warna, bentuk dan ukuran, yang dapat mengindikasikan pertumbuhan normal atau adanya penyakit. Hasil analisis data ini kemudian dikirim ke aplikasi yang telah dikembangkan. Aplikasi ini memberikan notifikasi dan panduan kepada pengguna serta memungkinkan pemantauan kondisi tanaman secara langsung

Pendekatan ini memungkinkan setiap gambar yang diambil oleh webcam disimpan dan dianalisis secara mendalam, memberikan informasi yang lebih komprehensif tentang kondisi tanaman. Teknologi *deep learning* memungkinkan deteksi dini terhadap masalah potensial, sehingga tindakan perbaikan dapat segera dilakukan sebelum kondisi tanaman memburuk. Dengan kombinasi pemantauan visual otomatis dan analisis data yang cerdas, sistem ini memastikan microgreen dapat tumbuh secara optimal dan bebas dari penyakit dengan intervensi manusia yang minimal.

2.4. Metode Analisis Data

Metode analisis data dalam percobaan ini menggunakan pemodelan algoritma *deep learning* YOLOv8 untuk mendeteksi perubahan daun pada microgreen, seperti perubahan warna, bentuk dan ukuran yang dapat menunjukkan pertumbuhan atau adanya penyakit.

Pertumbuhan normal ditandai dengan peningkatan ukuran daun secara bertahap, sementara penyakit terdeteksi melalui perubahan warna atau pola daun, seperti munculnya warna kuning atau bintik-bintik coklat. Model YOLOv8 telah dilatih menggunakan dataset yang beragam untuk mengenali berbagai kondisi microgreen, sehingga memungkinkan deteksi dini terhadap potensi masalah. Dengan pendekatan ini, tindakan korektif dapat segera diambil untuk memastikan tanaman tetap dalam kondisi optimal.

2.5. Prosedur Eksperimen

Prosedur eksperimen diawali dengan persiapan *greenhouse*. *Greenhouse* dibersihkan secara menyeluruh dan diatur dengan media tanam yang sesuai serta bibit microgreen. Kamera resolusi

tinggi dipasang pada posisi strategis untuk memantau area penanaman secara menyeluruh, dan sistem penyiraman otomatis diinstal serta dikalibrasi untuk memastikan pengoperasian yang tepat.

Pemantauan berlangsung dari masa tanam hingga masa panen, di mana webcam mengambil gambar microgreen setiap 12 jam. Gambar yang diambil secara berkala ini dikirim ke server untuk dianalisis menggunakan algoritma *deep learning* YOLOv8. Analisis ini membantu mendeteksi perubahan pada daun microgreen, seperti perubahan warna, bentuk, dan ukuran, yang mengindikasikan pertumbuhan atau penyakit.

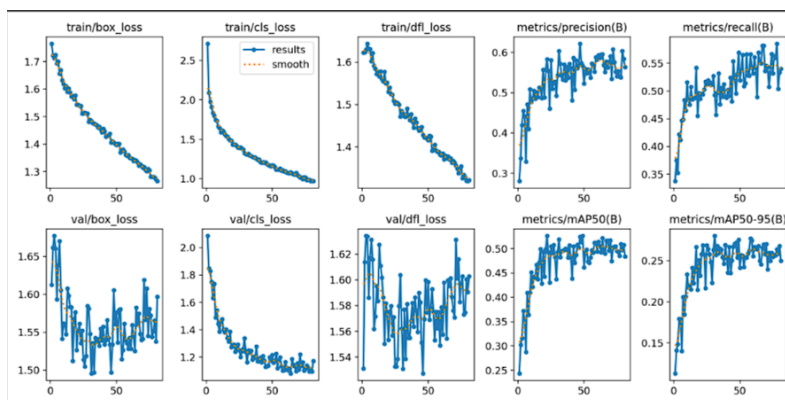
Evaluasi efektivitas dilakukan dengan mengukur pertumbuhan microgreen setiap 12 jam. Data yang diperoleh dari sistem otomatis dibandingkan dengan data dari kontrol tanpa teknologi untuk menilai keuntungan menggunakan teknologi ini. Evaluasi ini membantu menentukan apakah manfaat signifikan dalam budidaya microgreen dibandingkan dengan metode konvensional. Hasil eksperimen ini akan memberikan informasi tentang penggunaan teknologi dalam pertanian perkotaan dan memastikan perawatan optimal untuk microgreen dengan intervensi minimal.

3. Hasil dan Pembahasan

Bab ini berisi pemaparan hasil penelitian dan pembahasan mendalam mengenai temuan-temuan yang diperoleh dari eksperimen dan analisis data. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas penerapan sistem budidaya microgreen dalam *smart greenhouse* yang dilengkapi dengan teknologi pemantauan berbasis *deep learning* menggunakan algoritma YOLOv8 dan sistem penyiraman otomatis berbasis ESP8266.

3.1. Model Akurasi Deep Learning

Pada penelitian ini menggunakan metode *deep learning* untuk memantau penggunaan *greenhouse* untuk mengoptimalkan budidaya microgreen menggunakan *deep learning*. *Deep learning* adalah kecerdasan buatan yang mencoba meniru proses kerja otak manusia. Dalam praktiknya, metode ini membutuhkan pelatihan kinerja untuk meningkatkan akurasi. Gambar berikut menyajikan grafik model pelatihan dan validasi untuk mengoptimalkan budidaya microgreens.



Gambar 4. Presisi dan kerugian

Gambar 4. menunjukkan berbagai metrik dan kerugian dari pelatihan dan validasi model YOLOv8 untuk deteksi objek. Grafik baris atas menampilkan penurunan kehilangan kotak, distribusi klasifikasi, kehilangan fokus, kerugian, dan selama pelatihan, masing-masing menunjukkan peningkatan akurasi dalam menentukan lokasi objek, klasifikasi, kotak pembatas, dan distribusi probabilitas. Metrik presisi dan penarikan juga menunjukkan kinerja model dalam mendeteksi objek dengan benar dan meminimalkan positif palsu.

Gambar 5 dan Gambar 6 yang ditampilkan memperlihatkan hasil deteksi objek menggunakan model deep learning YOLOv8, dimana setiap objek tanaman (plant) berupa daun yang mengalami yellowing telah diberi kotak pembatas (bounding box) dengan label yang sesuai. Pada gambar, setiap objek diberi label seperti "plant" atau "yellowing," diikuti dengan angka probabilitas yang menunjukkan tingkat kepercayaan model dalam mendeteksi objek tersebut. Misalnya, beberapa area pada daun yang menunjukkan tanda-tanda kekuningan (yellowing) diberi kotak kuning untuk penandaan khusus, yang mempermudah dalam mendeteksi potensi masalah pada tanaman.

3.2. Perbandingan dengan Metode Tradisional

Sistem *smart greenhouse* menghasilkan kualitas yang lebih konsisten dan jumlah microgreens yang lebih tinggi dengan hasil yang lebih tinggi daripada metode konvensional. Hal ini disebabkan oleh optimalisasi nutrisi kontrol lingkungan yang tepat.



Gambar 5. Tumbuhan rusak

Gambar 5 adalah hasil penanaman microgreens yang ditanam di luar *greenhouse*. Tanaman ini dirawat dalam kondisi yang berbeda dari yang ada di *greenhouse*. Perawatan yang dimaksud adalah jadwal penyiraman yang terlambat dan paparan debu lingkungan, yang menyebabkan tanaman layu dan tidak tumbuh dengan baik.



Gambar 6. *Greenhouse*

Hal-hal yang berbeda terlihat pada gambar 6 hasil tanaman yang ditanam di *greenhouse*. Tanaman ini berkualitas baik karena penyiraman dan pemantauan secara teratur.

3.3. Kondisi Pemantauan Lingkungan

Sistem *smart greenhouse* menggunakan kamera dalam pembelajaran mendalam, untuk memantau kondisi lingkungan secara *real-time*. Kamera terus menerus mengirim data ke sistem pusat untuk analisis dan pengambilan keputusan.

Dengan analisis data *real-time*, sistem dapat mendeteksi tanda-tanda awal penyakit atau kondisi yang tidak optimal, seperti kelembaban yang terlalu tinggi, yang dapat menyebabkan

jamur. Sistem kemudian dapat mengambil tindakan pencegahan dengan memperingatkan pengelola *greenhouse*.

3.4. Tingkat Pertumbuhan dan Kesehatan Microgreens

Menggunakan sistem smart *greenhouse* dapat mengoptimalkan kondisi lingkungan seperti suhu, kelembaban, dan pencahayaan. Sistem ini menghasilkan tanaman microgreens yang lebih baik daripada yang tidak menggunakan sistem.

Algoritma pembelajaran mendalam memungkinkan pemantauan kesehatan tanaman secara *real-time*, termasuk deteksi gejala dini dan kekurangan nutrisi penyakit. Akibatnya, tanaman menunjukkan tanda-tanda kesehatan yang lebih baik, seperti struktur daun yang lebih hijau.

Dengan kontrol lingkungan yang tepat dan lebih kuat, sistem smart *greenhouse* memastikan bahwa microgreens tumbuh seragam dalam ukuran dan kualitas. Hal ini penting untuk memenuhi standar pasar yang tinggi dan meningkatkan nilai penjualan produk.

3.5. Keuntungan dan Manfaat

Sistem smart *greenhouse* dapat mengoptimalkan dan mengatur kondisi kelembaban, cahaya, dan nutrisi secara *real-time*, menghasilkan tanaman microgreens dengan kualitas lebih tinggi dan waktu pertumbuhan yang lebih singkat.

Dengan mengoptimalkan kondisi pertumbuhan, microgreens yang dihasilkan juga memiliki pertumbuhan yang optimal. Sistem ini dapat meningkatkan hasil panen per siklus, sehingga meningkatkan produktivitas.

Sistem ini dapat memantau dan mengontrol penggunaan air dan energi secara efisien, mengurangi biaya operasional. Pemanfaatan sumber daya yang baik juga akan meningkatkan kualitas tanaman yang dihasilkan.

Mengintegrasikan teknologi *deep learning* di bidang pertanian membuka peluang untuk penelitian dan inovasi lebih lanjut karena perkembangan teknologi dapat meningkatkan hasil yang diperoleh dari pertanian dan efisien sumber daya yang digunakan.

3.6. Tantangan dan Keterbatasan

Menerapkan sistem smart *greenhouse* membutuhkan investasi awal yang cukup besar untuk membeli perangkat keras yang digunakan, seperti sensor, kamera, dan sistem kontrol. Biaya investasi ini juga digunakan untuk mengembangkan perangkat lunak, seperti pelatihan model *deep learning*. Ini bisa menjadi keterbatasan bagi petani skala kecil.

Untuk mencapai performa yang optimal, model *deep learning* memerlukan data berkualitas tinggi dalam jumlah besar. Mengumpulkan dan memberi label data yang memadai bisa mahal dan memakan waktu.

Implementasi ini perlu meningkatkan pemeliharaan dan pembaruan sistem. Sistem smart *greenhouse* memerlukan perawatan rutin untuk memastikan perangkat keras dan perangkat lunak berfungsi dengan baik. Selain itu, model *deep learning* harus diperbarui secara berkala dengan data baru untuk menjaga akurasi dan relevansinya.

Model *deep learning* yang dilatih dengan kumpulan data tertentu mungkin tidak berkinerja baik dalam kondisi yang berbeda dan jenis tanaman microgreen lainnya.

Model data memerlukan penyempurnaan dan pelatihan ulang untuk beradaptasi dengan lingkungan dan spesies tanaman yang berbeda.

Meskipun sistem smart *greenhouse* dapat mengendalikan banyak aspek lingkungan, faktor eksternal seperti cuaca ekstrem atau serangan hama yang tidak terduga dapat mempengaruhi hasil budidaya dan sulit bagi sistem untuk mengantisipasi sepenuhnya.

4. Kesimpulan

Ini merupakan lompatan maju yang signifikan dalam inovasi pertanian: menggunakan pembelajaran mendalam untuk meningkatkan budidaya penerapan microgreens dengan sistem *IoT smart greenhouse*. Selama fase pelatihan dan validasi, model geminiviral menunjukkan akurasi dan ketahanan yang lebih baik secara seragam. Seperti yang dapat kita amati, nilai kerugian menurun, dan metrik presisi, recall, dan mAP meningkat, yang membuktikan bahwa model belajar untuk mendeteksi/mengklasifikasikan microgreen secara efisien dari waktu ke waktu.

Kualitas microgreens yang dihasilkan dari sistem *smart greenhouse* lebih tinggi dan konsisten daripada metode tradisional. Memberikan kontrol lingkungan yang akurat dan optimalisasi nutrisi dapat meningkatkan hasil panen sekaligus menjaga tanaman lebih sehat. Pemantauan kondisi lingkungan secara *real-time* dengan sensor dan kamera terintegrasi memastikan tindakan tepat waktu diambil terhadap penyakit dan pertumbuhan yang tidak optimal, membantu sistem manajemen kesehatan secara keseluruhan.

Meskipun banyak manfaat yang terbukti ketika diterapkan, sistem *smart greenhouse* dapat menghadapi beberapa hambatan. Biaya awal yang tinggi untuk investasi perangkat keras dan perangkat lunak, persyaratan volume untuk kualitas data pelatihan tertinggi, pemeliharaan berkelanjutan dan pembaruan yang diperlukan di kedua sisi perangkat keras dan model pembelajaran mendalam menciptakan hambatan masuk yang sangat besar. Selain itu, efisiensi sistem ini tidak mutlak dan dapat dipengaruhi oleh peristiwa eksternal seperti cuaca aneh atau populasi hama yang tidak terduga. Namun demikian, pengembalian produktivitas yang dikombinasikan dengan peningkatan pemanfaatan sumber daya dan kualitas tanaman memberikan potensi sistem *smart greenhouse* sebagai konsep transformatif yang dapat membantu mengamankan praktik pertanian berkelanjutan.

Referensi

- [1] FAO, "Urban Agriculture: Findings from Four City Case Studies," Rome: FAO, 2022. pp 13-17.
- [2] Biro Pusat Statistik, "Proyeksi Penduduk Indonesia 2020-2045," Jakarta: BPS, 2024.
- [3] World Health Organization, "Urban Air Quality and Health: Overview," Geneva: World Health Organization, 2022.
- [4] Q. Li, J. Chen, Z. Wu, and M. Gong, "Greenhouse Environmental Monitoring System Using Wireless Sensor Networks," *J. Agric. Eng.*, vol. 54, no. 6, pp. 72-81, 2020. pp 72-75.
- [5] J. Smith and R. Thompson, "The Impact of Air Pollution on Urban Agriculture," *Environ. Res. Lett.*, vol. 14, no. 2, pp. 1-9, 2019. pp 32-33.
- [6] R. E. Putri, et al., "Monitoring and Controlling System of Smart Mini Greenhouse Based on Internet of Things (IoT) for Spinach Plant (*Amaranthus sp.*)," *J. Funct. Foods*, vol. 14, no. 1, pp., 2024. ISSN: 2088-5334.
- [7] A. Rivai and B. Setiawan, "Implementation of Deep Learning in Monitoring Microgreen Growth," in *Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence and Data Science*, vol. 2, no. 3, pp. 45-50, 2023. pp 48-49
- [8] Y. Tan, H. Liu, and X. Zhang, "Automated Irrigation System Using IoT for Urban Farming," *J. IoT Appl.*, vol. 12, no. 4, pp. 88-96, 2020. pp 89-90.

Sistem Pemantauan dan Pengendalian Suhu dan Kadar Oksigen pada Model Tambak Udang Vaname dengan Teknologi IoT

Monitoring and Controlling System of Temperature and Oxygen Level in Vaname Shrimp Pond Model with IoT Technology

Patra L Tobing¹, Damar Widjaja^{2*}

^{1,2} Program Studi Teknik Elektro, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta
Paingan, Maguwoharjo, Depok, Sleman, Yogyakarta
patratobing1@gmail.com¹, damar@usd.ac.id^{2*}

Abstrak - Udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) merupakan komoditas perikanan bernilai tinggi dengan peran penting di pasar domestik dan global. Budidaya udang ini di Indonesia menggunakan metode intensif untuk meningkatkan produktivitas tambak. Namun budidaya ini juga menghadapi tantangan seperti kualitas air buruk, penyakit, pakan tidak memadai, dan perubahan iklim yang dapat menyebabkan gagal panen. Pengendalian kualitas air, terutama kadar oksigen terlarut dan suhu, menjadi faktor kunci keberhasilan budidaya. Penelitian ini merancang sistem pemantauan dan pengendalian suhu serta kadar oksigen pada tambak udang berbasis Internet of Things (IoT) dengan Arduino Mega sebagai pengendali utama dan ESP32 sebagai pengirim data ke platform Blynk. Sistem menggunakan sensor DO SKU SEN 0237 untuk mengukur kadar oksigen terlarut dan sensor DS18B20 untuk mengukur suhu air. Data dari sensor diproses oleh Arduino Mega dan diteruskan ke ESP32 untuk pemantauan dan pengendalian real-time melalui smartphone. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dirancang mampu mendeteksi dan mengontrol kondisi air di model tambak udang secara efektif.

Kata Kunci : Tambak udang, kadar oksigen, suhu air, pemantauan, pengendalian, IoT.

Abstract- Vannamei shrimp (*Litopenaeus vannamei*) is a high-value fishery commodity with significant importance in domestic and global markets. In Indonesia, intensive farming methods are used to boost shrimp pond productivity rapidly. However, this farming faces challenges such as poor water quality, disease, inadequate feed, and climate change, which can lead to cultivation failure. Controlling water quality, particularly dissolved oxygen levels and temperature, is crucial for successful shrimp farming. This study aims to design a monitoring and control system for pond temperature and dissolved oxygen levels using Internet of Things (IoT) technology. The system utilizes an Arduino Mega as the main controller and an ESP32 to transmit data to the Blynk platform. Sensors used include the DO SKU SEN 0237 for measuring dissolved oxygen levels and the DS18B20 sensor for measuring water temperature. Data from the sensors is processed by the Arduino Mega and sent to the ESP32 for real-time monitoring and control via a smartphone. The study's results show that the designed system effectively detects and controls pond model water conditions.

Keywords : Shrimp pond, dissolve oxygen, water temperature, monitoring, controlling, IoT.

1. Pendahuluan

Udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) termasuk jenis komoditas perikanan dengan nilai ekonomis tinggi baik di pasar domestik maupun global. Budidaya udang vaname memiliki peranan yang penting untuk memenuhi kebutuhan pasar dalam dan luar negeri [1]. Sistem

Budidaya udang secara intensif telah menjadi pola budidaya yang dilakukan sebagian besar petambak Indonesia dalam meningkatkan produktifitas tambak secara cepat.

Air merupakan sumber daya alam yang sangat penting bagi kelangsungan hidup udang agar dapat hidup sehat dan tumbuh secara maksimal [2]. Kadar oksigen dan suhu dalam air budidaya harus diperhatikan dengan baik. Jika kadar oksigen dan suhu tidak diperhatikan maka akan berakibat fatal pada metabolisme tubuh ikan sehingga energi ikan untuk bergerak, berkembang, dan bereproduksi akan terganggu. Kadar oksigen terlarut yang rendah dapat berpengaruh terhadap fungsi dan lambatnya pertumbuhan, bahkan dapat mengakibatkan kematian. Perubahan suhu yang tidak normal akan mengakibatkan kemampuan biota air untuk bertahan hidup semakin berkurang.

Pada tahun 2022-2023 sektor budidaya udang masih menghadapi berbagai tantangan yang menyebabkan terjadinya gagal panen. Beberapa faktor utama yang menjadi penyebab gagal panen yaitu; kualitas air yang buruk, penyakit akibat kualitas air yang tidak optimal, pakan yang tidak memadai, pengelolaan tambak yang kurang baik, dan perubahan iklim [3],[4].

Stevanus Hari wijatmika (2014) telah melakukan penelitian tentang alat ukur kadar oksigen terlarut dengan metode elektrolisis[5]. Sistem ini berhasil melakukan pengukuran kadar oksisgen terlarut, tetapi proses pengukuran membutuhkan waktu yang sangat lama.

Pada tahun 2020, Novia Indriani Putri telah membuat sistem monitoring dan pengendalian jarak jauh tingkat keasaman dan salinitas kolam ikan koi [6]. Alat yang dibuat menggunakan dua buah sensor yaitu sensor pH (SEN0161) dan sensor TDS. Kedua sensor tersebut terhubung dengan air pada kolam ikan dan memberikan keluaran berupa pemberitahuan kualitas air. Sistem yang dibuat mampu menetralkan air jika tingkat keasaman, basa, dan salinitas di luar rentang nilai yang disarankan. Hasil nilai pembacaan dari sensor juga ditampilkan pada aplikasi ponsel.

Penelitian ini bertujuan merancang sistem pemantauan dan pengendalian suhu serta kadar oksigen pada model tambak udang berbasis teknologi *Internet of Things* (IoT). Sistem ini menggunakan Arduino Mega sebagai pengendali utama [7] dan ESP32 [8] untuk mengirim data ke platform Blynk [9] untuk pemantauan jarak jauh melalui *smartphone* secara *real time*. Desain penelitian menggunakan dua sensor DO SKU SEN 0237 untuk mengukur kadar oksigen terlarut [10] dan dua sensor DS18B20 untuk mengukur suhu air [11]. Pengujian dilakukan dengan mensimulasikan kondisi tambak udang pada model tambak berupa akuarium, memantau suhu dan kadar oksigen terlarut menggunakan sensor yang telah diintegrasikan dengan sistem.

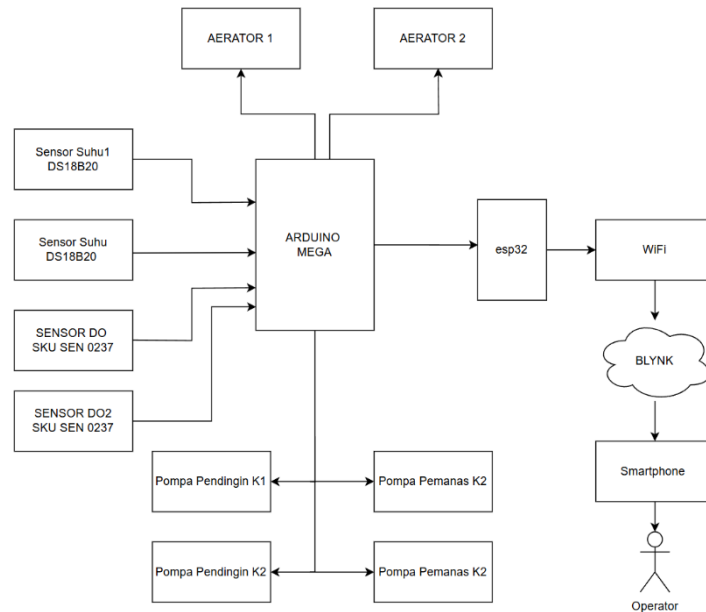
2. Metode Penelitian

Sistem yang dibuat menggunakan Arduino Mega sebagai pengendali utama dengan ESP32 sebagai modul pengirim data ke platform Blynk untuk pemantauan jarak jauh. Sistem ini dilengkapi dengan dua sensor DO SKU SEN0237 untuk mengukur kadar oksigen terlarut dan dua sensor DS18B20 untuk mengukur suhu air. Selain itu, motor DC 12V digunakan untuk memompa air ke dalam bak uji jika terdeteksi kondisi air yang tidak normal.

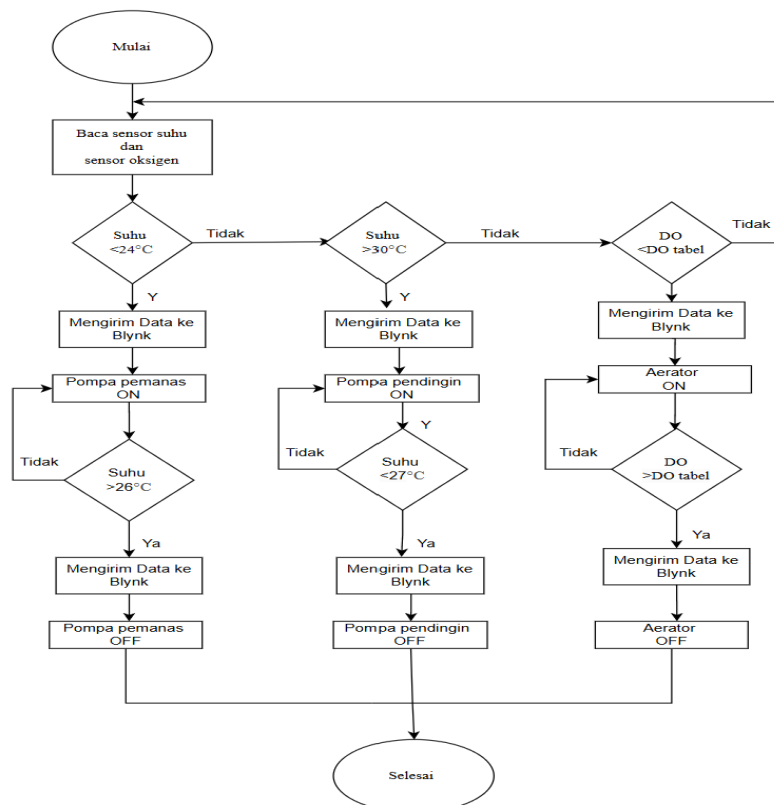
Pengujian sistem mencakup kalibrasi sensor, pengujian komunikasi data antara Arduino Mega dan ESP32, serta uji fungsi motor DC. Selanjutnya, sistem diimplementasikan pada model tambak udang skala kecil (menggunakan akuarium). Data dari sensor dikumpulkan dan dianalisis untuk mengevaluasi efektivitas sistem dalam mendeteksi kondisi air yang abnormal dan mempertahankan parameter air yang sesuai untuk budidaya udang.

Diagram blok pada sistem ini terdiri dari tiga bagian yaitu, masukan, proses dan keluaran. Masukan pada sistem ini adalah dua buah sensor oksigen tipe SKU SEN 0237 dan dua buah sensor suhu tipe DS18b20. Data masukan dari sensor akan diproses Aduino Mega. Setelah diproses, arduino mega akan mengirimkan perintah ke pompa air dan aerator jika terjadi kondisi abnormal. Data yang diolah arduino mega diteruskan ke ESP 32 untuk melanjutkan pengiriman ke platform

Blynk untuk pemantauan jarak jauh. Diagram blok dapat dilihat pada Gambar 1 dan diagram alir keseluruhan proses dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 4. Diagram Blok Sistem.



Gambar 5. Diagram Alir Sistem Pemantauan dan Pengendalian.

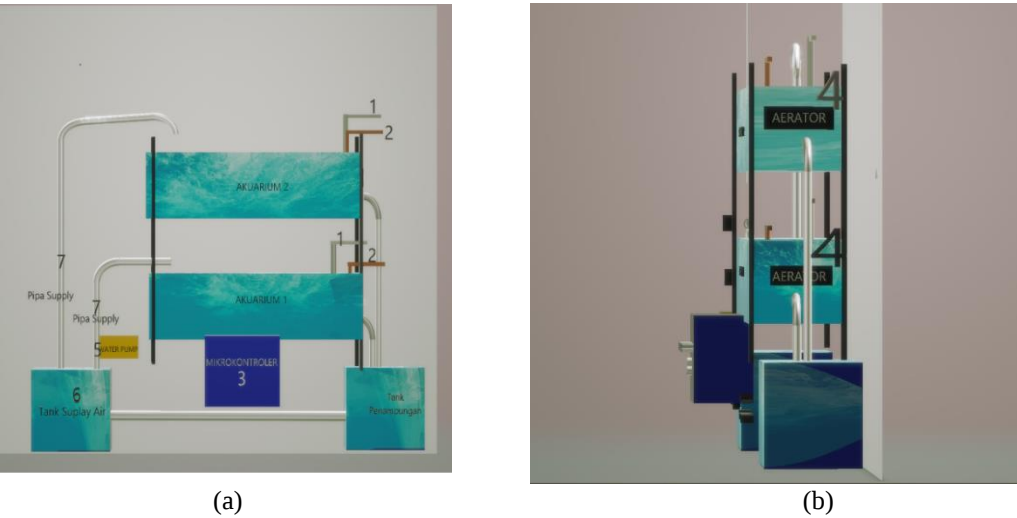
Gambar 2 merupakan alur kerja sistem yang dimulai dari pembacaan sensor suhu dan sensor oksigen. Jika sensor suhu membaca suhu pada kolam uji dibawah 24°C, maka sistem akan menyalakan pompa yang berisi cairan pemanas sampai suhu lebih dari 26°C. Apabila sudah mencapai ambang batas yang sudah ditentukan, maka pompa pemanas off. Jika kondisi air lebih dari 30°C, maka sistem akan menyalakan pompa yang berisi cairan pendingin sampai suhu dibawa 27°C. Jika kadar oksigen kurang dari DO Tabel berdasarkan suhu yang sudah ditentukan, maka sistem akan menyalakan aerator sampai kadar oksigen melebihi ambang batas oksigen pada DO tabel. Nilai DO berdasarkan suhu dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 4 Nilai DO bersdasarkan Suhu [10]

T °C	DO mg/L	T °C	DO mg/L	T °C	DO mg/L
0	14.6	16	9.86	32	7.3
1	14.22	17	9.64	33	7.17
2	13.8	18	9.47	34	7.06
3	13.44	19	9.27	35	6.94
4	13.08	20	9.09	36	6.84
5	12.76	21	8.91	37	6.72
6	12.44	22	8.74	38	6.6
7	12.11	23	8.57	39	6.52
8	11.83	24	8.41	40	6.4
9	11.56	25	8.25	41	6.33
10	11.29	26	8.11	42	6.23
11	11.04	27	7.96	43	6.13
12	10.76	28	7.83	44	6.06
13	10.54	29	7.68	45	5.97
14	10.31	30	7.56	46	5.88
15	10.06	31	7.43	47	5.79

2.1. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan model tambak dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Perancangan model kolam. (a). Tampak depan. (b). Tampak samping.

Penjelasan komponen-komponen perancangan pada Gambar 2 sebagai berikut :

1. Sensor oksigen terlarut digunakan untuk mengukur kadar oksigen pada air prototipe kolam 2 tingkat.
2. Sensor suhu digunakan untuk memantau kondisi suhu air prototipe kolam 2 tingkat.
3. Box Mikrokontroler, di dalam box terdapat Arduino Mega, ESP 32, *Power Supply* 12V dan *Relay*.
4. Aerator digunakan untuk memompa oksigen kedalam air.
5. Pompa air digunakan untuk memompa air ke dalam kolam.
6. *Tank Supply* air digunakan untuk cadangan air apabila suhu pada kolam perancangan terindikasi abnormal, maka pompa akan mulai mensirkulasikan air kolam sampai kondisi suhu stabil.
7. *Pipa Supply* air digunakan untuk menyalurkan air dari *tank supply* ke kolam perancangan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Implementasi Sistem

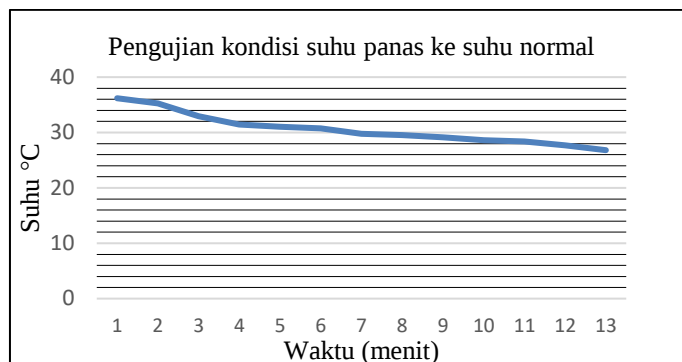
Gambar 4 menunjukkan hasil implementasi model kolam udang. Pengujian sistem dilakukan melalui percobaan pada kondisi suhu yang berbeda, baik dalam kondisi suhu panas sampai kondisi suhu stabil dan suhu dingin sampai pada suhu stabil. Selain itu pengujian juga dilakukan untuk mengetahui kadar oksigen saat nilai DO (*Dissolved Oxygen*) kurang dari nilai DO standar.



Gambar 4. Implementasi Sistem

3.2. Pengujian Kondisi Panas ke Kondisi Normal

Pengujian ini dilakukan untuk mengamati *respons* sistem ketika suhu berubah dari kondisi panas ke kondisi normal pada akuarium uji pertama. *Setpoint* suhu ditetapkan pada 27°C. Hasil respon sistem terhadap perubahan suhu dari kondisi panas ke kondisi normal ditunjukkan pada Gambar 5. *Error Steady State* (ESS) pada pengujian ini 0,703% dengan suhu akhir 26,81°C.



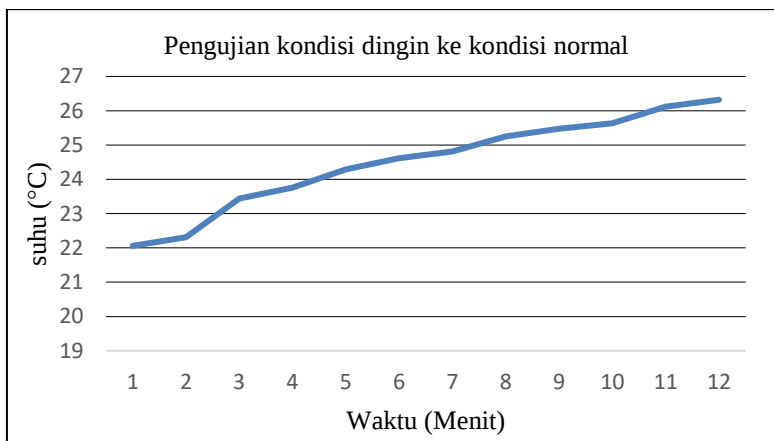
Gambar 5. Grafik penurunan suhu dari panas ke normal.

Kondisi saat menit pertama, suhu berada pada 36,19°C dan kondisi pompa pendingin *on* sampai suhu 27,69°C. Ketika suhu sudah mencapai 26,81°C pompa dalam kondisi *off*. Pompa pendingin berfungsi dengan baik dengan proses penurunan suhu membutuhkan waktu ± 13 menit.

3.3. Pengujian Kondisi Dingin ke Kondisi Normal

Pengujian ini dilakukan untuk mengamati respons sistem ketika suhu berubah dari kondisi dingin ke kondisi normal. *Setpoint* suhu ditetapkan pada 26°C. Sistem merespon dengan mengaktifkan pompa air pemanas untuk meningkatkan suhu air hingga mencapai *setpoint* yang ditetapkan. Grafik perubahan suhu selama pengujian ditunjukkan pada Gambar 6. *Error Steady State* (ESS) pada pengujian ini adalah 0,461% dengan suhu akhir 26,12°C.

Proses pengujian dimulai dengan suhu awal air pada kondisi dingin pada suhu 22,06°C. Pada kondisi ini, pompa pemanas berada dalam keadaan *on* untuk menaikkan suhu air sampai suhu menuju *setpoint* 26°C. Pada menit kesepuluh, suhu air mencapai 26,12°C. Pada kondisi ini, pompa pemanas secara otomatis beralih ke kondisi *off*. Proses kenaikan suhu sampai suhu kembali normal membutuhkan waktu ± 10 menit. Sistem menunjukkan respon yang efektif dalam menjaga suhu air pada level yang ditetapkan sesuai dengan perancangan alat.

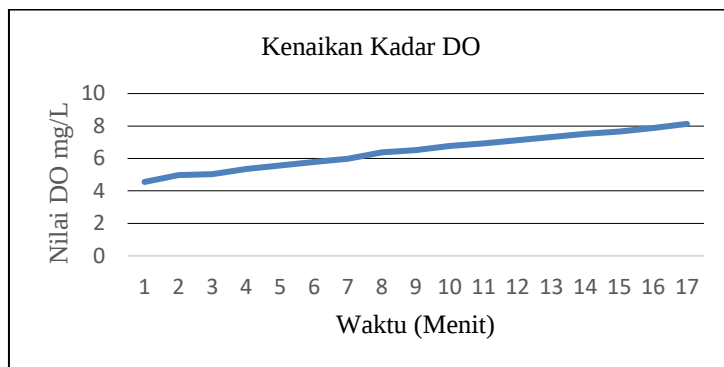


Gambar 6. Grafik Kenaikan Suhu

3.4. Pengujian Sensor Oksigen Terlarut

Pengujian ini dilakukan untuk mengamati respons sistem ketika kadar oksigen terlarut turun dari kondisi rendah dan sampai kondisi normal pada suhu konstan 27°C. Berdasarkan nilai DO-tabel di kondisi suhu 27°C, nilai *setpoint* DO adalah sebesar 7,96 mg/L. Pengujian kadar oksigen dengan kondisi awal 4,55 mg/L. Sistem merespon dengan menyalakan aerator untuk

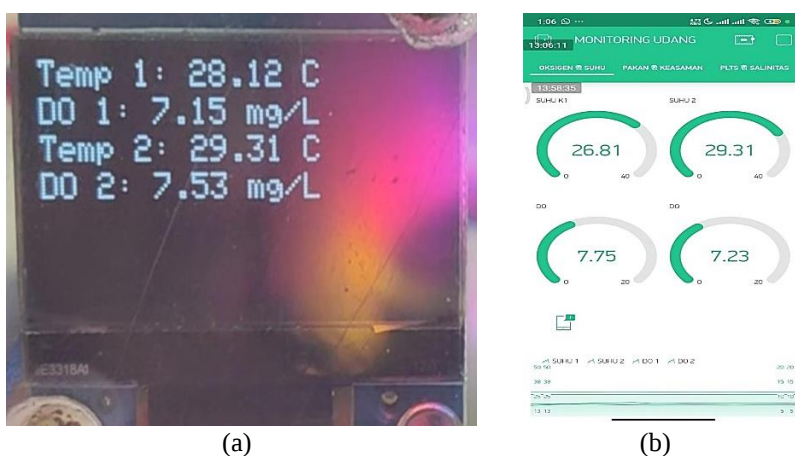
meningkatkan kadar oksigen terlarut di kolam. Kenaikan kadar oksigen membutuhkan waktu ± 16 menit sampai mencapai nilai kadar oksigen yang ditetapkan. *Error Steady State* (ESS) pada pengujian ini adalah 2,135% dengan suhu akhir DO akhir = 8,13 mg/L. Grafik kenaikan kadar oksigen selama pengujian dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik kenaikan DO.

3.5. Sistem Pemantauan

Sistem pemantauan secara langsung dipantau melalui tampilan OLED dan sistem pemantauan jarak jauh dipantau melalui *smartphone* dengan aplikasi *Blynk*. OLED menampilkan data keluaran berupa huruf dan angka sehingga pengawasan akan lebih mudah dipahami. Gambar 8 merupakan tampilan pemantauan.



Gambar 8. Tampilan sistem pemantauan. (a). OLED. (b). Blynk.

4. Kesimpulan

Pengujian sistem kendali dan sistem pemantauan secara jarak jauh dapat bekerja dengan baik sesuai perancangan. Pemantauan jarak jauh melalui platform *blynk* menggunakan *smartphone* juga sudah berjalan dengan baik. Pompa pendingin dan pemanas sudah bekerja dengan baik dengan proses pengaturan suhu dari kondisi abnormal ke suhu normal membutuhkan waktu ± 13 menit dari suhu panas ke normal dengan $Ess = 0,703\%$ dan ± 10 menit dari dingin ke normal dengan $Ess = 0,461\%$. Sistem juga berhasil meningkatkan kadar oksigen ke tingkat normal dalam waktu ± 16 menit dengan $Ess = 2,135\%$

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Sanata Dharma yang telah mendanai penelitian ini.

Referensi

- [1] Andhika Rakhmanda, Naila Husnayain, 2021, Membangun Keberlanjutan Pangan dan Perikanan: Ciptakan Udang Segar, Sehat dan Berkualitas melalui Budidaya Udang Berkelanjutan.
- [2] Halim, A.M., Krisnawati, M. and Fauziah, A., 2021, Dinamika Kualitas Air Pada Pembesaran Udang Vannamei (*Litopenaeus vannamei*) Secara Intensif Di Pt. Andulang Shrimp Farm Desa Andulang Kecamatan Gapura Kabupaten Sumenep Jawa Timur. Jurnal Penelitian Chanos Chanos, 19(2), pp.143-153.
- [3] Detik.com, 2022, Dampak Perubahan Iklim, Udang Tambak di Brebes Gagal Dipanen, diakses 10 Oktober 2023.
- [4] Fenza, 2023, Penyebab Gagal Panen di Tambak Udang & Cara Mengatasinya, diakses 10 Oktober 2023.
- [5] Stevanus Hari Wijatmika. 2014. "Alat Ukur Kadar Oksigen Terlarut Dengan Metode Elektrolisis Berbasis ATmega8535". Tugas Akhir. Universitas Sanata Dharma.
- [6] Putri, Novia Indriani. 2020. "Sistem Monitoring Dan Pengendalian Jarak Jauh Tingkat Keasaman Dan Salinitas Kolam Ikan Koi." Tugas Akhir. Universitas Sanata Dharma.
- [7] Labelektronika. "ARDUINO MEGA 2560 MIKROKONTROLER ATmega2560," diakses 10 Oktober 2023.
- [8] Abarca, Roberto Maldonado. "Sistem Mikro Kontroler." Nuevos Sist. Comun. e Inf 4, no. 1 (2021): 2013-2015.
- [9] N. Nordin, "Integration of IoT on Power Monitoring and Control for Housing Electrical System," vol. 2, no. 2, pp. 1–50, 2020.
- [10] DFROBOT, "Gravity: Analog Dissolved Oxygen Sensor SKU:SEN0237", diakses 10 Oktober 2023.
- [11] 14.Ikhsan, Rizqy Nurul, and Niken Syafitri. "Pemanfaatan Sensor Suhu DS18B20 sebagai Penstabil Suhu Air Budidaya Ikan Hias." In Prosiding Seminar Nasional Energi, Telekomunikasi dan Otomasi (SNETO), pp. 18-26. 2021.

Sistem Pemantauan dan Pengendalian Pemberi Pakan Dua Tingkat dan Keasaman Air pada Model Tambak Udang dengan Teknologi IoT

Monitoring and Control System of Two-Level Feeder and Water Acidity in Shrimp Pond Model with IoT Technology

Yoseph Surya Bandang¹, Damar Widjaja^{2*}

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta
Paingan, Maguwoharjo, Depok, Sleman, Yogyakarta
suryabandang20@gmail.com¹, damar@usd.ac.id^{2*}

Abstrak – Udang merupakan salah satu komoditas budidaya yang saat ini perkembangan budidayanya meningkat sangat pesat. Banyak pengusaha kecil maupun besar yang sekarang aktif atau terjun ke budidaya udang sebagai lahan bisnis. Salah satu aspek penting dalam meningkatkan kualitas dan produktivitas tambak udang adalah pemantauan dan pengendalian pemberian pakan pada udang serta kualitas air pada tambak udang. Pemberian pakan berlebih dan kualitas air yang buruk dapat memicu kematian pada udang. Tujuan dari pembuatan sistem ini adalah untuk mengendalikan dan mengawasi pakan yang diberikan pada udang serta menjaga tingkat keasaman pada air kolam untuk menjaga kesehatan udang. Sistem pengendalian dan monitoring ini menggunakan Arduino Mega 2560 sebagai pusat pemrosesan data. Berat pakan yang diberikan berdasarkan umur udang. Data berat pakan ini diukur oleh sensor load cell. Pengukur tingkat keasaman air menggunakan dua buah sensor pH SEN0161. Hasil dari pengukuran berat dan nilai pH nanti akan ditampilkan di OLED dan aplikasi Blynk untuk pengawasan secara jarak jauh. Dari hasil pengujian sistem dapat disimpulkan bahwa sistem pemantauan dan pengendalian pemberian pakan dan keasaman air dapat bekerja dengan baik. Sistem pemberian pakan dapat bekerja dengan baik, dengan error pemberian pakan aquarium pertama sebesar 2,86% dan rata-rata error untuk aquarium 2 sebesar 2,75%. Error Steady State (Ess) dari pengujian asam ke netral sebesar 0,4%. Error Steady State (Ess) dari pengujian basa ke netral sebesar 0,59%.

Kata Kunci: Pemberi pakan, keasaman air, tambak udang, pemantauan, pengendalian, IoT.

Abstract – Shrimp is one of the aquaculture commodities that the cultivation is currently increasing very rapidly. Many small and large entrepreneurs are now active or involved in shrimp farming as a business. One important aspect in improving the quality and productivity of shrimp ponds is monitoring and controlling shrimp feeding and water quality in shrimp ponds. Overfeeding and poor water quality can trigger shrimp death. The purpose of designing this system is to control and monitor the feed given to shrimp and the acidity level of pond water in order to maintain the shrimp health. This control and monitoring system uses Arduino Mega 2560 as a data processing center. The weight of the feed given is based on the age of the shrimp. The feed weight data is measured by the load cell sensor. The acidity system uses two pH sensors (SEN0161) to measure the acidity of the water. The results of weight measurement and pH value will be displayed on OLED and Blynk application for remote monitoring. The result of this research can be concluded that feeder and water acidity monitoring and controlling can work well. Feeder system capable to feed the pond with 2,86% error for the first aquarium (pond model) and 2,75% for the second aquarium. Error Steady State (Ess) for acidity to neutral process is 0,4%, while Error Steady State (Ess) for alkaline to neutral process is 0,59%.

Keywords: Feeder, Water acidity, Shrimp pond, Monitoring, Controlling, IoT.

1. Pendahuluan

Udang merupakan salah satu komoditas budidaya yang saat ini perkembangan budidayanya meningkat sangat pesat. Banyak pengusaha kecil maupun besar yang sekarang aktif atau terjun ke budidaya udang sebagai lahan bisnis [1]. Perkembangan budidaya udang tersebut mendorong pengembangan berbagai metode dan teknologi untuk meningkatkan kualitas dan produktivitas tambak udang.

Salah satu aspek penting dalam meningkatkan kualitas dan produktivitas tambak udang adalah pemantauan dan pengendalian pemberian pakan pada udang serta kualitas air pada tambak udang. Pengolahan pakan yang tepat dan kualitas air yang baik sangat mempengaruhi kesehatan dan pertumbuhan udang. Pemberian pakan yang berlebih dan kualitas air yang buruk dapat menyebabkan udang menjadi stres, sehingga tingkat pertumbuhan udang menjadi terhambat. Selain itu, udang dapat dengan mudah terserang penyakit dan dapat menyebabkan kematian.

Sistem pemberian pakan ikan koi dua level dengan pengendalian berbasis teknologi IoT telah berhasil dibuat oleh Febby Lekswina dengan pengaturan ukuran pakan dengan pilihan ukuran S, M, dan L [2]. Sedangkan Arditya et al. telah membuat sistem pemberian pakan udang dengan mengatur interval waktu pemberian pakan menggunakan teknologi IoT [3]. Rancang bangun *automatic fish feeder* berbasis Arduino telah berhasil dibuat oleh Abdul Rofiq et al [4].

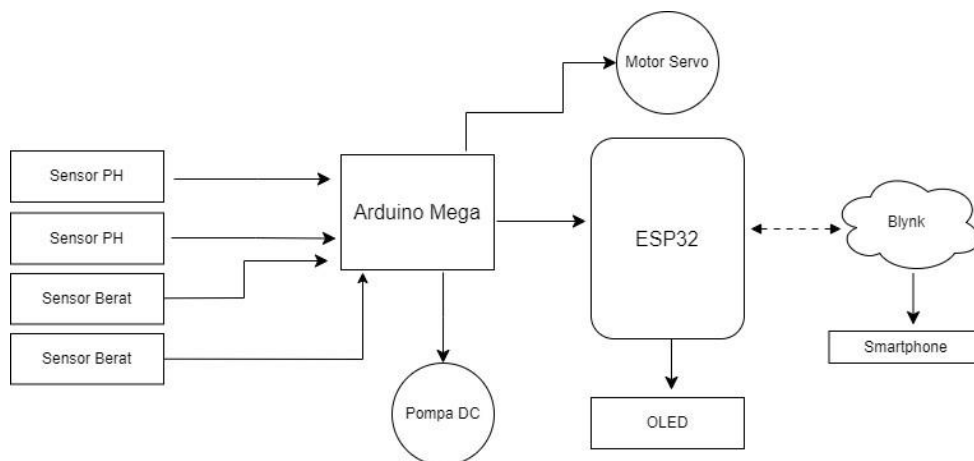
Sistem pemberian pakan udang otomatis dan monitoring kualitas air menggunakan teknologi IoT telah dilakukan oleh Toruan, F.L. dan Galina, M. [5] dan Bir, J. et al. [6]. Selain itu, Novia I.P juga telah berhasil membuat sistem monitoring dan pengendalian jarak jauh tingkat keasaman dan salinitas kolam ikan koi [7].

Sistem yang dibuat dalam penelitian ini menggunakan pemantauan dan pengendalian secara jarak jauh melalui aplikasi Blynk [8]. Alat memungkinkan pemberian pakan pada udang sesuai perhitungan dan standar yang telah ditentukan berdasarkan usia udang [6]. Selain itu, alat yang dibuat juga memungkinkan untuk melakukan pemantauan dan pengendalian kualitas air pada tambak udang sesuai dengan standar yang telah ditentukan. Tingkat keasaman air diukur dengan sensor pH (SEN0161) [9] yang terhubung pada air ditambak udang yang nantinya akan memberikan notifikasi atau pemberitahuan terhadap kualitas air. Notifikasi atau pemberitahuan akan ditampilkan di OLED dan juga aplikasi Blynk pada *smartphone*.

2. Metode Penelitian

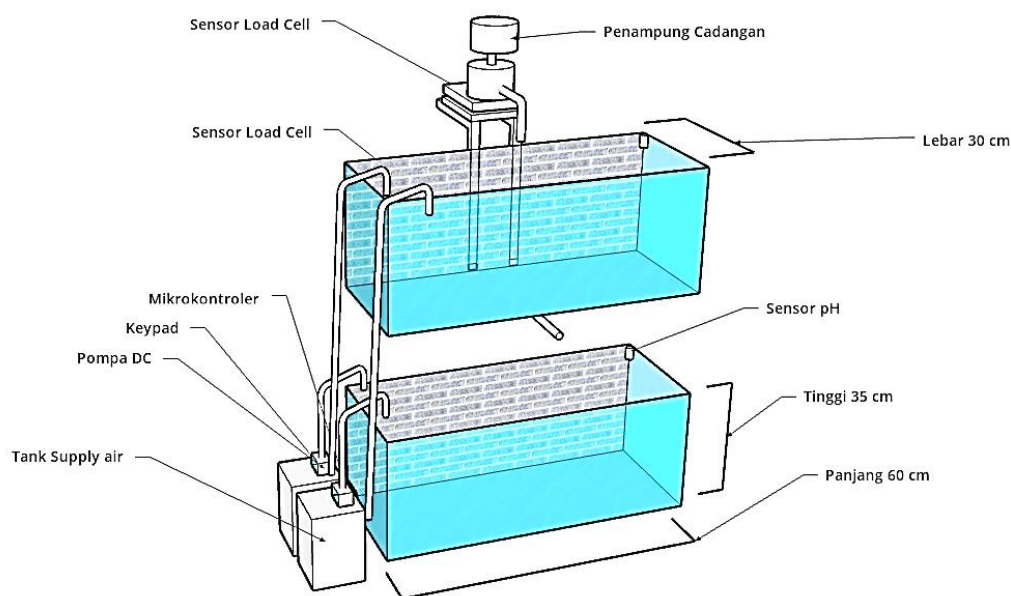
2.1. Perancangan Hardware

Sistem ini terdiri dari beberapa bagian yang ditunjukkan pada blok diagram sistem pada Gambar 1. Blok diagram sistem mempunyai tiga bagian yaitu, *input*, proses dan *output*. Terdapat dua buah sensor di sisi *input*. Pertama adalah sensor pH (SEN0161) yang digunakan untuk mendeteksi tingkat keasaman pada air. Kedua adalah sensor berat (*load cell*) untuk mengetahui berat pakan udang di dalam *container* pakan [10]. Data yang terbaca oleh kedua sensor tersebut akan diproses oleh Arduino Mega. Selanjutnya, Arduino Mega mengirim perintah pada motor servo dan pompa DC untuk aktif. Motor servo berfungsi untuk membuka pintu *container* untuk melepaskan pakan, sedangkan pompa DC akan aktif untuk memompa air penetral keasaman. Data yang sudah diproses oleh Arduino Mega dikirimkan ke ESP32 yang terkoneksi internet. Koneksi internet ini digunakan untuk komunikasi data antara sistem dan *server* Blynk untuk ditampilkan di *dashboard* Blynk serta pemberian perintah dari aplikasi Blynk yang terdapat di *smartphone*.



Gambar 19. Block diagram sistem

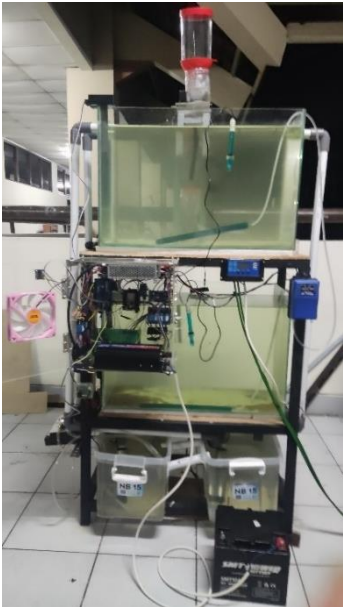
Gambar 2 menunjukkan visualisasi 3D dari sistem yang dibuat, model tambak udang yang dibuat dengan aquarium ukuran panjang 60 cm, lebar 30 cm, dan tinggi 35 cm sebanyak dua aquarium dengan kondisi model tambak yang berbeda.



Gambar 2. Visualisasi 3D Sistem.

2.2. Implementasi Sistem

Secara umum, alat ini terbagi menjadi alat pemberi pakan otomatis dan penetral kondisi keasaman air serta pengawasan sistem secara keseluruhan. Alat pemberian pakan otomatis bekerja pada waktu yang telah ditentukan, yaitu pada pukul 06.00, pukul 12.00 dan pukul 18.00. Takaran pakan yang diberikan berdasarkan umur udang yang sudah ditentukan. Alat penetral kondisi keasaman air akan bekerja ketika pH air kurang dari 7,5 dan lebih dari 8,5. Alat memompa cairan asam ketika kondisi pH air lebih dari 8,5 dan cairan basa ketika kondisi pH air kurang dari 7,5. Data-data dari alat pemberi pakan otomatis dan penetralan kondisi keasaman air ditampilkan pada layar OLED dan juga pada aplikasi *Blynk*. Gambar 3 menunjukkan implemetasi sistem.



Gambar 3. Implementasi Sistem

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengujian Sistem Pakan

Pengujian sistem dilakukan pada motor servo yang berada di penampung *feeder* yang berada pada aquarium pertama dan aquarium kedua. Pengambilan data dilakukan sebanyak 13 sesuai klasifikasi usia udang. Hasil pengujian massa pakan yang keluar berdasarkan lama waktu tunda motor servo dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 5. Pengujian Massa Pakan.

Kode	Percobaan ke-	Aquarium Pertama			Aquarium Kedua		
		Massa pakan pengujian (gram)	Massa pakan yang diinginkan (gram)	Error (gram)	Massa pakan pengujian (gram)	Massa pakan yang diinginkan (gram)	Error (gram)
1	1	25	27	2	26	27	1
	2	28		1	29		2
	3	30		3	28		1
2	1	44	45	1	47	45	2
	2	43		2	45		0
	3	47		2	43		2
3	1	68	73	5	68	73	5
	2	70		3	72		1
	3	75		2	70		3
4	1	96	100	4	93	100	7
	2	93		7	96		4
	3	98		2	95		5
5	1	120	125	5	117	125	7
	2	118		7	122		3
	3	126		1	124		1
6	1	135	137	2	130	137	7
	2	135		2	139		2

Kode	Percobaan ke-	Aquarium Pertama			Aquarium Kedua		
		Massa pakan pengujian (gram)	Massa pakan yang diinginkan (gram)	Error (gram)	Massa pakan pengujian (gram)	Massa pakan yang diinginkan (gram)	Error (gram)
7	3	136	152	1	141	4	
	1	150		2	153	1	
	2	155		3	149	3	
	3	148		4	157	5	
8	1	165	170	5	171	1	
	2	168		2	164	6	
	3	172		2	169	1	
9	1	178	180	2	183	3	
	2	182		2	185	5	
	3	174		6	179	1	
10	1	180	186	6	178	8	
	2	187		1	183	3	
	3	184		2	188	2	
11	1	190	192	2	193	1	
	2	188		4	196	4	
	3	194		2	191	1	
12	1	200	207	7	209	2	
	2	205		2	198	9	
	3	210		3	206	1	
13	1	218	220	2	223	3	
	2	214		6	221	1	
	3	219		1	217	3	
Rata-rata error				3.03	Rata-rata error		3.10

Tabel 1 menunjukkan bahwa motor servo dapat membuka dan menutup dengan baik sesuai waktu tunda yang ditetapkan sesuai dengan perancangan dengan rata-rata *error* untuk *aquarium* pertama sebesar 3,03 gram (2,86%) dan untuk *aquarium* kedua dengan rata-rata *error* sebesar 3,10 gram (2,75%). Motor servo pada tempat pakan pertama dan kedua membuka dan menutup sesuai dengan program yang telah dijalankan. Pakan keluar tidak konstan karena ada beberapa pakan yang menyangkut di sela-sela pembukaan dan penutupan servo dan juga pada jalur turunnya pakan menuju *aquarium*.

3.2. Kalibrasi Sensor pH (Keasaman)

Data pH air akan terbaca oleh sensor pH lalu ditampilkan pada OLED dan dikirim ke aplikasi *Blynk*. Data tampilan akan terus diperbaharui setiap ± 5 detik baik itu di OLED maupun di aplikasi *Blynk*. Pengukuran nilai pH menggunakan dua modul sensor pH. Modul sensor pH yang sudah terhubung dengan *probe* pH ditempatkan di dalam air pada *aquarium* pertama dan *aquarium* kedua selama proses berlangsung.

Sebelum sensor digunakan, kedua sensor tersebut telah dikalibrasi terlebih dahulu. Kalibrasi sensor dilakukan dengan membandingkan nilai yang tertera pada sensor dengan alat ukur pembanding apakah sudah sesuai atau belum. Jika sudah sesuai, sensor dapat digunakan secara terus menerus. Kalibrasi sensor dilakukan dengan mengukur kadar larutan serbuk *buffer* pH.

Larutan serbuk *buffer* pH merupakan jenis larutan yang dapat mempertahankan pH yang stabil ketika terjadi penambahan asam atau basa. Larutan *buffer* pH yang digunakan yaitu larutan serbuk pH 4,00, larutan serbuk pH 6,86, dan larutan serbuk pH 9,18. Hasil dari pengukuran kalibrasi sensor kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran dari alat ukur sensor pH secara

bersamaan. Tabel 2. menunjukkan hasil dari pengujian tingkatan pH pada larutan serbuk *buffer* pH.

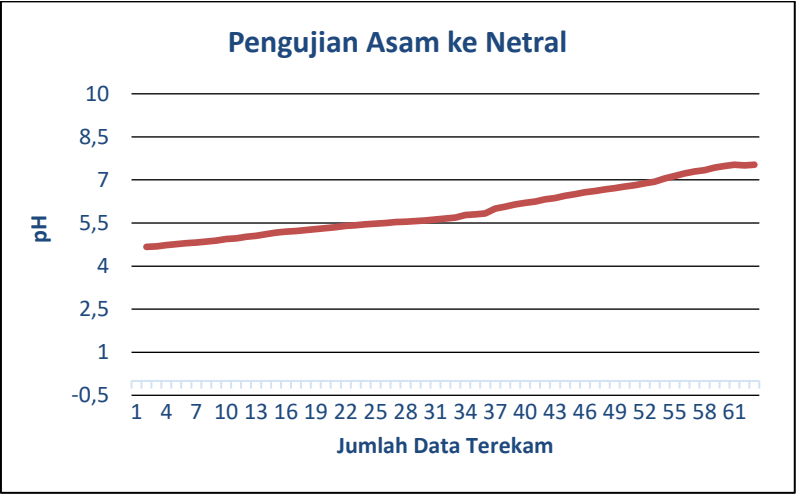
Tabel 2. Hasil Pengujian Tingkat Keasaman

pH	Keterangan	Menit						Rata-rata <i>error</i> (%)
		5	10	15	20	25	30	
Asam	pH sensor	4.07	4.09	4.12	4.11	4.11	4.14	
	pH meter	4.30	4.30	4.30	4.30	4.30	4.30	
	Error (%)	5.35	4.88	4.19	4.42	4.42	3.72	4.50
Netral	pH sensor	7.20	7.22	7.25	7.23	7.22	7.21	
	pH meter	6.80	6.80	6.80	6.80	6.80	6.80	
	Error (%)	5.88	6.18	6.62	6.32	6.18	6.03	6.20
Basa	pH sensor	9.15	9.14	9.13	9.13	9.14	9.15	
	pH meter	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	
	Error (%)	1.67	1.56	1.44	1.44	1.56	1.67	1.56

Berdasarkan hasil pengujian tingkat asam dan basa pada Tabel 2. dapat disimpulkan bahwa, dengan melakukan percobaan selama 30 menit dengan pengambilan data setiap 5 menit, nilai pH pada tingkat asam dan basa tidak ada perubahan.

3.3. Pengujian Sistem Pengendali Keasaman dari Kondisi Asam ke Netral

Gambar 4. merupakan grafik dari hasil pengujian pertama kondisi air dari asam dengan nilai pH awal 4,67 hingga kondisi air netral sebesar > 7,5. Selama nilai pH air belum netral mencapai nilai netral, pompa akan terus menyala memompa cairan basa. Berdasarkan grafik pengujian asam 1, nilai pH awal 4,67 hingga bernilai stabil netral sebesar 7,53 dalam rentang waktu ± 10 menit. *Error steady state* (Ess) pengujian ini adalah 0,4%.



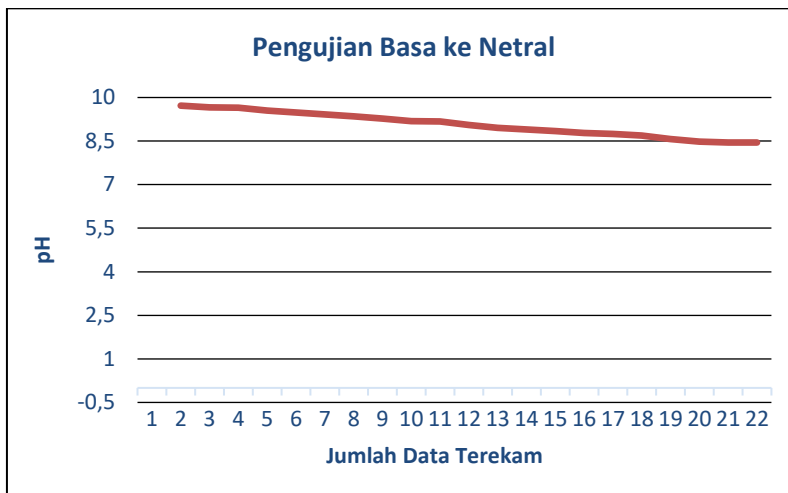
Gambar 4. Grafik Pengujian Kondisi Air Asam-Netral.

Berdasarkan hasil pengujian dari kondisi air asam menuju netral dapat disimpulkan bahwa sistem dapat bekerja dengan baik dalam menetralkan air dari kondisi asam menuju netral sesuai dengan perancangan.

3.4. Pengujian Sistem Pengendali Keasaman dari Kondisi Basa ke Netral

Gambar 5. merupakan grafik dari hasil pengujian pertama kondisi air dari basa dengan nilai pH awal 9,72 hingga kondisi air normal <8,5. Selama nilai pH air belum netral mencapai nilai netral, pompa akan terus menyala memompa cairan asam. Berdasarkan grafik pengujian, nilai pH

awal 9,72 hingga bernilai stabil netral sebesar 8,45 dalam rentang waktu ± 7 menit. *Error steady state* (Ess) pengujian ini adalah 0,59%.



Gambar 5. Grafik Pengujian Kondisi Air Basa-Netral

Berdasarkan hasil dari pengujian pertama dan pengujian kedua dari kondisi air basa menuju netral dapat disimpulkan bahwa sistem dapat bekerja dengan baik dalam menetralkan air dari kondisi basa menuju netral sesuai dengan perancangan.

3.5. Sistem Pemantauan

Data yang perlu dipantau ditampilkan pada OLED dan aplikasi *Blynk*. OLED dapat menampilkan data usia udang, data sisa berat pakan udang, data nilai pH air, data status pH air dan pemberitahuan apakah sudah diberi pakan atau belum. OLED menampilkan data dua tempat yang berbeda dengan tampilan data masing-masing tempat selama 5 detik. OLED juga menampilkan data pewartuan hari, tanggal, bulan, tahun dan juga jam secara *real-time*. Tampilan pada OLED dapat dilihat pada Gambar 6.a. dan Gambar 6.b. Gambar 6.c. merupakan tampilan nilai pH, status pH, sisa pakan, status pakan sudah diberi pakan berapa kali dan grafik dari nilai pH pada aplikasi *Blynk*.



(a)



(b)



(c)

Gambar 6. (a). dan (b). Tampilan pada Layar OLED. (c). Tampilan pada Aplikasi *Blynk*

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian sistem, dapat diambil kesimpulan bahwa sistem untuk pengendalian waktu tunda membuka dan menutup tempat pakan berjalan dengan baik dengan rata-rata error untuk aquarium pertama sebesar 2,86% dan rata-rata error untuk aquarium 2 sebesar 2,75%. Sistem pengendalian kondisi keasaman air semakin rendah nilai pH dari batas bawah yang telah ditetapkan yaitu 7,5, maka waktu yang dibutuhkan untuk ke nilai pH netral semakin lama. *Error Steady State* (Ess) dari pengujian asam ke netral sebesar 0,4%. Semakin tinggi nilai pH dari batas atas yang telah ditetapkan yaitu 8,5, maka semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk menetralkan kembali nilai pH tersebut. *Error Steady State* (Ess) dari pengujian basa sebesar 0,59%.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Sanata Dharma yang telah mendanai penelitian ini.

Referensi

- [1] Juanda, Muhammad Zenny Prananda, dkk. 2023. Sistem Otomatisasi Pengolahan Tambak Udang Dengan Pengaturan Sirkulasi Air, Ketinggian dan Pemberian Pakan Terintegrasi Internet of Things. *Jurnal Informatika dan Perancangan Sistem (JIPS)*, Vol. 5, No. 2.
- [2] Lekswina, Febby. 2020. *Sistem Pemberian Pakan Dua Tingkat Untuk Ikan Koi Dengan Kendali Jarak Jauh*. Tugas Akhir. Universitas Sanata Dharma.
- [3] I. Arditya, T.A. Setyastuti, F. Islamudin, and I. Dinata, "Design of Automatic Feeder for Shrimp Farming Based on Internet of Things Technology," *International Journal Mechanical Engineering Technologies and Applications*, vol. 2, no. 2, pp. 145-151, 2021.
- [4] Abdul Rofiq, Andi Shulfah, dkk. 2020. *Rancang Bangun Automatic Fish Feeder Berbasis Arduino*. *Journal of Electrical Engineering*, Vol.1, No. 1.
- [5] F.L. Toruan and M. Galina, "Internet of Things-Based Automatic Feeder and Monitoring of Water Temperature, pH, and Salinity for Litopenaeus Vannamei Shrimp," *Jurnal Teknik Elektro, Teknologi Informasi dan Komputer*, Vol. 7, Issue 1, June 2023, page. 9-20.
- [6] Bir, J., Golder, M.R., Biswas, S.K., Islam, S.S., Kumar, R. dan Huq, K.A., "Application of probiotics and prebiotics for promoting growth of Tiger shrimp (*Penaeus monodon*): an approach to eco-friendly shrimp aquaculture," *Int. J. Agril. Res. Innov. Tech.* 10(2):15-20, ISSN: 2224-0616.
- [7] Putri, Novia Indriani. 2020. *Sistem Monitoring Dan Pengendalian Jarak Jauh Tingkat Keasaman Dan Salinitas Kolam Ikan Koi*. Tugas Akhir. Universitas Sanata Dharma.
- [8] [The Internet of Things: Getting Started with Blynk \(tinycircuits.com\)](https://www.tinycircuits.com/). (diakses pada tanggal 20 November 2023).
- [9] Moses Gregoryan, Justinus Andjarwirawan, dkk. 2019. Sistem Kontrol dan Monitoring pH Air Serta Kepekatan Nutrisi Pada Budidaya Hidroponik Jenis Sayur Dengan Teknik Deep Flow Technique. *Jurnal Infra*, Vol 7, No.2.
- [10] Sa'ad Rosyidi, Muhammad, dkk. *Rancang Bangun Alat Pembersih dan Penyortir Ukuran Telur Asin Berbasis Arduino Mega 2560*. *Jurnal Skripsi*. Institusi Teknologi Nasional, Malang.

Implementasi *Wireless Sensor Network* Pada Sistem Monitoring Suhu Ruangan Rumah

Implementation Of A Wireless Sensor Network In A Home Room Temperature Monitoring System

Isma Aprilia¹, Yayang Helma², Akhmad Fauzi Ikhsan³, Tri Arif Wiharso⁴

^{1,2,3,4}Fakultas Teknik Universitas Garut

Garut, Jawa Barat, 44151, Indonesia

ismaaprilialia415@gmail.com¹, yayanghelma024@gmail.com²,

akhmadfauzi@uniga.ac.id³

Abstrak - Jaringan Sensor Nirkabel (*Wireless Sensor Network*) telah menjadi teknologi yang berkembang pesat dengan potensi aplikasi luas, termasuk dalam pemantauan suhu ruangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengatasi tantangan dalam sistem pemantauan suhu ruang dengan merancang komunikasi pengiriman data pada jaringan sensor nirkabel (*Wireless Sensor Network*) serta mengimplementasikan sistem monitoring menggunakan *Human Machine Interface (HMI)*. Penelitian ini mengusulkan sistem monitoring suhu ruangan menggunakan jaringan nirkabel dengan sensor suhu DHT 11 dan modul komunikasi NRF24L01. Sistem terdiri dari Node sensor yang mengumpulkan data suhu dan mengirimkannya ke base station melalui komunikasi nirkabel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa node-node berhasil terhubung dengan efisien menunjukkan konektivitas antar node tanpa penghalang dengan jarak 30 meter packet loss 0% dengan rata-rata delay sekitar 2,10 detik, konektivitas antar node dengan penghalang packet loss 0% dengan rata-rata delay 3,62 detik dan 3,50 detik. Pengujian menggunakan mekanisme single hop, ketika tidak ada penghalang dengan jarak 3 meter packet loss 0%. Namun, pada jarak 4 meter dalam kondisi penghalang dan interferensi sinyal terjadi penurunan dengan tingkat packet loss mencapai 70%. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem monitoring suhu ruangan menggunakan jaringan nirkabel, namun perlu mempertimbangkan faktor-faktor seperti penghalang dan interferensi sinyal untuk meningkatkan stabilitas dan kinerja jaringan sensor nirkabel.

Kata kunci : DHT 1, *Human Machine Interface*, NRF24L01, *Wireless Sensor Network*

Abstract - *Wireless Sensor Networks* have become a rapidly developing technology with wide application potential, including in room temperature monitoring. This research aims to overcome challenges in room temperature monitoring systems by designing data transmission communications on a wireless sensor network and implementing a monitoring system using a *Human Machine Interface (HMI)*. This research proposes a room temperature monitoring system using a wireless network with a DHT 11 temperature sensor and an NRF24L01 communication module. The system consists of sensor nodes that collect temperature data and send it to the base station via wireless communication. The results of the research show that the nodes were successfully connected efficiently showing connectivity between nodes without barriers with a distance of 30 meters, 0% packet loss with an average delay of around 2.10 seconds, connectivity between nodes with barriers, 0% packet loss with an average delay 3.62 seconds and 3.50 seconds. Testing uses a single hop mechanism, when there are no obstacles at a distance of 3 meters packet loss is 0%. However, at a distance of 4 meters in conditions of obstructions and signal interference there is a decrease with the packet loss rate reaching 70%. This research contributes to the development of a room temperature monitoring system using wireless networks, but needs to consider factors such as obstructions and signal interference to improve the stability and performance of wireless sensor networks.

Keyword : DHT 11, *Human Machine Interface*, NRF24L01, *Wireless Sensor Network*.

1. Pendahuluan

Pada penerapan WSN dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam pemantauan suhu secara otomatis melalui penempatan sensor-sensor yang berkomunikasi nirkabel [2]. Node-node pada *Wireless Sensor Network* (WSN) bertugas untuk mengumpulkan data dari pengamatan yang dilakukan dan mengirimkan data tersebut ke pusat data. Data yang dikumpulkan dapat beragam, seperti suhu udara dan parameter lainnya. Kenyamanan dalam ruangan menjadi perhatian utama bagi banyak individu, karena kenyamanan tersebut dapat memengaruhi kualitas kerja dan aktivitas sehari-hari. Salah satu faktor yang signifikan dalam menciptakan kenyamanan ruangan adalah suhu. Perubahan cuaca yang tidak menentu dapat mempengaruhi suhu ruangan, dan monitoring suhu menjadi solusi penting untuk menjaga kenyamanan[3]. Saat ini, monitoring suhu masih dilakukan secara manual, namun perkembangan teknologi *Wireless Sensor Network* (WSN) memungkinkan monitoring secara otomatis dengan penempatan sensor-sensor yang berkomunikasi nirkabel. Dari permasalahan tersebut maka penulis dalam penelitian ini ingin membangun sistem monitoring suhu ruang dengan jaringan nirkabel yang terdiri dari *sensor node* yang berfungsi sebagai titik pemasangan sensor serta *base station* yang bertugas sebagai pusat pengumpulan data. Sensor DHT11 digunakan sebagai alat pendeteksi suhu dalam sistem ini. Sensor tersebut terhubung ke Arduino Uno, dan kemudian data dari sensor tersebut diteruskan menggunakan modul NRF24L01. Data yang dibaca oleh sensor suhu akan diteruskan ke modul NRF24L01, kemudian disampaikan ke server untuk pengolahan data lebih lanjut yang ditampilkan dalam bentuk HMI (*Human Machine Interface*) untuk memudahkan operator dalam pengoperasiannya.

2. Metode Penelitian

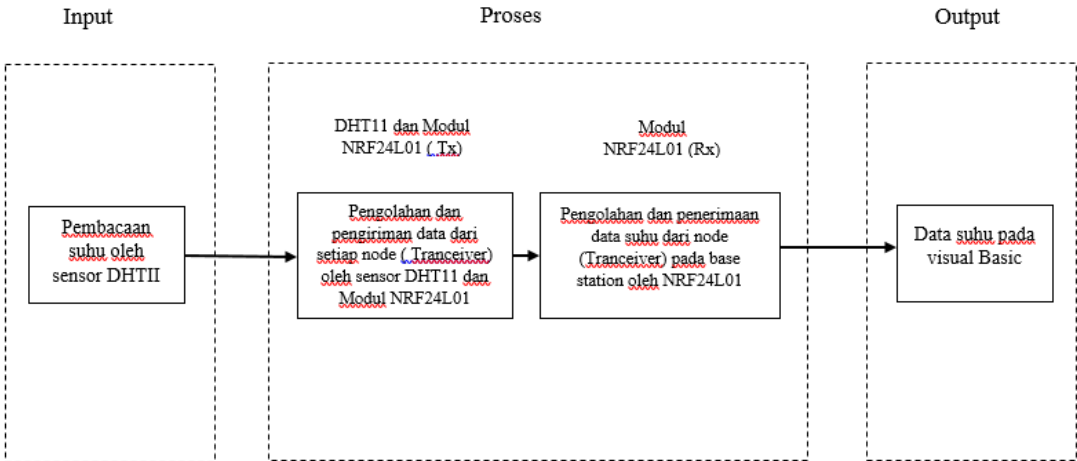
Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan metode studi literatur, perancangan dan perakitan sistem serta uji coba. Metode studi literatur yaitu metode yang menjelaskan pengumpulan literatur-literatur dan kajian-kajian yang berkorelasi dengan skripsi, yang dilanjutkan dengan perancangan dan perakitan sistem yaitu membuat meliputi perancangan rangkaian serta penalaran metode yang digunakan, lalu uji coba yaitu agar mengetahui apakah sistem berfungsi dengan baik atau ada kegagalan dalam proses perakitan dan perancangannya [3].

2.1. Alat dan Bahan

Tabel 1 Alat dan Bahan

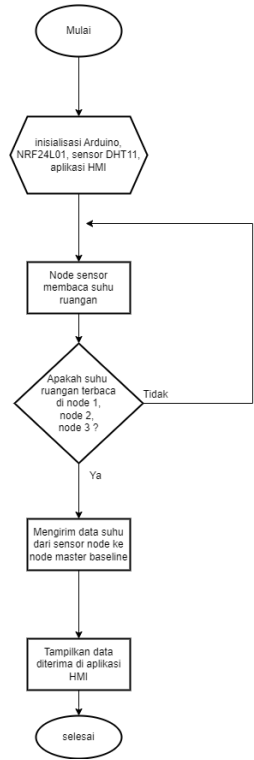
No.	Perangkat Keras	Kegunaan
1.	Modul NRF24L01	Modul komunikasi jarak jauh yang beroperasi pada rentang gelombang RF 2,4-2,5 GHz.
2.	Sensor DHT11	Sensor suhu dan kelembapan.
3.	Arduino Uno	Pelaksana instruksi atau program, pengendali sistem serta sebagai pusat pengolah data digital.
	Perangkat Lunak	Kegunaan
1.	IDE Visual Basic 6.0	Software untuk membuat aplikasi penampil data <i>monitoring</i> .
2.	Arduino IDE	Digunakan untuk media pemrograman perangkat Arduino

2.2. Diagram Blok



Gambar 7 Diagram Blok

2.3. Flow Chart



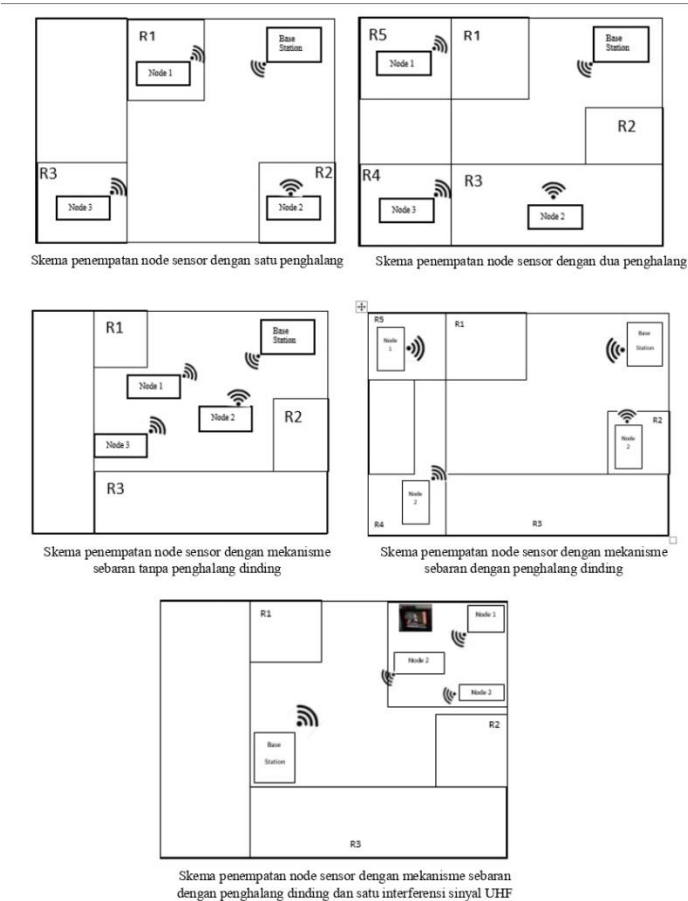
Gambar 2 Flowchart Sistem Keseluruhan

3. Hasil dan Pembahasan

Data hasil pengujian didapatkan melalui beberapa kali percobaan, data yang ditampilkan merupakan data yang memenuhi kriteria keberhasilan. Dibawah ini merupakan data-data dari hasil pengujian yang dilakukan.

3.1. Pengujian Koneksi Node Berdasarkan Jarak

Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi konektivitas yang terdapat pada setiap node, serta mengukur *delay* waktu yang terjadi dalam pengujian tanpa adanya penghalang yang dilakukan sebanyak sepuluh kali percobaan. Gambar 3 merupakan skema penempatan sensor node pada saat pengujian.



Gambar 3 Skema Penempatan Node

Tabel 2 Pengujian Konektivitas Tx-Rx berdasarkan Jarak

Jarak Pengiriman (Tranceiver)	Respon Konektivitas di Pengirim (Receiver)	Jarak Pengiriman (Tranceiver)	Respon Konektivitas di Pengirim (Receiver)
1 m	Terkoneksi	16 m	Terkoneksi
2 m	Terkoneksi	17 m	Terkoneksi
3 m	Terkoneksi	18 m	Terkoneksi
4 m	Terkoneksi	19 m	Terkoneksi
5 m	Terkoneksi	20 m	Terkoneksi

Jarak Pengiriman (Tranceiver)	Respon Konektivitas di Pengirim (Receiver)	Jarak Pengiriman (Tranceiver)	Respon Konektivitas di Pengirim (Receiver)
6 m	Terkoneksi	21 m	Terkoneksi
7 m	Terkoneksi	22 m	Terkoneksi
8 m	Terkoneksi	23 m	Terkoneksi
9 m	Terkoneksi	24 m	Terkoneksi
10 m	Terkoneksi	25 m	Terkoneksi
11 m	Terkoneksi	26 m	Terkoneksi
12 m	Terkoneksi	27 m	Terkoneksi
13 m	Terkoneksi	28 m	Terkoneksi
14 m	Terkoneksi	29 m	Terkoneksi
15 m	Terkoneksi	30 m	Terkoneksi
		31 m	Tidak terkoneksi

3.2. Pengujian Konektivitas Node Berdasarkan Sebaran Tanpa Penghalang Dalam Ruangan (Indoor)

Pengujian ini dilakuukan untuk mengevaluasi konektivitas yang terdapat pada setiap node, serta mengukur *delay* waktu yang terjadi dalam pengujian tanpa adanya penghalang yang dilakukan sebanyak sepuluh kali percobaan. Gambar 3 merupakan skema penempatan sensor node pada saat pengujian,

Tabel 3. Delay waktu Konektivitas Node Tanpa Penghalang

Pengujian ke	Penghalang	Delay Waktu (detik)	Respon Konektivitas
1	Tidak ada dinding	1,56	Terkoneksi
2	Tidak ada dinding	3,57	Terkoneksi
3	Tidak ada dinding	2,41	Terkoneksi
4	Tidak ada dinding	1,23	Terkoneksi
5	Tidak ada dinding	2,68	Terkoneksi
6	Tidak ada dinding	1,61	Terkoneksi
7	Tidak ada dinding	1,72	Terkoneksi
8	Tidak ada dinding	3,30	Terkoneksi
9	Tidak ada dinding	1,62	Terkoneksi
10	Tidak ada dinding	1,38	Terkoneksi
Rata-rata Delay	2,10 detik		

3.3. Pengujian Konektivitas Node Berdasarkan Sebaran Dengan Penghalang Dalam Ruang (Indoor)

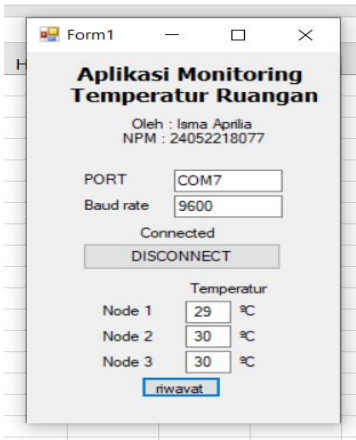
Pengujian ini dilakukan untuk konektivitas dan delay waktu dengan melakukan mekanisme sebaran dengan beberapa penghalang. Untuk mekanisme yang pertama antara Node 3 dan Node 2 terdapat satu penghalang dinding dengan jarak 7 meter, Node 3 dan Node 1 terdapat satu penghalang dinding dengan jarak 9 meter, dan yang terakhir Node 1 dan Node 2 terdapat satu penghalang dinding dengan jarak 6 meter. Skema penempatan node sensor pada pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 4.

Tabel 4 Delay waktu Konektivitas Node Dengan Penghalang Satu Dinding

Pengujian Ke	Penghalang	Delay Waktu (detik)	Respon Konektivitas
1	1 dinding	3,15 detik	Terkoneksi
2	1 dinding	1,52 detik	Terkoneksi
3	1 dinding	4,17 detik	Terkoneksi
4	1 dinding	6,94 detik	Terkoneksi
5	1 dinding	3,38 detik	Terkoneksi
6	1 dinding	1,93 detik	Terkoneksi
7	1 dinding	3,29 detik	Terkoneksi
8	1 dinding	3,23 detik	Terkoneksi
9	1 dinding	5,56 detik	Terkoneksi
10	1 dinding	3,57 detik	Terkoneksi
Rata-rata Delay	3,62 detik		

Pada Tabel 4. dapat diketahui waktu yang diperlukan dari saat sensor node dinyalakan hingga data suhu dikirimkan, dan kemudian waktu yang diperlukan oleh base station untuk membaca data suhu yang diterima, dapat ditarik kesimpulan bahwa tingkat konektivitas pada setiap node menunjukkan konsistensi yang relatif sama, dengan rata-rata delay 3,50 detik.

3.4. Pengujian Pengiriman Data Dengan Mekanisme Sebaran Tanpa Penghalang



Gambar 4 Tampilan Aplikasi Monitoring Suhu

Tabel 5 Tabel Packet Loss Tanpa Penghalang

Jarak antar Node	Durasi	Data yang dikirim	Data yang diterima dari node 1	Packet loss	Data yang diterima dari node 2	Packet loss	Data yang diterima dari node 3	Packet loss
3 meter	40 detik	20	20	0%	20	0%	20	0%

Tabel 5. Merupakan hasil pengujian pengiriman data sensor pada jarak antar node sejauh 3 meter. Ketiga node berhasil mengirim data dengan sukses masing-masing mentransmisikan sebanyak 20 paket data dalam waktu 40 detik dan dengan tingkat *packet loss* yang mencapai 0%.

3.5. Pengujian Pengiriman Data Dengan Mekanisme Sebaran Dengan Adanya Penghalang

Pada tahap pengujian ini interaksi antara sensor node 1, sensor node 2, dan sensor node 3 ditempatkan di sepanjang satu penghalang dinding. Dalam skenario ini, jarak antar setiap node diperlebar menjadi 4 meter.

Pada Tabel 6 hasil pengujian pengiriman data antar node. Node 1 menunjukkan hasil yang sangat memuaskan, dengan keseluruhan 20 paket data yang berhasil diterima tanpa satu pun kehilangan paket dengan *packet loss* sebesar 0%. Node 2 kehilangan paket data dalam proses pengiriman data hanya 15 paket yang berhasil diterima dari total paket yang dikirimkan, menghasilkan tingkat *packet loss* sebesar 25%. Node 3 mencapai tingkat kinerja yang memadai dengan menerima 19 paket data dari total yang dikirimkan, meskipun dengan tingkat kehilangan paket sebesar 5%. Hal ini memberikan indikasi bahwa node 3 dapat mengatasi sebagian besar *noise* dalam pengiriman data, namun mungkin masih memerlukan peningkatan untuk mengurangi tingkat *packet loss*.

Tabel 6 Tabel Packet Loss Dengan Penghalang

Jarak antar Node	Durasi	Data yang dikirim	Data yang diterima dari node 1	Packet loss	Data yang diterima dari node 2	Packet loss	Data yang diterima dari node 3	Packet loss
4 meter	40 Detik	20	20	0%	15	25%	19	5%

Tabel 7 merupakan hasil pengujian dimana node 1, node 2, dan node 3 ditempatkan dalam kondisi satu penghalang fisik dan gangguan dari sinyal UHF. Node 1 menerima sebanyak 18 paket data dari total 20 paket yang dikirimkan dalam rentang waktu 40 detik. Meskipun berhasil mengirimkan mayoritas paket, node 1 mengalami tingkat *packet loss* sebesar 10%. Node 2 hanya berhasil menerima 6 paket dari total 20 paket yang dikirim kehilangan paket sebesar 70%. Hal ini menunjukkan bahwa adanya hambatan dalam komunikasi antara node 2 dan node lainnya berdampak negatif dari keberadaan penghalang fisik dan interferensi sinyal UHF antenna. Node 3 mencapai tingkat kinerja yang relatif baik dengan menerima 14 paket data dari total 20 paket yang dikirim, meskipun mengalami tingkat *packet loss* sebesar 30%. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun kondisi lingkungan yang sulit node 3 masih mampu mempertahankan koneksi yang relatif stabil.

Tabel 7 Tabel Packet loss Dengan Penghalang

Jarak antar Node	Durasi	Data yang dikirim	Data yang diterima dari node 1	Packet loss	Data yang diterima dari node 2	Packet loss	Data yang diterima dari node 3	Packet loss
3 meter	40 Detik	20	18	10%	6	70%	14	30%

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pada pengujian konektivitas node-node berhasil terhubung secara efisien. Tanpa adanya penghalang dalam ruangan dengan rata-rata *delay* sekitar 2,10 detik dengan jarak maksimal 30 m. Pada kondisi dengan satu dinding penghalang tingkat konektivitas dengan rata-rata *delay* sekitar 3,62 detik. Pada kondisi dua dinding penghalang, node menunjukkan tingkat konektivitas, dengan rata-rata *delay* 3,50 detik. Pada kondisi tiga penghalang node mengalami kesulitan dalam menjalin konektivitas, disebabkan oleh banyaknya penghalang yang menghambat jalur komunikasi. Pada pengujian sebaran tanpa penghalang pada jarak 3 meter menunjukkan konektivitas dengan tingkat *packet loss* 0%. Pengiriman data dengan penghalang pada jarak 4 meter menunjukkan dampak negative terutama pada node 2 dengan tingkat *packet loss* 25% dan node 3 sebesar 5%. Pengujian dengan penghalang dan interferensi sinyal UHF antenna memperlihatkan penurunan konektivitas dengan tingkat *packet loss* node 2 mencapai 70% dan node 3 sebesar 30%.

Ucapan Terima Kasih

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian ini. Penulis menyadari bahwa penelitian ini tidak akan berjalan dengan baik tanpa bimbingan, bantuan dan dukungan moral dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Garut dan pihak lain yang telah memberikan kerjasama dalam penelitian ini.

Referensi

- [1] B. H. Assiddiq, R. Munadi, and ..., "Perancangan Dan Analisa Sistem Kenyamanan Ruangan Yang Terkontrol Berbasis Wireless Sensor Network," *eProceedings ...*, vol. 4, no. 3, pp. 3680–3687, 2017, [Diakses pada 20 Februari 2023]. Available: <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/5036%0Ahttps://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/download/5036/5007>.
- [2] O. N. Samijayani and I. Fauzi, "Perancangan Smart Home Berbasis Jaringan Sensor Nirkabel," *J. Al-AZHAR Indones. SERI SAINS DAN Teknol.*, vol. 3, no. 2, p. 76, 2017, doi: 10.36722/sst.v3i2.188.
- [3] D. R. A. H. Faqih Rofii, Fachrudin Hunaini, "Pengukuran Jangkauan Jaringan Sensor Nirkabel Multihop pada Pemantauan Suhu dan kelembaban," *Fak. Tek. Univ. Widyagama Malang*, vol. 5, no. 1, pp. 58–65, 2017.
- [4] Q. H. Fathur Zaini Rachman, Armin, Nur Yanti, "Implementasi Jaringan Sensor Nirkabel Zigbee Menggunakan Topologi Mesh," no. April, 2018, doi: 10.25126/jtiik.201743438.
- [5] C. D. Rumahorbo, M. Hannats, H. Ichsan, and A. S. Budi, "Implementasi Wireless Sensor Network pada Sistem Keamanan Rumah menggunakan Sensor PIR dan Fingerprint,"

Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer Universitas Brawijaya, vol. 3, no. 10, pp. 9386–9394, 2019.

- [6] A. Kurniawan, R. Munadi, and R. Mayasari, “Implementasi dan Analisa Jaringan Wireless Sensor Untuk Monitoring Suhu , Kelembaban dan Kadar CO2 Pada Ruangan,” *Semin. Nas. Inov. dan Apl. Teknol. di Ind.*, pp. 20–25, 2016.

ID: 25

Sumber Daya PLTS Mini dan Kendali Salinitas yang Termonitor IoT pada Model Tambak Udang Vanname

IoT Monitored Mini Solar Power Plant Resources and Salinity Control in the Vanname Shrimp Pond Model

Yohanes Priyanto Seli Laka¹, Damar Widjaja^{2*}

^{1,2} Program Studi Teknik Elektro, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta
Paingan, Maguwoharjo, Depok, Sleman, Yogyakarta
rianlaka6@gmail.com¹, damar@usd.ac.id^{2*}

Abstraks- Penggunaan PLTS sebagai sumber daya listrik menawarkan solusi energi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan untuk operasional tambak udang. PLTS memanfaatkan sinar matahari sebagai sumber energi, yang kemudian diubah menjadi listrik untuk mendukung berbagai kebutuhan operasional tambak, termasuk sistem pompa, aerasi, dan perangkat kendali lainnya, yang salah satu hal penelitian ini adalah kendali salinitas.

Sistem kendali salinitas berbasis IoT memungkinkan monitoring dan pengendalian tingkat salinitas air secara real-time. Dengan sensor-sensor salinitas yang terhubung melalui jaringan IoT, data salinitas air dikumpulkan dan dianalisis secara otomatis. Sensor INA219, yang digunakan untuk mengukur konsumsi daya, juga dapat diterapkan dalam sistem ini. Hal ini memungkinkan petani udang untuk memantau kondisi tambak dari jarak jauh melalui perangkat seperti smartphone atau komputer, serta mengambil tindakan cepat jika terdapat perubahan signifikan pada salinitas yang dapat mempengaruhi kesehatan dan pertumbuhan udang vaname.

PLTS mini pada model tambak udang dapat bekerja dengan baik dan mencatu dengan daya yang cukup untuk menjalankan semua sub sistem yang ada. Pada kondisi baterai penuh, pengisian baterai dengan PLTS hanya membutuhkan tegangan rata-rata 13,8 V. Proses penetralan kondisi salinitas air berjalan dengan baik. Sistem mampu menetralkan kondisi salinitas rendah ke salinitas normal dengan $Ess = 1,72\%$ dan salinitas tinggi ke salinitas normal dengan $Ess = 1,2\%$.

Kata kunci: PLTS, salinitas, pemantauan, pengendalian, IoT.

Abstract - The use of Solar Power Plant as a power source offers an environmentally friendly and sustainable energy solution for shrimp farm operations. Solar Power Plant utilizes sunlight as an energy source, which is then converted into electricity to support various operational needs of the farm, including pumping systems, aeration, and other control devices.

The IoT-based salinity control system enables real-time monitoring and control of water salinity levels. With salinity sensors connected via an IoT network, water salinity data is collected and analyzed automatically. The INA219 sensor, which is used to measure power consumption, can also be implemented in this system. This allows shrimp farmers to remotely monitor pond conditions through devices such as smartphones or computers, and take quick action in the event of significant salinity changes that may affect the health and growth of vaname shrimp.

Mini solar power plant can work well and adequately supply the whole system for working normally. When the battery is full, battery charging from mini solar power plant only need 13,8V. Neutralization process also work well. System capable of neutralize from low salinity to normal condition with $Ess = 1,72\%$ and from high salinity to normal condition with $Ess = 1.2\%$.

Keywords: Solar Power Plant, salinity, monitoring, controlling, IoT.

1. Pendahuluan

Udang Vanname (Litopenaeus Vanname) merupakan salah satu jenis komoditas perikanan yang memiliki nilai ekonomis tinggi, baik di pasar domestik maupun global [1]. Budidaya udang vanname penting dalam memenuhi kebutuhan pasar di dalam dan luar negeri.

Salah satu aspek penting dalam meningkatkan kualitas dan produktivitas tambak udang adalah pemantauan dan pengendalian sumber energi listrik dan salinitas pada tambak udang. Optimalisasi penggunaan panel surya perlu dilakukan dengan pemantauan parameter panel surya secara rutin [2]. Kondisi lingkungan tambak terkait erat dengan kualitas air yang salah satunya dipengaruhi oleh kadar garam atau salinitas [3]. Budidaya udang dengan kondisi lingkungan yang tidak sehat dapat menyebabkan udang terserang penyakit dan dapat menyebabkan kematian.

Penelitian sebelumnya dengan topik “Rancang Bangun Sistem Tenaga Surya Tambak Udang Sebagai Penggerak Aerator” yang dilakukan oleh Ahmad Roshid Idris dan Salma Taha membutuhkan total beban harian sebesar 11.102 Watt [4]. Beban harian ini terdiri dari motor DC penggerak roda dan lampu penerangan jalan dan rumah kolam. Beban harian memerlukan 5 buah baterai berkapasitas 240 AH dan 10 modul surya dengan daya *output* 300 Wp per modul.

Sistem monitoring pengendalian salinitas air tambak berbasis IoT LoRa juga telah dibuat oleh Ahmad Reza Hakimi et al. [5]. Walaupun alat ini dapat mengontrol dan memonitor salinitas air tambak, namun mempunyai kelemahan yaitu waktu pengendalian yang cukup lama. Nilai standar deviasi *error* yang diukur pada awal stabilisasi kondisi adalah 0,24 ppt. LoRa dapat mengirimkan data melalui jarak kurang lebih 600meter saat diuji secara *real time* di sebuah peternakan.

Tujuan penelitian ini adalah membuat alat untuk model tambak udang vanname, dengan PLTS sebagai sumber daya listrik [6]. Pengecekan salinitasnya dan monitoring serta pengendalian kebutuhan listrik pada setiap subsistem tambak udang Vaname dilakukan secara online dengan platform IoT Blynk [7]. Blynk akan menjadi web server yang akan menerima data dari sensor INA219 [8] dan sensor TDS [9]. Selain di aplikasi Blynk pada *smartphone*, beberapa data juga ditampilkan onsite di OLED.

2. Metode Penelitian

2.1. Perancangan Hardware

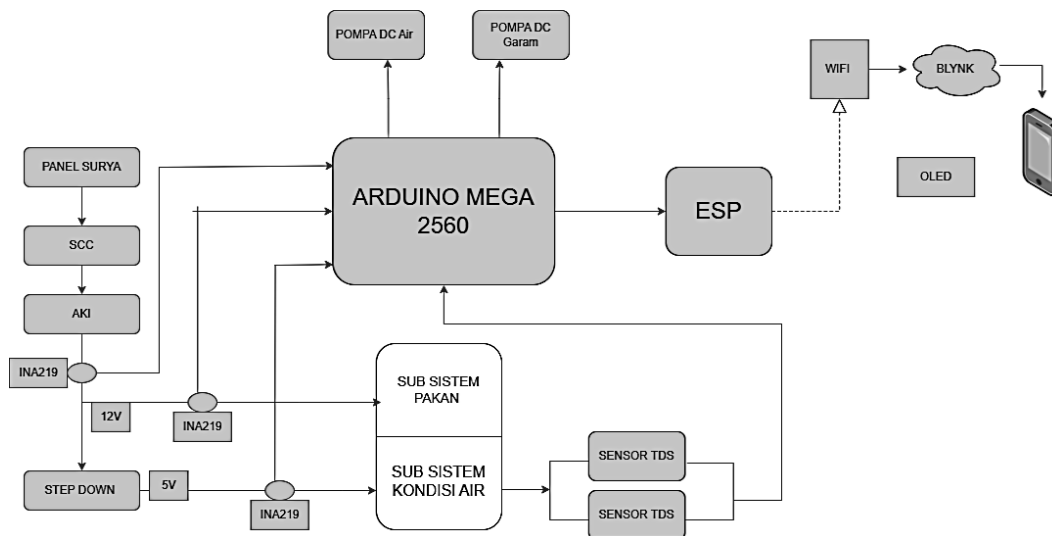
Perancangan *hardware* secara umum ditunjukkan dengan blok diagram sistem seperti terlihat pada Gambar 1. Secara umum sistem ini terdiri dari beberapa bagian, yaitu *input*, proses dan *output*. Terdapat dua buah sensor *input* yaitu sensor TDS yang digunakan untuk mendeteksi tingkat salinitas pada air dan tiga sensor INA219 untuk mengetahui penggunaan sumber energi disetiap sub sistem pada tambak udang.

Secara umum, alat ini terbagi menjadi alat pengendalian salinitas otomatis dan pemantauan penggunaan sumber daya sistem secara keseluruhan. Sistem penetral kondisi salinitas air akan bekerja ketika pH air kurang dari 25 ppt dan lebih dari 25 ppt. Sistem bekerja memompa air ketika kondisi salinitas air lebih dari 25 ppt dan memompa cairan garam ketika kondisi salinitas air kurang dari 25 ppt.

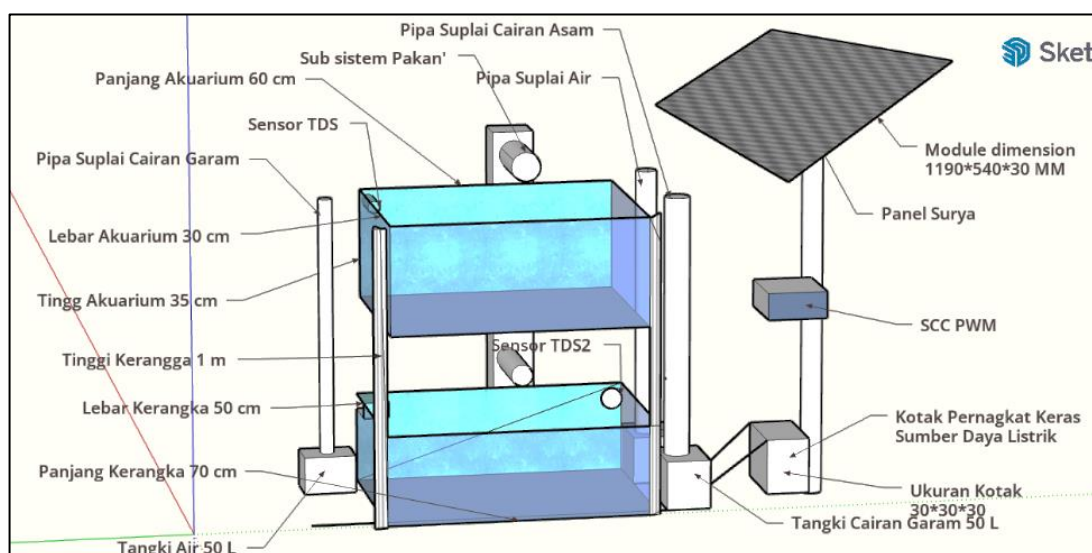
Data yang terbaca oleh kedua sensor tersebut akan diproses oleh Arduino Mega yang nantinya akan mengirim perintah pada pompa DC untuk pengendalian kualitas air. Data yang sudah diproses oleh Arduino Mega dikirimkan ke ESP32 yang terkoneksi internet dan ke OLED. Data dari ESP32 akan dikirimkan ke *server* Blynk untuk diolah dan ditampilkan di aplikasi Blynk di *smartphone* atau di *dashboard website* Blynk.

Gambar 2 menunjukkan visualisasi 3D dari sistem yang dibuat. Model tambak udang dibuat dengan aquarium ukuran panjang 60 cm, lebar 30 cm, dan tinggi 35 cm sebanyak dua aquarium

dengan kondisi air model tambak yang diatur berbeda. Dengan dua kondisi air tambak yang berbeda, pengujian dapat dilakukan dengan lebih menyeluruh dan lebih akurat.



Gambar 20. Blok Diagram Sistem.

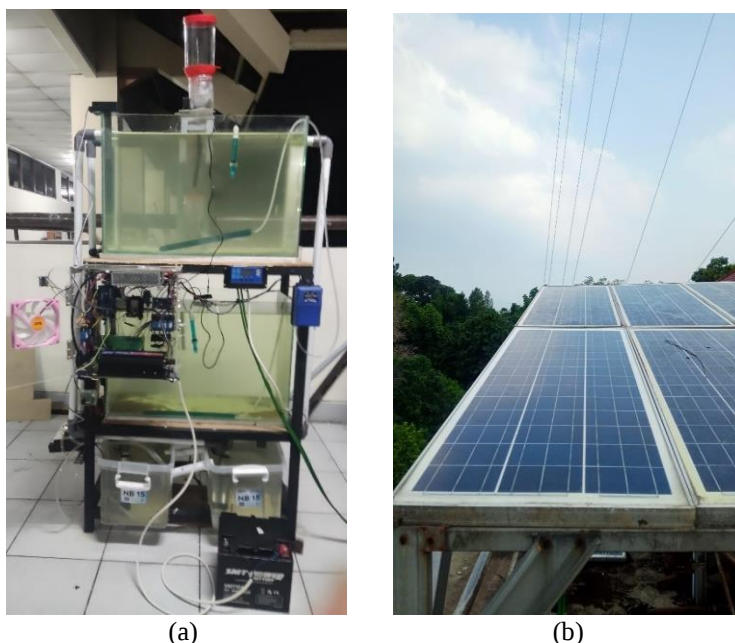


Gambar 2. Visualisasi 3D Sistem.

2.2. Implementasi Sistem

Gambar 3 menunjukkan implemetasi sistem. Dua area tambak udang dimodelkan dengan dua akuarium dengan kondisi awal air diatur dalam tingkat salinitas yang berbeda. Masing-masing akuarium mempunyai sistem pemantauan daya dan pengendalian salinitas yang identik. Namun dengan kondisi awal air yang berbeda, kedua perangkat dalam dua akuarium dapat melakukan penetralan sesuai dengan kondisi masing-masing.

PLTS mini sebagai sumber daya listrik digunakan bersama2 oleh dua model tambak udang. *Solar cell* mini diletakkan di atas sistem dan menggunakan satu SCC dan satu baterai yang sama. Baterai bertegangan 12 V digunakan untuk mencatu tegangan ke semua perangkat di dua model tambak udang. PLTS mini ini juga mencatu semua kebutuhan daya di dua sub-sistem yang lain, yaitu sub-sistem pemberian pakan dan sub-sistem kondisi air.



Gambar 3. Implementasi Sistem. (a) Model tambak udang dengan 2 akuarium. (b). *Solar cell* di atas model tambak sebagai sumber daya listrik

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengujian Sensor INA219

Pengujian sistem dilakukan pada tiga buah sensor INA219. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui berapa tegangan, arus dan daya yang dihasilkan panel sebagai penghasil sumber listrik. Pengambilan data dilakukan ketika semua sistem aktif dan saat terjadi pengisian baterai/aki. Hasil pengujian pengisian aki dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 6. Pengujian Pengisian Aki

No	Jam	Rata - Rata Pembacaan INA219		
		Tegangan	Arus	Daya
1	8	14.241	200.6	2888
2	9	13.795	178.5	2462
3	10	13.72	174.8	2430
4	11	13.586	174.7	2604
5	12	13.577	172.6	2326

Tabel 1 menunjukkan pengujian pembacaan sensor yang dilakukan dengan menggunakan fixed panel surya dari pukul 08:00 sampai pukul 12:00 pada saat kondisi matahari sedang terik. Pembacaan sensor membaca tegangan dan arus selalu sama dari jam 08:00 sampai pukul 12:00 13V - 14V dan arus dari 172 mA – 200 mA. Karena kondisi baterai yang masih penuh, pembacaan pengisian selalu sama.

3.2. Kalibrasi Sensor TDS

Pengukuran nilai salinitas menggunakan dua modul sensor TDS. Modul TDS yang sudah terhubung dengan *probe* TDS ditempatkan di dalam air pada *aquarium* pertama dan *aquarium* kedua selama proses berlangsung. Sebelum sensor digunakan, kedua sensor tersebut perlu dikalibrasi terlebih dahulu. Kalibrasi sensor dilakukan dengan membandingkan nilai yang tertera pada sensor dengan alat ukur pembanding. Jika sudah sesuai, sensor dapat digunakan secara terus menerus.

Proses kalibrasi dilakukan dengan mengukur kadar larutan garam menggunakan sensor TDS. Data hasil kalibrasi berupa nilai analog dari data sensor TDS kemudian dikonversikan atau dimasukkan ke dalam persamaan kuadrat $y = ax^2+bx+c$, dengan y adalah nilai salinitas dan x adalah nilai ADC agar menjadi sebuah parameter salinitas. Tabel 2. menunjukkan hasil dari pengujian tingkatan salinitas.

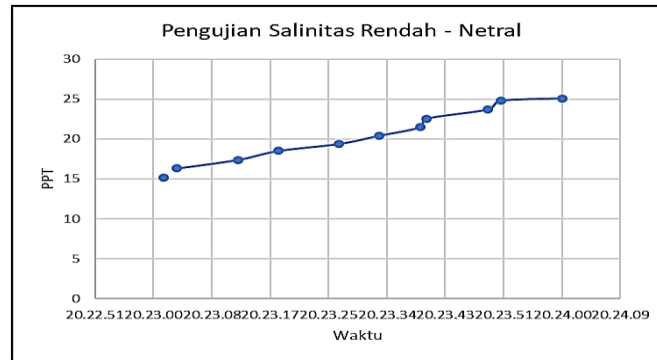
Tabel 2. Tingkatan Salinitas

No	Garam (gram)	Air (liter)	PPT(X)	Percobaan 1-10 untuk nilai ADC										Rata-rata ADC (Y)
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	0 g	1 L	0	161	161	161	161	161	160	160	160	160	161	160,6
2	1 g	1 L	1	205	204	206	204	205	204	205	205	207	206	205,1
3	2 g	1 L	2	261	262	282	269	255	258	273	273	245	260	263,8
4	3 g	1 L	3	305	304	307	306	305	304	306	305	305	306	305,3
5	4 g	1 L	4	396	395	397	393	398	395	396	398	398	397	396,3
6	5 g	1 L	5	409	409	412	409	412	408	412	407	409	409	409,6
7	6 g	1 L	6	451	449	453	454	453	455	456	452	448	449	452
8	7 g	1 L	7	477	476	479	478	476	477	474	476	479	475	476,7
9	8 g	1 L	8	515	516	515	523	512	511	513	512	513	514	514,4
10	9 g	1 L	9	520	521	520	523	523	522	522	524	523	522	522
11	10 g	1 L	10	535	536	535	533	532	531	533	532	533	534	533,4
12	11 g	1 L	11	550	553	553	554	555	556	556	557	558	556	554,8
13	12 g	1 L	12	562	561	563	563	564	563	563	565	565	566	563,5
14	13 g	1 L	13	572	573	575	573	572	571	573	572	573	574	572,8
15	14 g	1 L	14	590	599	595	600	601	599	598	597	598	598	597,5
16	15 g	1 L	15	615	616	615	623	612	611	613	612	613	614	614,4
17	16 g	1 L	16	650	653	653	654	655	656	656	657	658	656	654,8
18	17 g	1 L	17	672	673	675	673	672	671	673	672	673	674	672,8
19	18 g	1 L	18	685	685	688	688	685	685	684	685	687	687	685,9
20	19 g	1 L	19	692	693	693	692	693	692	694	693	693	694	692,9
21	20 g	1 L	20	685	685	688	688	685	685	684	685	687	687	685,9
22	21 g	1 L	21	698	698	698	698	699	699	699	698	697	699	698,3
23	22 g	1 L	22	702	702	703	704	705	704	704	703	704	704	703,5
24	23 g	1 L	23	706	706	707	707	706	707	709	709	708	708	707,3
25	24 g	1 L	24	710	711	712	711	712	713	711	712	713	715	712
26	25 g	1 L	25	721	722	724	723	724	725	724	725	726	725	723,9

Berdasarkan hasil pengujian salinitas pada Tabel 1 dapat disimpulkan bahwa dengan melakukan penambahan 1gram garam ke dalam 1liter air, nilai salinitas pada pada pengujian pembacaan sensor sudah sesuai dengan nilai ppt yang seharusnya.

3.3. Pengujian Sensor Salinitas Rendah - Netral

Gambar 4. merupakan grafik pengujian sensor TDS pada dua model tambak dilakukan pada suhu 28°C. Nilai awal salinitas adalah 15 ppt dan ditingkatkan sampai pada salinitas aman di 25 ppt. Selama sistem belum mencapai nilai 25 ppt, 2 pompa larutan garam akan aktif hingga mencapai nilai 25 ppt. Sistem yang dibuat bisa stabil dalam menetralkan salinitas dari nilai awal 15 ppt hingga nilai salinitas 25,43 ppt, dalam waktu ±1 menit.

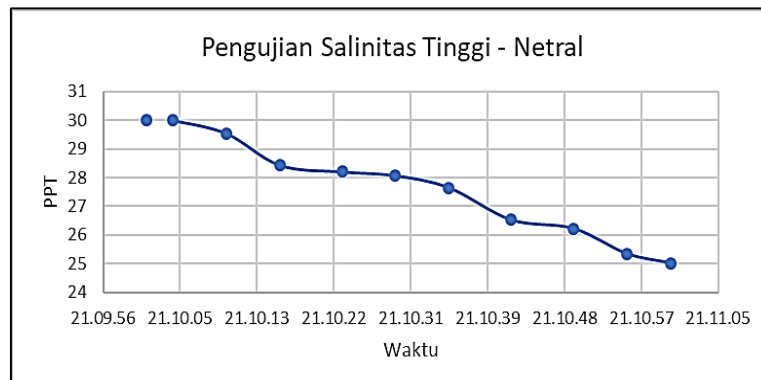


Gambar 4. Grafik Pengujian Salinitas Rendah-Netral.

Ess dari pengujian di atas sebesar 1,72%. Hal ini terjadi karena pada saat penambahan larutan garam untuk menetralkan tidak terdapat pintu untuk memperkecil keluaran larutan dari pipa, sehingga kelebihan keluaran larutan garam yang membuat nilai akhir berbeda dari batasan yang sudah ditentukan.

3.4. Pengujian Sensor Salinitas Tinggi - Netral

Gambar 5. merupakan grafik pengujian sensor TDS pada dua model tambak, dalam kondisi air dari salinitas tinggi pada suhu 28°C dengan nilai awal 30 ppt menuju salinitas aman dengan nilai 25 ppt. Selama sistem belum mencapai nilai netral, 2 pompa air akan aktif hingga mencapai nilai netral. Sistem yang dibuat bisa stabil dalam menetralkan salinitas dari nilai awal 30 ppt hingga nilai salinitas 25,30 ppt dalam rentang waktu ± 1 menit.



Gambar 5. Grafik Pengujian Salinitas Tinggi-Netral.

Ess dari pengujian di atas sebesar 1,2%. Hal ini disebabkan karena pada saat penambahan air untuk menetralkan tidak terdapat pintu untuk memperkecil keluaran air dari pipa, sehingga kelebihan keluaran air membuat nilai akhir berbeda dari batasan yang sudah ditentukan. Dari hasil yang didapat, jika nilai *Ess* masih <5% maka sistem masih termasuk dalam toleransi atau kesalahannya tidak fatal.

3.5. Sistem Pemantauan

Sistem pemantauan ditampilkan pada OLED dan aplikasi *Blynk*. OLED dapat menampilkan data sesuai dengan yang sudah diprogram seperti menampilkan data Salinitas pada tambak udang. OLED menampilkan data dua tempat yang berbeda dengan tampilan data masing-masing tempat selama 5 detik. Tampilan pada OLED dapat dilihat pada Gambar 6 (a). Gambar 6 (b) merupakan tampilan nilai Salinitas dan pada aplikasi *Blynk*.



(a)



(b)

Gambar 6. (a). Tampilan pada Layar OLED. (b) Tampilan pada Aplikasi Blynk

4. Kesimpulan

PLTS mini pada model tambak udang dapat bekerja dengan baik dan mencatu dengan daya yang cukup untuk menjalankan semua sub sistem yang ada. Pada kondisi baterai penuh, pengisian baterai dengan PLTS hanya membutuhkan tegangan rata-rata 13,8 V. Proses penetralan kondisi salinitas air berjalan dengan baik. Sistem mampu menetralkan kondisi salinitas rendah ke salinitas normal dengan Ess 1,72% dan salinitas tinggi ke salinitas normal dengan Ess 1,2%.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Sanata Dharma yang telah mendanai penelitian ini.

Referensi

- [1] A. Rakhmanda and N. Husnayain, *PERIKANAN: Ciptakan Udang Segar, Sehat dan Berkualitas melalui Budidaya Andhika Rakhmanda | Naila Husnayain*, no. September. 2021.
- [2] A. Santoro, "On-line monitoring," *Nephrol. Dial. Transplant.*, vol. 10, no. 5, pp. 615–618, 1995, doi: 10.1093/oxfordjournals.ndt.a091183.
- [3] A. R. Hakimi, M. Rivai, and H. Pirngadi, "Sistem Kontrol dan Monitor Kadar Salinitas Air Tambak Berbasis IoT LoRa," *J. Tek. ITS*, vol. 10, no. 1, 2021, doi: 10.12962/j23373539.v10i1.59612.
- [4] A. R. Idris and S. Thaha, "Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Pada Tambak Udang sebagai Penggerak Aerator," *INTEK J. Penelit.*, vol. 6, no. 1, p. 36, 2019, doi: 10.31963/intek.v6i1.1012.
- [5] A. R. Hakimi, M. Rivai, and H. Pirngadi, "Sistem Kontrol dan Monitor Kadar Salinitas Air Tambak Berbasis IoT LoRa," *J. Tek. ITS*, vol. 10, no. 1, 2021, doi: 10.12962/j23373539.v10i1.59612.
- [6] Hikmawan MR, "Dengan Auto Switching Sumber Listrik Daya Accu Serta Daya Maksimal Beban Berbasis Microcontroller Atmega16 Design Build of Current and Voltage Home Source Control System With Auto – Switching Pln and Plts Electric Source Under Accu Power Capacity and Maxi," 2016.
- [7] N. Nordin, "Integration of IoT on Power Monitoring and Control for Housing Electrical System," vol. 2, no. 2, pp. 1–50, 2020.
- [8] M. E. Prastyo, "Sistem Monitoring Panel Surya Dan Solar Irradiance Untuk Pembangkit Listrik Alat Monitoring Kualitas Air Limbah IPAL Komunal," pp. 1–8, 2023, [Online]. Available: <http://eprints.itn.ac.id/13446/>

- [9] Yuliyanti, “Rancang Bangun Sistem Aerator Dan Kontrol Kualitas Air Untuk Budidaya Udang Vaname Berbasis Android,” pp. 1–48, 2023.

ID: 26

Prototype Sistem Monitoring Inkubator Bayi Untuk Perawat Dan Orangtua Bayi Berbasis Mikrokontroler Arduino UNO

Prototype Baby Incubator Monitoring System for Nurses and Baby Parents Based on Arduino UNO Microcontroller

Cecep Gun Gun^{1*}, Sekar Ayu Kusuma Wardani², Helfy Susilawati³, Sifa Nurpadillah⁴

^{1,2,3,4}Fakultas Teknik, Universitas Garut

Garut 44151, Jawa Barat, Indonesia

cecepgungun18@gmail.com^{1*}, sekarayu0703@gmail.com², helfy.susilawati@uniga.ac.id³,
sifanurpadillah@uniga.ac.id⁴

Abstrak - Bayi prematur memerlukan perawatan khusus. Di salah satu rumah sakit di Garut, kontrol inkubator bayi masih dilakukan secara manual oleh perawat dan orang tua. Perawat perlu sering memeriksa suhu inkubator, yang bisa melelahkan dan berisiko kesalahan. Orang tua hanya bisa melihat bayi sekali sehari, jadi informasinya terbatas. Tujuan dari penelitian ini adalah terciptanya alat yang dapat memonitoring parameter - parameter inkubator bayi dengan mikrokontroler Arduino UNO dan dapat memberi informasi pada monitoring Perawat dan Ibu Bayi di Web, dimana untuk perawat menampilkan parameter yang ada pada inkubator bayi dan untuk orangtua bayi hanya menampilkan video. Parameter yang di cek pada inkubator adalah berat badan menggunakan Sensor Load cell, Suhu dan Kelembaban menggunakan Sensor DHT22 sedangkan untuk pengambilan video menggunakan module ESP32-CAM. Perancangan sistem yang telah dibuat dapat mempertahankan suhu pada kondisi normal. Pembacaan suhu dan kelembaban dengan setpoint 30.00°C - 37.00°C. Suhu < 30.00°C adalah kondisi Suhu dingin, pada saat kondisi dingin kipas akan mati, lampu pijar menyala dan led biru menyala, suhu > 37.00°C adalah kondisi suhu panas, pada saat kondisi panas kipas akan menyala, lampu mati, dan led merah menyala dan suhu 30.00°C - 37.00°C adalah kondisi suhu normal, kipas akan mati, lampu mati, dan led hijau menyala. Berdasarkan hasil pengujian perbandingan antara alat ukur berat badan dan suhu digital dengan sensor Load cell dan DHT22 masing-masing menunjukkan nilai rata-rata error sekitar 0,060% untuk load cell dan 0,56% untuk suhu, serta 1,65% untuk kelembaban. Selain itu, alat juga memungkinkan pengambilan gambar atau video dengan modul ESP32-CAM yang menghasilkan alamat IP <https://192.168.185.225>. Sistem yang di rancang mengirim informasi melalui Web.

Kata kunci: Inkubator bayi, Arduino UNO, DHT22, Load cell, ESP32-CAM.

Abstract - Premature babies require special care. At one hospital in Garut, control of baby incubators is still done manually by nurses and parents. Nurses need to check the temperature of the incubator frequently, which can be tiring and risk making mistakes. Parents can only see the baby once a day, so information is limited. The aim of this research is to create a tool that can monitor baby incubator parameters with an Arduino UNO microcontroller and can provide monitoring information for nurses and mothers of babies on the web, where for nurses it displays the parameters in the baby incubator and for parents of babies it only shows videos. The parameters checked in the incubator are body weight using the Load cell sensor, temperature and humidity using the DHT22 sensor, while video capture uses the ESP32-CAM module. The system design that has been created can maintain the temperature at normal conditions. Temperature and humidity readings with setpoint 30.00°C - 37.00°C. Temperature < 30.00°C is a cold temperature condition, when it is cold the fan will turn off, the incandescent light is on and the blue LED is on, temperature > 37.00°C is a hot temperature condition, when it is hot the fan will turn on, the light is off, and the red LED is on and a temperature of 30.00°C - 37.00°C is a normal temperature condition, the fan will turn off, the light will turn off, and the green LED will turn on. Based on test results between digital

SENTER 2024, 03 Oktober 2024, pp. 153-163

ISSN (p): 2985-4903

ISSN (e): 2986-2477



body weight and temperature measuring instruments with load cell and DHT22 sensors, each shows an average error value of around 0.060% for load cell and 0.56% for temperature, and 1.65% for humidity. In addition, the tool also allows capturing images or videos with the ESP32-CAM module which generates the IP address <https://192.168.185.225>. The designed system sends information via the Web.

Keywords: Baby incubator, Arduino UNO, DHT22, Load cell, ESP32-CAM.

1. Pendahuluan

Menurut dokter, masalah kesehatan anak sangat penting bagi orang tua, terutama bagi orang tua yang kurang beruntung dalam melahirkan bayi mereka sebelum waktunya. Bayi prematur biasanya harus ditempatkan di inkubator dengan suhu ruangan yang terkontrol untuk memastikan bahwa bayi tetap berada pada suhu yang tepat selama dalam kandungan [1]. Suhu inkubator udara terkontrol harus berada antara 30°C-37°C sesuai dengan Keputusan Menteri Kesehatan 118/Menkes/ SK/2014 [2].

Berdasarkan hasil survei yang telah dilakukan melalui wawancara di salah satu rumah sakit yang ada di kabupaten Garut Sistem pengendalian dan pemantauan pada inkubator bayi saat ini hanya dijalankan secara manual oleh perawat dan orangtua bayi. Pemantauan manual mengharuskan perawat untuk sering memasuki ruangan bayi guna memeriksa suhu inkubator secara berkala. Hal ini dapat menyebabkan kelelahan perawat dan berpotensi menyebabkan kesalahan dalam membaca data. Orangtua bayi hanya di perbolehkan untuk melihat bayinya satu kali dalam satu hari, Sehingga orang tua tidak mendapat informasi aktual terkait keadaan bayi.

Beberapa penelitian terkait monitoring inkubator bayi seperti, “Prototipe sistem pemantauan suhu dan kelembaban pada inkubator bayi menggunakan aplikasi Blynk”, menggunakan sensor DHT11 untuk mengukur suhu dan kelembaban, dan aplikasi Blynk menampilkan hasil pengukuran sensor DHT11 [3]. Sedangkan , pada penelitian “Sistem monitoring inkubator bayi”, sistem monitoring dapat berkomunikasi melalui bluetooth untuk memantau [4]. Akan tetapi, hasil akhir pada penelitian tersebut hanya di peruntukan untuk dokter atau perawat.

Berdasarkan permasalahan tersebut maka skripsi dalam penelitian ini akan membuat sebuah pengembangan prototype Sistem Monitoring Inkubator Bayi untuk Perawat menampilkan parameter yang ada pada inkubator bayi dan Orangtua Bayi hanya menampilkan video. Parameter yang di cek pada inkubator adalah berat badan menggunakan Sensor Load cell, Suhu dan Kelembaban menggunakan Sensor DHT22 sedangkan untuk pengambilan video menggunakan module ESP32-CAM. Sistem yang di rancang akan mengirim informasi melalui Web. Untuk Perawat menampilkan parameter yang ada pada inkubator bayi dan untuk Orangtua bayi hanya menampilkan video.

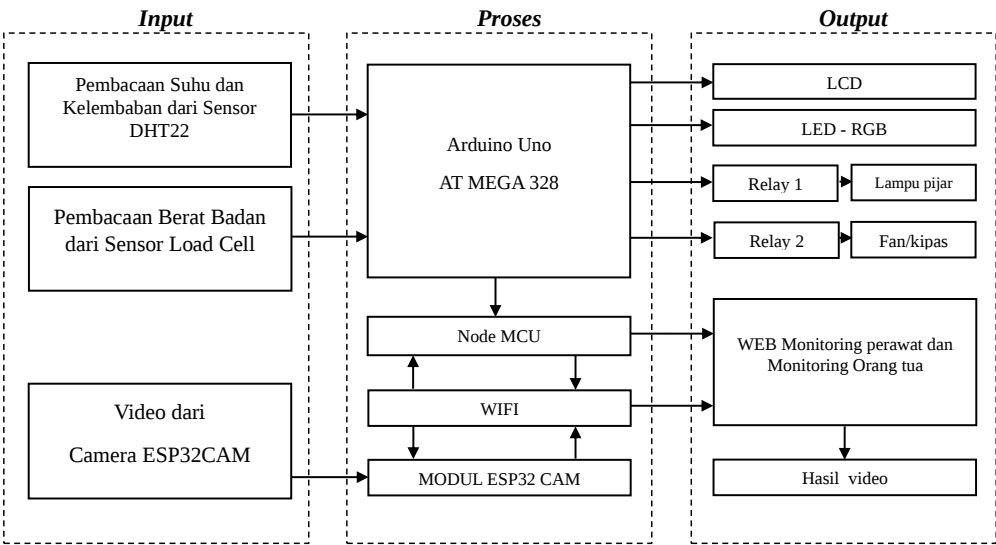
Berdasarkan latar belakang tersebut, penulis mengambil topik penelitian ini dengan judul “Prototipe Sistem Monitoring Inkubator Bayi Untuk Perawat Dan Orangtua Bayi Berbasis Mikrokontroler Arduino UNO”.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan metode studi literatur, pengumpulan alat dan bahan, perancangan sistem, uji coba alat dan evaluasi. Metode studi literatur yaitu metode yang dilakukan dengan cara konsultasi secara langsung dengan petugas serta ahli tenaga medis khususnya bidan yang bertugas di posyandu serta memanfaatkan media internet dalam mencari referensi-referensi yang berhubungan dengan permasalahan yang akan dibahas. Pengumpulan alat dan bahan yang diperlukan merupakan hal yang penting agar terciptanya alat yang berkualitas, hal ini juga ditinjau dari segi harga dan juga kualitas komponen. Perancangan sistem dilakukan dengan merancang komponen-komponen yang telah dipilih sebelumnya. Uji coba alat dilakukan untuk memastikan bahwa kinerja alat yang dibuat dapat berfungsi dengan baik dan sesuai dengan apa yang telah direncanakan sebelumnya. Evaluasi

bertujuan untuk mengetahui bagaimana kekurangan dari sistem kontrol dan monitoring yang telah dibuat.

2.1. Diagram Blok



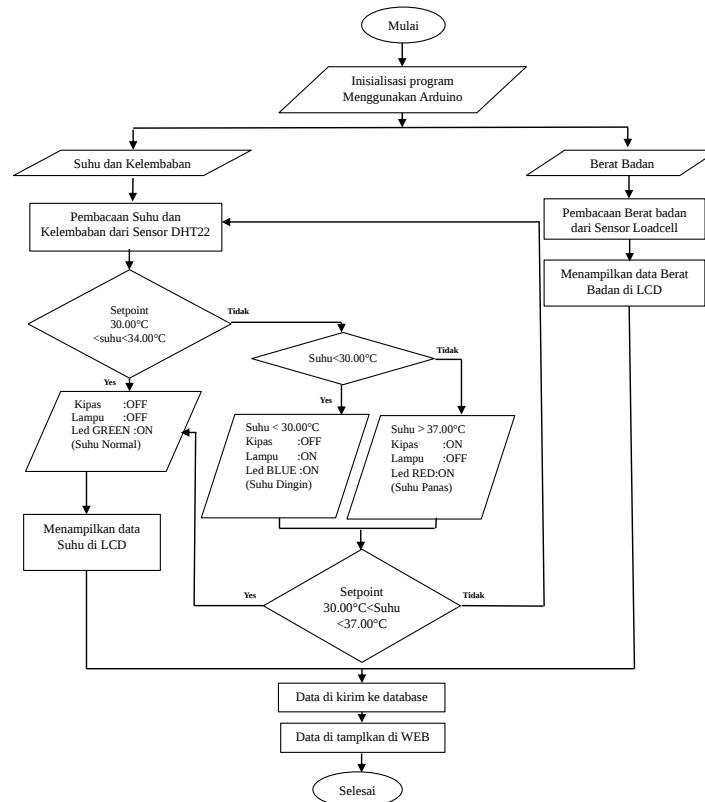
Gambar 6 Diagram Blok

Gambar 1 diagram blok yang telah disajikan di atas menjelaskan bagaimana alat ini beroperasi melalui tiga tahap utama, yaitu input, proses, dan output.

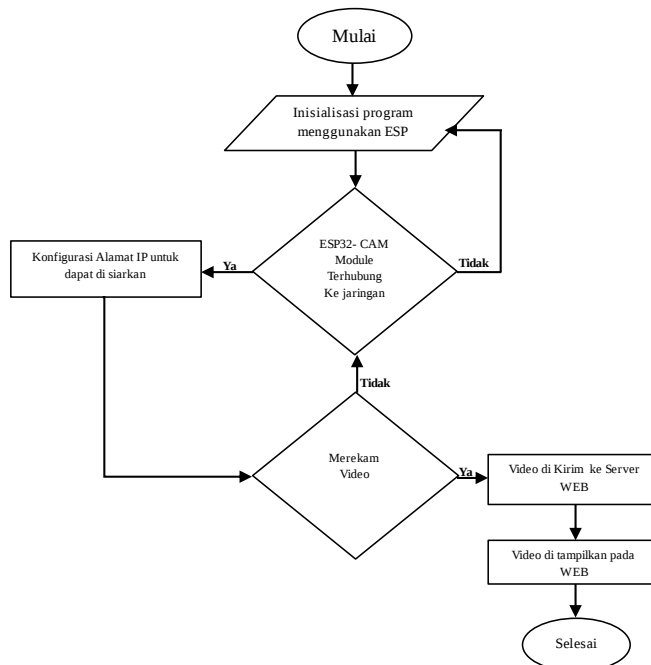
2.2. Flow Chart Sistem

Flowchart pada gambar 2 menjelaskan mengenai cara kerja sistem secara keseluruhan alat dimulai dengan inisialisasi program menggunakan Arduino UNO, pengukuran berat badan, pengukuran suhu dan kelembaban. Mengukur berat badan dengan bantuan sensor Load Cell dan data hasil penimbangan berat badan akan tampil pada LCD. Pembacaan suhu dan kelembaban menggunakan sensor DHT22 dengan setpoint 30.00°C - 37.00°C, jika Suhu < 30.00°C Kipas: OFF Lampu: ON Led BLUE: ON (Suhu Dingin), jika Suhu > 37.00°C Kipas: ON Lampu: OFF Led RED: ON (Suhu Panas) dan Jika Suhu 30.00°C - 37.00°C Kipas: OFF Lampu: OFF Led GREEN: ON (Suhu Normal) hasil pengukuran akan di tampilkan di LCD. Data akan dikirim ke database dan data ditampilkan di Web.

Flowchart gambar 3 menjelaskan mengenai cara kerja sistem monitoring melalui video untuk Ibu Bayi. Di mulai dengan inisialisasi program menggunakan ESP32 CAM, ESP32 CAM module terhubung di hubungkan ke jaringan, konfigurasi alamat IP untuk dapat disiarkan, kamera aktif dan langsung merekam video kondisi bayi di dalam inkubator, video akan dikirimkan melalui server Web dan setelah itu video akan ditampilkan pada Web.



Gambar 7 Flowchart2



Gambar 8 Flowchart2

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Data Hasil Pengujian Sensor DHT22

Tabel 7. Data hasil pengujian sensor DHT22

NO	Waktu	Nilai Acuan Termometer		Hasil pembacaan Sensor		Error rate	
		Suhu °C	Kelembaban RH	Suhu °C	Kelembaban RH	Suhu	Kelembaban
1	00:05:00	26,40	72,40	26,50	71,20	0,38	1,7
2	00:10:00	27,10	73,00	27,20	72,40	0,37	0,8
3	00:15:00	28,00	74,50	28,10	71,10	0,36	4,6
4	00:20:00	28,40	75,80	28,50	72,70	0,35	4,1
5	00:25:00	28,90	76,30	29,00	74,90	0,35	1,8
6	00:30:00	29,40	74,70	29,50	76,10	0,34	1,9
7	00:35:00	29,90	79,00	30,00	78,00	0,33	1,3
8	00:40:00	30,40	80,10	30,50	80,00	0,33	0,1
9	00:45:00	30,00	79,00	30,10	78,90	0,33	0,1
10	00:50:00	31,00	80,50	30,10	80,10	2,90	0,5
11	00:55:00	30,00	80,00	30,00	79,10	0,00	1,1
12	01:00:00	30,30	81,50	30,10	80,00	0,66	1,8
Rata - rata error(%)						0,56	1,65

Berdasarkan tabel 1 data hasil pengujian sensor DHT22. Perbandingan alat ukur suhu digital termometer dan sensor DHT22 memiliki nilai rata – rata error 0,56% suhu dan 1.65 % kelembaban.

Tabel 8. Data hasil pengujian kondisi LED

NO	Suhu °C	Kondisi				
		Lampu Pijar	Kipas DC	Led Merah	Led Hijau	Led Biru
1	26,40	Menyala	Mati	Mati	Mati	Menyala
2	27,10	Menyala	Mati	Mati	Mati	Menyala
3	28,00	Menyala	Mati	Mati	Mati	Menyala
4	28,40	Menyala	Mati	Mati	Mati	Menyala
5	28,90	Menyala	Mati	Mati	Mati	Menyala
6	29,40	Menyala	Mati	Mati	Mati	Menyala
7	29,90	Menyala	Mati	Mati	Mati	Menyala
8	30,40	Mati	Mati	Mati	Menyala	Mati
9	30,00	Mati	Mati	Mati	Menyala	Mati

NO	Suhu °C	Kondisi				
		Lampu Pijar	Kipas DC	Led Merah	Led Hijau	Led Biru
10	31,00	Mati	Mati	Mati	Menyala	Mati
11	30,00	Mati	Mati	Mati	Menyala	Mati
12	30,30	Mati	Mati	Mati	Menyala	Mati

Berdasarkan tabel 2 data hasil pengujian kondisi komponen lampu pijar, kipas DC dan led RGB. Komponen berfungsi sesuai yang di rencanakan pembacaan suhu dan kelembaban dengan setpoint 30.00°C - 37.00°C. Suhu < 30.00°C (Suhu dingin, kipas mati, lampu pijar menyala dan led biru menyala), suhu > 37.00°C (Suhu panas, kipas menyala, lampu mati, dan led merah menyala) dan suhu 30.00°C - 37.00°C (Suhu normal, kipas mati, lampu mati, dan led hijau menyala).

3.2. Data Hasil Pengujian Sensor Load Cell

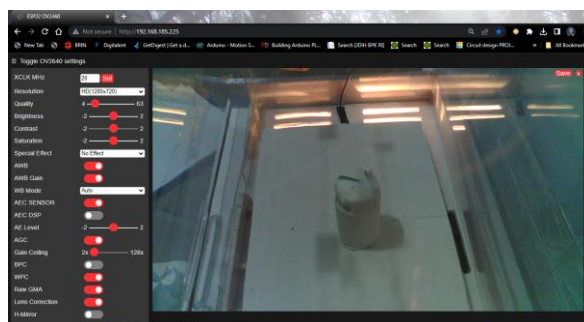
Tabel 9. Data hasil pengujian Load Cell

No	Nilai acuan timbangan digital	Hasil Pembacaan sensor load cell	Error rate (%)
1	50,00	50,01	0,02
2	100,00	100,01	0,01
3	150,00	150,01	0,01
4	200,00	200,08	0,04
5	250,00	250,07	0,03
6	300,00	300,06	0,02
7	350,00	350,13	0,04
8	500,00	500,05	0,01
9	550,00	550,09	0,02
10	600,00	600,14	0,02
11	650,00	650,20	0,03
12	700,00	700,11	0,02
13	750,00	750,02	0,00
14	800,00	800,08	0,01
15	850,00	850,27	0,03
16	1000,00	999,94	0,01
17	1050,00	1048,80	0,11
18	1100,00	1098,50	0,14
19	1150,00	1148,03	0,17
20	1200,00	1198,09	0,16
21	1250,00	1248,79	0,10
22	1300,00	1297,23	0,21
23	1350,00	1348,89	0,08

No	Nilai acuan timbangan digital	Hasil Pembacaan sensor load cell	Error rate (%)
24	1500,00	1498,48	0,10
25	1550,00	1549,12	0,06
26	1650,00	1648,45	0,09
27	1750,00	1747,65	0,13
28	1850,00	1849,90	0,01
Rata-rata error (%)			0,060

Simulasi pengujian pengukuran berat badan bayi. Pembacaan berat badan menggunakan sensor Load Cell disimulasikan dengan menghitung berat dari batu timbangan analog sebagai pengganti berat bayi dan dibandingkan dengan alat ukur timbangan digital Berdasarkan tabel 3 data hasil pengujian sensor load cell. Perbandingan alat ukur timbangan digital dan sensor load cell memiliki nilai rata – rata error 0.060%.

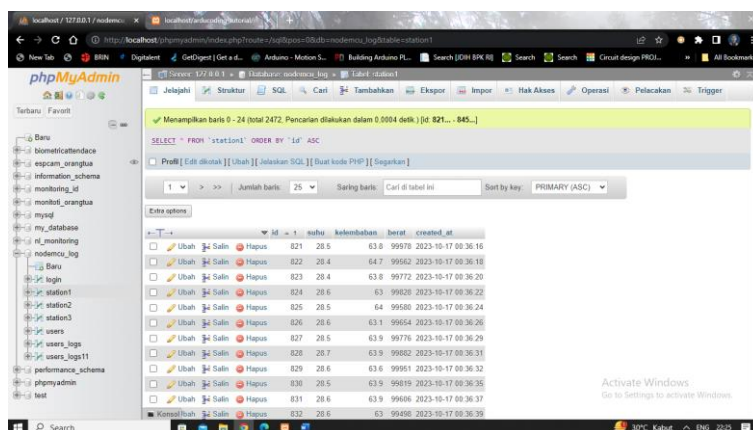
3.3. Data Hasil Pengujian ESP32-CAM



Gambar 9 Tampilan ESP32CAM

Berdasarkan gambar 4 tampilan ip ESP32-CAM setelah dijalankan, ip dibuka di browser chrome <https://192.168.185.225> dan akan muncul tampilan video.

3.4. Data Hasil Pengujian Database dan Tampilan Webserver

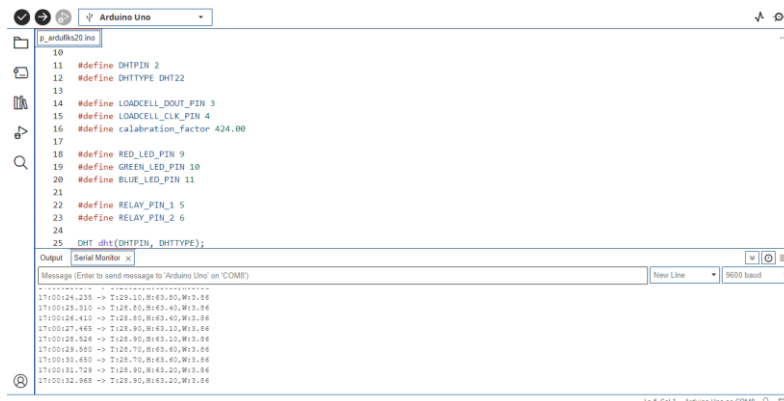


Gambar 10 phpMyAdmin

Sistem monitoring inkubator bayi untuk perawat menampilkan parameter yang ada pada inkubator bayi dan orangtua bayi hanya menampilkan video. Parameter yang dicek pada inkubator adalah berat badan menggunakan sensor load cell, suhu dan kelembaban menggunakan

sensor DHT22 sedangkan untuk pengambilan gambar atau video menggunakan module ESP32-CAM.

3.5. Data Hasil Pengujian Alat Secara Keseluruhan



```

10
11 #define DHTPIN 2
12 #define DHTTYPE DHT22
13
14 #define LOADCELL_DOUT_PIN 3
15 #define LOADCELL_CLK_PIN 4
16 #define calibration_factor 424.00
17
18 #define RED_LED_PIN 9
19 #define GREEN_LED_PIN 10
20 #define BLUE_LED_PIN 11
21
22 #define RELAY_PIN_1 5
23 #define RELAY_PIN_2 6
24
25 DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
  
```

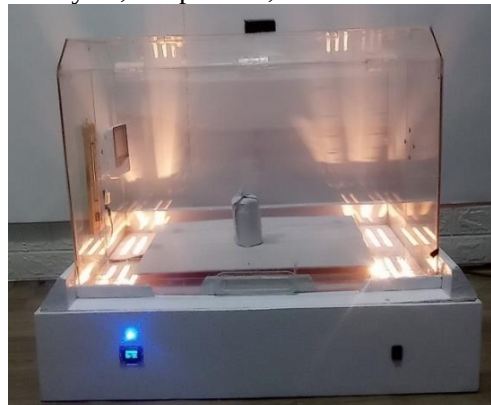
Output Serial Monitor x

```

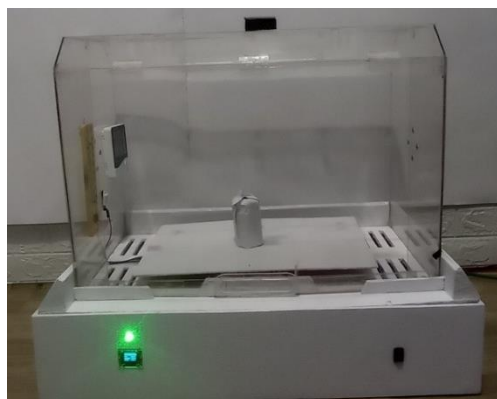
Message (Enter to send message to 'Arduino Uno' on 'COM5')
17:00:24.235 -> T:29.10,H:65.80,W:5.86
17:00:28.310 -> T:28.80,H:63.40,W:5.86
17:00:32.410 -> T:28.80,H:63.40,W:5.86
17:00:36.465 -> T:28.80,H:63.40,W:5.86
17:00:40.526 -> T:28.80,H:63.40,W:5.86
17:00:44.580 -> T:28.70,H:63.40,W:5.86
17:00:48.650 -> T:28.70,H:63.40,W:5.86
17:00:52.728 -> T:28.80,H:63.20,W:5.86
17:00:56.800 -> T:28.80,H:63.20,W:5.86
  
```

Gambar 11 Tampilan aplikasi Arduino IDE

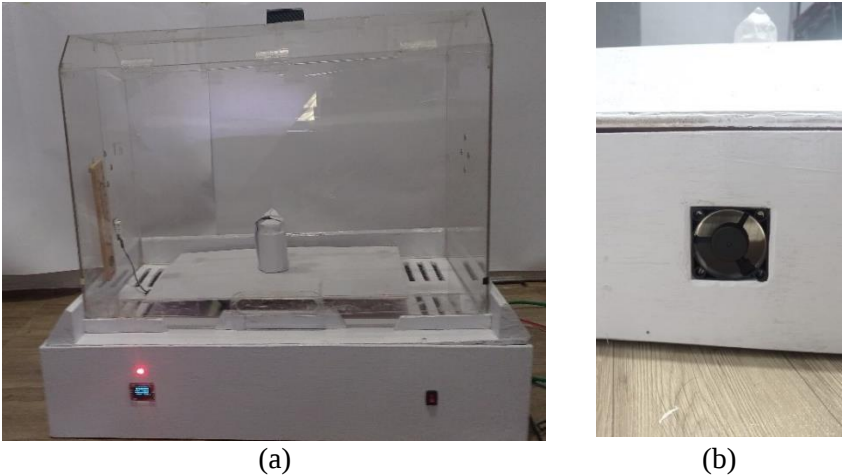
Berdasarkan gambar 4.32 di atas merupakan gambar tampilan aplikasi Arduino IDE pada saat simulasi pengujian program dijalankan. Berdasarkan gambar 7 merupakan gambar tampilan inkubator bayi pada kondisi suhu $< 30.00^{\circ}\text{C}$ (Suhu dingin, kipas mati, lampu pijar menyala dan led biru menyala). Berdasarkan gambar 8 di atas merupakan gambar tampilan inkubator bayi pada kondisi suhu $> 30.00^{\circ}\text{C} - 37.00^{\circ}\text{C}$ (Suhu normal, kipas mati, lampu mati, dan led hijau menyala). Berdasarkan gambar 9 di atas merupakan gambar tampilan inkubator bayi pada kondisi suhu $> 37.00^{\circ}\text{C}$ (Suhu panas, kipas menyala, lampu mati, dan led merah menyala).



Gambar 12 Inkubator pada saat suhu dingin



Gambar 13 Inkubator pada saat suhu Normal

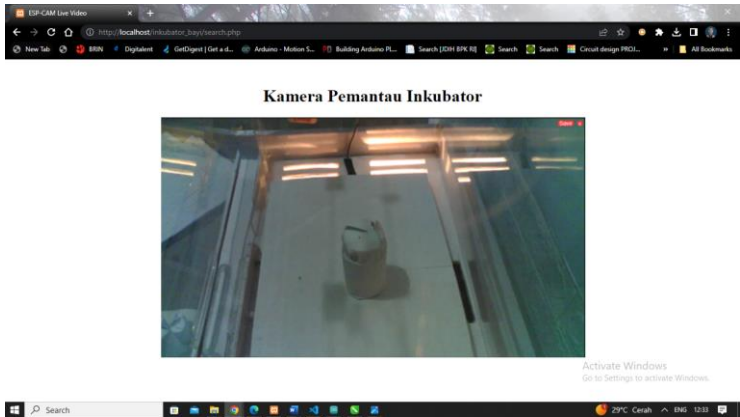


Gambar 14 Inkubator pada saat suhu panas (a) indicator Led merah menyala (b) kipas DC menyala

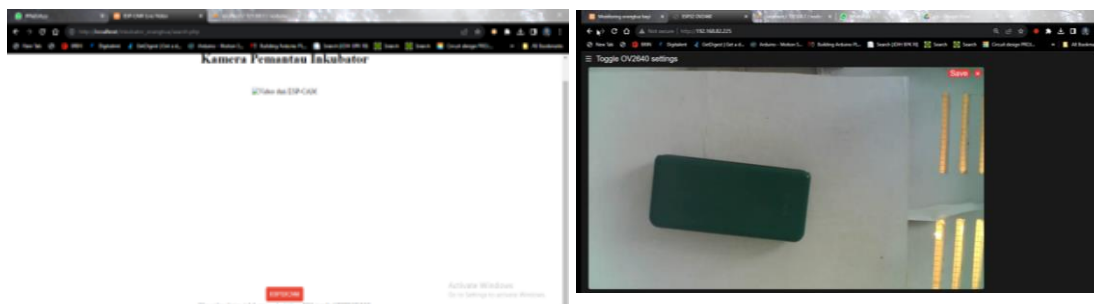
Pengukuran sensor akan dikirimkan ke database MYSQL kemudian ditampilkan pada halaman webserver, dimana untuk perawat menampilkan parameter yang ada pada inkubator bayi tampilan monitoring dapat dilihat pada gambar 10 dan untuk orangtua bayi hanya menampilkan video tampilan monitoring dapat dilihat pada gambar 11.



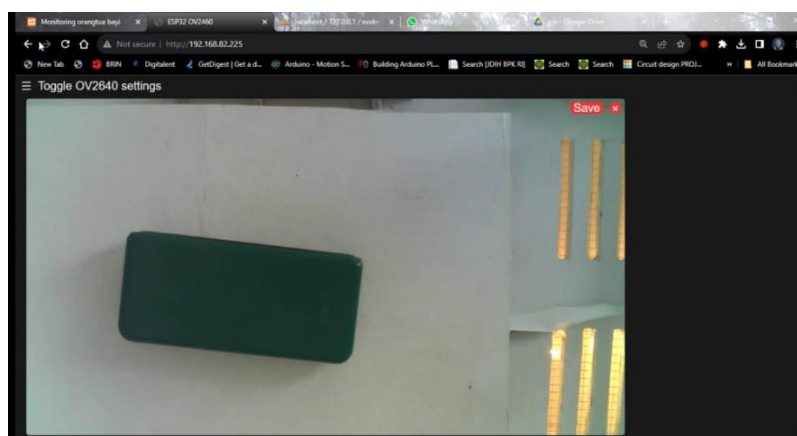
Gambar 15 Tampilan Monitoring Perawat



Gambar 16 Tampilan Monitoring orang tua



Gambar 17 Tampilan monitoring orang tua tombol pembantu



Gambar 18 Tampilan fitur screenshot

Pada gambar 4.38 merupakan tampilan video dari kamera ESP-32 CAM tombol pembantu jika video tidak muncul silahkan klik tombol merah di bawah. Pada gambar 4.39 merupakan fitur screenshot yang bertulisan save di kotak merah, hasil gambar akan tersimpan pada PC dengan jenis file JPG.

4. Kesimpulan

Dari hasil perancangan awal yang telah dilakukan, maka kesimpulan diperoleh sebagai berikut : 1). Sistem monitoring Inkubator bayi berbasis mikrokontroler Arduino UNO yang dibuat berhasil mengirim informasi melalui Web. Untuk Perawat menampilkan parameter suhu, kelembaban dan berat badan bayi yang ada pada inkubator bayi dan untuk Orangtua bayi hanya menampilkan video. Perancangan sistem yang telah dibuat dapat mempertahankan suhu pada kondisi normal. 2). Parameter berat badan pada inkubator bayi menggunakan sensor Load cell, Perbandingan alat ukur timbangan digital dan sensor load cell memiliki nilai rata – rata error 0,060 %. 3). Suhu dan kelembaban menggunakan Sensor DHT22 memiliki perbandingan alat ukur suhu digital termometer dan sensor DHT22 memiliki nilai rata – rata error 0,56 % suhu dan 1,65% kelembaban. 4). pengambilan gambar atau video menggunakan module ESP32-CAM menghasilkan ip <https://192.168.185.225>. Fitur screenshot yang bertulisan save di kotak merah, hasil gambar akan tersimpan pada PC dengan jenis file JPG.

Ucapan Terima Kasih

Puji serta syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini. Penulis menyadari bahwa penelitian ini tidak akan berjalan dengan baik tanpa bimbingan, bantuan dan dukungan moral dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada Program Studi Teknik

Elektro Fakultas Teknik Universitas Garut dan pihak lain yang telah memberikan kerjasama dalam penelitian ini.

Referensi

- [1] K. Anggara , F. Hadi and Haidi Junas, "Pengembangan Sistem Monitoring Inkubator Bayi Prematur Secara Real Time Menggunakan Android," *Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu, Kota Bengkulu, Provinsi Bengkulu*, vol. X, no. 2, 2020.
- [2] Menkes, "Kompedium Alat Kesehatan," in *Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia*, Jakarta, Indonesia, Nomor 118/MENKES/SK/IV/2014.
- [3] F.almira, Rifhsni, "Prototipe Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban Inkubator Bayi Menggunakan Aplikasi Blynk," *T.E Politeknik Negeri Bandung*, vol. 1, no. 1, pp. 577-528, 2022.
- [4] Q. Hidayati, N. Yanti and J. Nurwahidah, "Sistem Monitoring Inkubator Bayi," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer TRIAC*, vol. 6, no. 2, pp. 115-119, 2019.
- [5] Setiawan, "Mikrokontroller menurut para ahli," [Online]. Available: [https://www.teknikelektro.com/2020/08/pengertian-mikrokontroler-menurut-para.html#:~:text=Menurut%20Chamim%20\(2012\),seringkali%20disebut%20single%20chip%20microcomputer..](https://www.teknikelektro.com/2020/08/pengertian-mikrokontroler-menurut-para.html#:~:text=Menurut%20Chamim%20(2012),seringkali%20disebut%20single%20chip%20microcomputer..) . [Accessed 1 Januari 2023].
- [6] N. Mukherjee, S. Neogy and R. Sarbani, *Building wireless sensor networks : theoretical and practical perspectives / authors, Francis: Taylor & Francis Group, LLC*, 2016.

Rancang Bangun Monitoring Smart Greenhouse (Rumah Kaca) Berbasis Internet Of Things (IOT) Dengan Mikrokontroler

The Design and Development of an Internet of Things (IoT)-Based Smart Greenhouse Monitoring System Using Microcontroller

Arif Ramdani^{1*}, Beni Wijaya², Ade Rukmana³, Sifa Nurpadillah⁴, Bambang Sugiarto⁵

^{1,2,3,4,5} Fakultas Teknik Universitas Garut

Garut, 44151, Indonesia

ariframdani1312@gmail.com^{1*}, beniw163@gmail.com², ade.rukmana@uniga.ac.id³,

sifanurpadillah@uniga.ac.id⁴, bsugiarto991@gmail.com⁵

Abstrak – Teknologi saat ini mengalami kemajuan yang pesat, salah satunya dengan adanya greenhouse yang bertujuan untuk menciptakan kondisi yang ideal untuk pertumbuhan tanaman. Namun, banyak petani masih menggunakan metode tradisional yang tergantung pada kondisi alam yang tidak menentu. Sebagai solusi, sistem smart greenhouse berbasis IoT dirancang. Untuk merancang sistem smart greenhouse, sensor-sensor tersebut diintegrasikan dengan mikrokontroler yang mendukung konektivitas internet. Mikrokontroler mengumpulkan data dari sensor dan mengirimkannya ke platform thingspeak. Teknologi yang diterapkan pada smart greenhouse berupa monitoring terhadap suhu, kelembaban udara, kelembaban tanah, dan intensitas cahaya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor DHT11 memiliki error rata-rata 2,13% untuk suhu dan 3,69% untuk kelembaban udara, sensor soil moisture memiliki error rata-rata 3,2%, sensor LDR memiliki error rata-rata 3%, dan sensor ultrasonik HC-SR04 memiliki error rata-rata 5,0%. Sistem ini terbukti akurat dan efisien, dengan kontrol otomatis yang berfungsi baik dan monitoring real-time yang memudahkan pemantauan.

Kata Kunci: Greenhouse, Internet of Things, Smart Greenhouse, Sensor, Kontrol otomatis, Monitoring real-time.

Abstract - Technological advancements are rapidly progressing, one of which is the development of greenhouses aimed at creating ideal conditions for plant growth. However, many farmers still rely on traditional methods that depend on unpredictable natural conditions. As a solution, an IoT-based smart greenhouse system is designed. To develop the smart greenhouse system, various sensors are integrated with a microcontroller that supports internet connectivity. The microcontroller collects data from the sensors and sends it to the ThingSpeak platform. The technology implemented in the smart greenhouse includes monitoring temperature, air humidity, soil moisture, and light intensity. Test results show that the DHT11 sensor has an average error of 2.13% for temperature and 3.69% for air humidity, the soil moisture sensor has an average error of 3.2%, the LDR sensor has an average error of 3%, and the HC-SR04 ultrasonic sensor has an average error of 5.0%. This system is proven to be accurate and efficient, with automatic control functioning well and real-time monitoring facilitating easy oversight.

Keywords: Greenhouse, Internet of Things, Smart Greenhouse, Sensor, Automatic Control, Real-time Monitoring.

1. Pendahuluan

Greenhouse adalah suatu bangunan yang digunakan untuk menanam tanaman. Strukturnya terbuat dari bahan plastik UV sehingga menciptakan iklim mikro (Microclimate) di dalam greenhouse yang berbeda dengan kondisi iklim di sekitarnya[1]. Terobosan baru di sektor pertanian terus berkembang di Indonesia, terutama di kota-kota besar. Disana, teknologi canggih

sudah banyak diimplementasikan untuk mendukung produksi pertanian, termasuk penggunaan greenhouse itu sendiri, dimana greenhouse digunakan untuk menanam tanaman hortikultura (budidaya tanaman kebun) seperti buah-buahan dan sayuran. Namun, teknologi greenhouse ini masih belum tersebar luas di masyarakat, terutama di wilayah terpencil. Sebagian besar penduduk di wilayah tersebut masih mengandalkan metode tradisional dan sangat bergantung pada cuaca yang tidak stabil. Berdasarkan hasil observasi di daerah Garut Utara, ditemukan permasalahan tanaman yaitu kering dan layu pada ruang greenhouse. Permasalahan ini terjadi pada salah satu jenis tanaman cabai keriting di ruang greenhouse tersebut. Penyebab tanaman tersebut bisa kering dan layu bisa disebabkan dari beberapa faktor yaitu kekurangan air atau kelebihan air, selain itu suhu dan kelembaban juga berpengaruh terhadap kerusakan tanaman. Cabai keriting merupakan salah satu komoditas pertanian yang penting di Indonesia. Tanaman ini sangat sensitif terhadap perubahan kondisi lingkungan seperti suhu, kelembaban, dan kualitas tanah. Permasalahan umum yang sering dihadapi petani cabai keriting meliputi serangan hama dan penyakit, kekurangan atau kelebihan air, dan kondisi cuaca yang tidak menentu. Solusi untuk mengatasi pemasalahan tersebut, yaitu dengan memanfaatkan teknologi smart greenhouse. Akan tetapi, selama ini pemeriksaan dan pengaturan sistem greenhouse masih dilakukan secara manual dan sangat bergantung pada lingkungan. Terdapat beberapa penelitian mengenai sistem smart greenhouse; [2][3][4][5]. Oleh karena itu dibuat sebuah penelitian pendahuluan mengenai sistem monitoring smart greenhouse berbasis Internet of Things (IoT).

2. Metode Penelitian

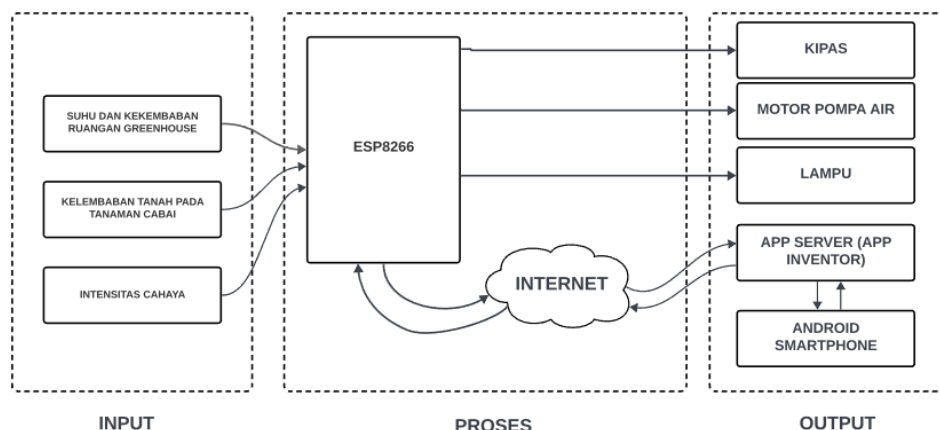
Metodologi yang digunakan adalah Rancang Bangun Alat.

2.1. Alat dan Bahan

Tabel 1. Alat dan Bahan

No	Perangkat Keras	Kegunaan
1.	ESP8266	Mikroprosesor yang bertugas untuk berkomunikasi melalui WiFi, dukungan pemrograman dengan Arduino IDE, dan kemampuan untuk mengendalikan perangkat keras eksternal seperti sensor dan aktuator.
2.	Sensor DHT11	DHT11 yang bertugas untuk mengukur suhu dan kelembapan
3.	Ultrasonik HC-SR04	Sensor yang digunakan untuk mengukur jarak.
4.	Soil Moisture	Sensor Soil Moisture untuk mengukur tingkat kadar air dalam tanah
5.	Sensor LDR	Sensor LDR digunakan untuk mendeteksi cahaya
6.	Smartphone	Smartphone digunakan untuk monitoring pada smart greenhouse, dimana pengguna dapat memantau kondisi lingkungan pada greenhouse
	Perangkat Lunak	
1.	Arduino IDE	Software yang digunakan untuk membuat kode profram yang akan digunakan pada system.
2.	MIT App Inventor	Aplikasi App Inventor memungkinkan pengguna untuk membuat aplikasi sistem yang berbasis Android
3.	Thingspeak	Thingspeak digunakan untuk menampilkan data dari proyek yang sudah dibuat melalui Hypertext Transfer Protocol (HTTP)

2.2. Diagram Blok



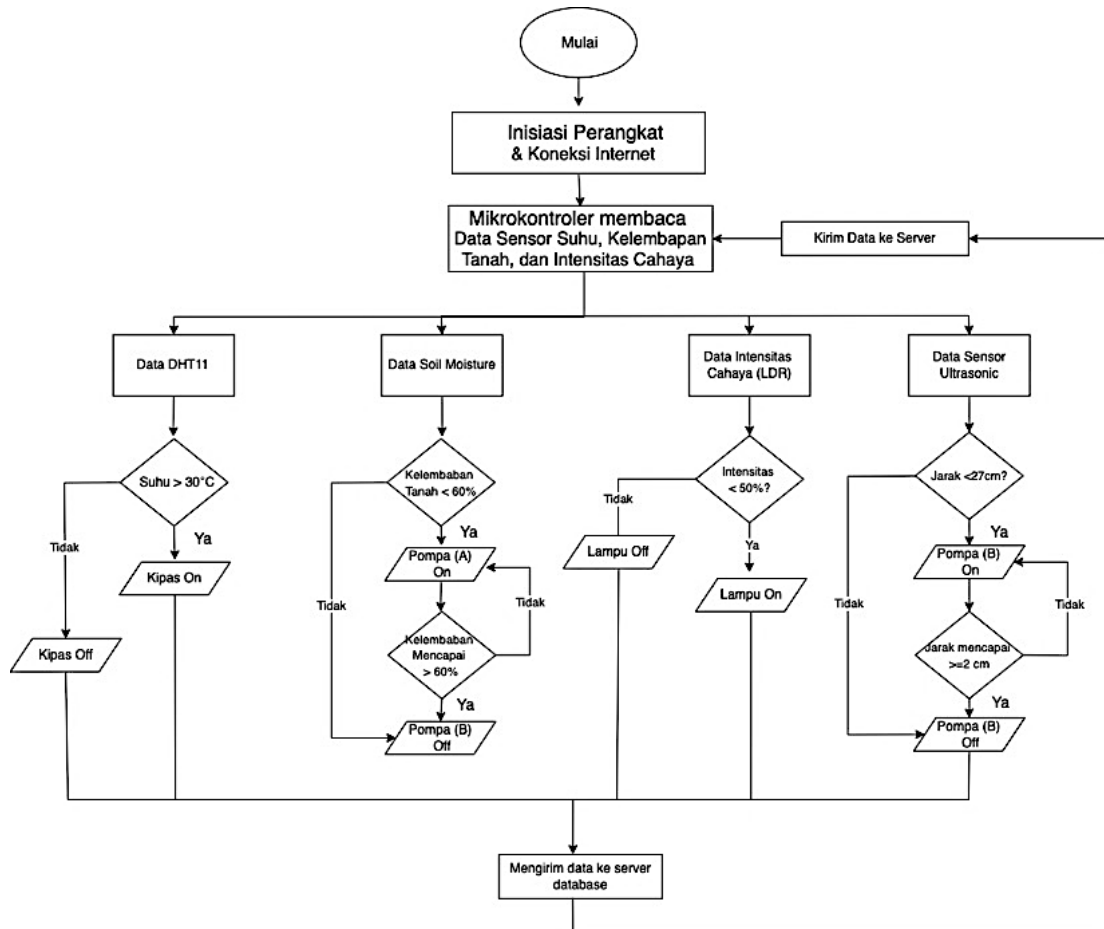
Gambar 2. Diagram blok

Gambar 1 menjelaskan cara kerja sistem yang terdiri dari tiga bagian utama: blok input, proses, dan output. Bagian input menerima data dari sensor yang mengukur parameter seperti suhu, kelembapan udara, kelembapan tanah, dan intensitas cahaya. Data ini kemudian dikirim ke mikrokontroler untuk diproses dan secara bersamaan dikirim ke server aplikasi melalui modul WiFi yang terhubung ke internet. Aplikasi di smartphone menampilkan hasil pengukuran ini pada panel monitor. Bagian output melibatkan perangkat seperti kipas, lampu, dan motor pompa air, yang diaktifkan ketika parameter menyentuh ambang batas yang telah ditentukan dalam perangkat lunak mikrokontroler. Proses ini memastikan sistem bekerja secara otomatis untuk memantau dan mengendalikan kondisi lingkungan.

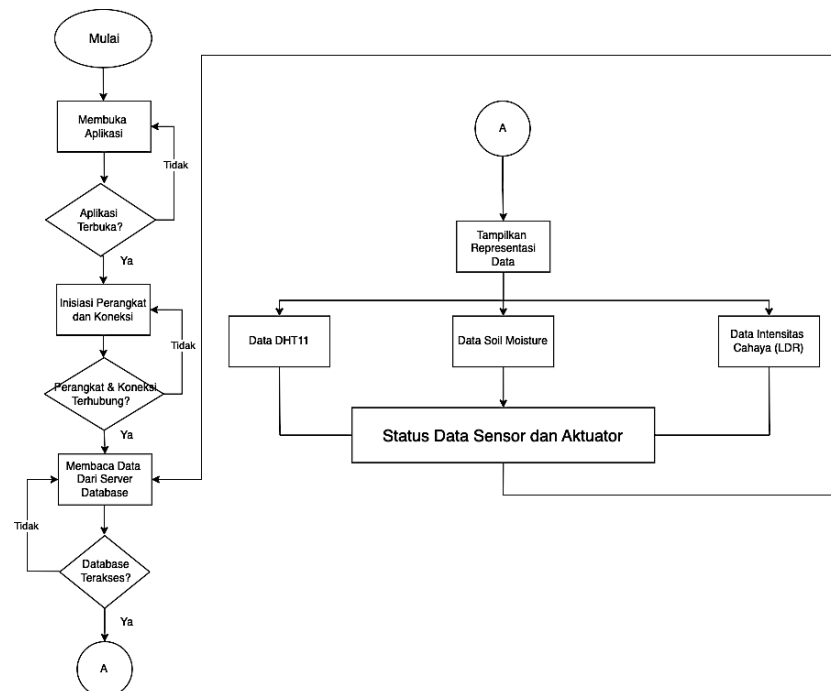
2.3. Flowchart Sistem dan Aplikasi

Flowchart pada Gambar 2 menggambarkan sistem ESP8266 yang dimulai dengan inisialisasi perangkat dan koneksi internet berdasarkan sumber yang telah ditentukan dalam kode program. Setelah terhubung, data sensor dikirim dari mikrokontroler ke server App Inventor. Sensor suhu (DHT11) mendeteksi suhu; jika suhu kurang dari 30°C, notifikasi kipas mati dikirim ke interface. Sistem terus memantau suhu dan mengirim notifikasi jika suhu normal atau panas sesuai set-point. Data kelembapan tanah juga dikirim ke server dan ditampilkan di aplikasi. Jika kelembapan kurang dari 60%, motor pompa hidup untuk menyiram tanaman hingga kelembapan mencapai 60%, lalu motor pompa mati. Sensor ultrasonik (HC-SR04) mendeteksi jarak; jika jarak kurang dari 27cm, pompa air hidup untuk mengisi bak penampungan, dan jika jarak mencapai 2cm atau lebih, pompa air mati. Sensor intensitas cahaya memantau tingkat cahaya; jika intensitas cahaya kurang dari 50%, lampu akan menyala, dan jika intensitas cahaya 50% atau lebih, lampu akan mati. Proses ini berjalan dalam loop kontinu untuk memantau dan mengatur kondisi lingkungan berdasarkan data sensor yang diperoleh.

Flowchart pada gambar 3 menggambarkan proses pengoperasian sistem monitoring berbasis aplikasi. Dimulai dengan membuka aplikasi, sistem memeriksa apakah aplikasi terhubung dengan internet. Jika tidak, proses berhenti. Jika terhubung, sistem melanjutkan dengan inisialisasi perangkat dan koneksi internet. Setelah terhubung, data sensor dibaca dan dikirim ke database. Jika koneksi database berhasil, data dari berbagai sensor seperti DHT11 (suhu), kelembapan tanah, dan intensitas cahaya (LDR) diambil dan direpresentasikan dalam aplikasi.



Gambar 2. Flowchart Sistem



Gambar 3. Flowchart Aplikasi

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Data Hasil Pengujian DHT11

Tabel 2. Data Hasil Pengujian Sensor DHT11

No	DHT11		Alat Ukur		Error (%)	
	Suhu (°C)	Humidity (%)	Suhu (°C)	Humidity (%)	Suhu (°C)	Humidity (%)
1	24,1	86	23	90	4,78	4,44
2	24,3	86	24	90	1,25	4,44
3	24,5	84	24	86	2,08	2,33
4	24,8	83	25	85	0,80	2,35
5	25	83	26	85	3,85	2,35
6	25,5	82	26	85	1,92	3,53
7	25,8	82	26	84	0,77	2,38
8	25,8	80	26	84	0,77	4,76
9	26	80	27	83	3,70	3,61
10	26,5	80	27	83	1,85	3,61
11	26,7	81	27	84	1,11	3,57
12	27,2	81	28	84	2,86	3,57
13	27,5	79	28	83	1,79	4,82
14	28,5	79	29	83	1,72	4,82
15	29,2	79	30	83	2,67	4,82
Rata-Rata Nilai Error					2,13	3,69

Berdasarkan tabel 2 data hasil pengujian sensor DHT11. Perbandingan alat ukur suhu termometer analog dan sensor DHT11 memiliki nilai rata – rata error 2,13% suhu dan 3,69 % kelembaban.

Tabel 3. Hasil Pengujian Sensor DHT11 Terhadap Output

No	Suhu yang terdeteksi (°C)	Kondisi Kipas
1	25,3	OFF
2	25,5	OFF
3	25,7	OFF
4	26	OFF
5	26,5	OFF
6	26,7	OFF
7	27,1	OFF
8	27,5	OFF
9	27,7	OFF
10	28	OFF
11	28,2	ON
12	28,5	ON

No	Suhu yang terdeteksi (°C)	Kondisi Kipas
13	28,9	ON
14	29	ON
15	29,3	ON

Hasil pengujian sensor DHT11 terhadap output menunjukkan bahwa sistem pengendalian kipas berfungsi dengan baik dan konsisten dalam merespon perubahan suhu.

3.2. Data Hasil Pengujian Sensor Soil Moisture

Tabel 4. Data Hasil Pengujian Sensor Soil Moisture

No	Kelembaban Tanah (%)		Error (%)
	Sensor (%)	Alat Ukur (%)	
1	52%	50%	4%
2	65%	63%	3,2%
3	66%	69%	4,3%
4	68%	70%	2,9%
5	71%	69%	2,9%
6	72%	75%	4%
7	74%	76%	2,6%
8	78%	75%	4%
9	81%	82%	1,2%
10	85%	83%	2,4%
Rata-Rata Nilai <i>Error</i>			3,2 %

Berdasarkan tabel 4 hasil pengukuran sensor soil moisture dibandingkan dengan alat ukur manual menunjukkan bahwa sensor ini memiliki akurasi yang cukup baik dalam mendeteksi kelembaban tanah. Error terbesar yang tercatat adalah 4,3% pada pengukuran ketiga, namun sebagian besar error berada di bawah 3%. Rata-rata nilai error sebesar 3,2%.

Tabel 5. Pengujian Sensor Soil Moisture Terhadap Output

No	Nilai Pembacaan Sensor Soil Moisture (%)	Kondisi <i>Water Pump</i>
1	90%	OFF
2	88%	OFF
3	85%	OFF
4	80%	OFF
5	75%	OFF
6	70%	OFF
7	65%	OFF
8	60%	OFF
9	55%	ON

No	Nilai Pembacaan Sensor Soil Moisture (%)	Kondisi Water Pump
10	52%	ON
11	55%	ON
12	59%	ON

Hasil pengujian sensor soil moisture menunjukkan bahwa sensor bekerja dengan baik dalam mendeteksi kelembaban tanah.

3.3. Data Hasil Pengujian Sensor LDR

Tabel 6. Data Hasil Pengujian Sensor LDR

No	Sensor LDR	Lux Meter	Error (%)
1	1050	1100	4,5%
2	1200	1250	4%
3	1350	1300	3,8%
4	1500	1450	3,4%
5	1700	1650	3,0%
6	2000	1950	2,6%
7	2200	2150	2,3%
8	2500	2450	2,0%
9	2750	2700	1,9%
10	3000	2950	1,7%
11	3200	3150	1,6%
12	3500	3450	1,4%
13	3750	3700	1,4%
14	4250	3950	7,6%
15	4527	4348	4,1%
Rata-Rata Nilai Error			3%

Berdasarkan tabel 6 nilai pembacaan sensor LDR dibandingkan dengan alat ukur lux meter menunjukkan beberapa variasi dalam rentang nilai lux antara 1050 hingga 4527. Secara umum, nilai pembacaan sensor LDR mendekati nilai pembacaan lux meter, dengan kesalahan relatif kecil. Nilai rata-rata error keseluruhan adalah 3%.

Tabel 7. Pengujian Sensor LDR Terhadap Output

No	Rata-Rata LUX	% (LUX)	Kondisi Lampu
1	1888	44,04%	ON
2	1907	44,48%	ON
3	1936	45,16%	ON
4	2044	47,68%	ON

No	Rata-Rata LUX	% (LUX)	Kondisi Lampu
5	2161	50,41%	OFF
6	2259	52,69%	OFF
7	2425	56,57%	OFF
8	2591	60,44%	OFF
9	2797	65,24%	OFF
10	3002	70,03%	OFF

Untuk melakukan perhitungan rata-rata pada hasil pengambilan data dari sensor LDR dapat dilakukan dengan rumus :

$$\text{Nilai Rata - rata}_{Lux} = \frac{\text{Jumlah Pembacaan Lux}}{\text{Total Data}} \quad (1)$$

Untuk, selanjutnya menghitung dari nilai rata-rata yang sudah didapat menjadi nilai persentase dengan rumus[6]:

$$\text{Nilai Persentase}_{Lux} = \frac{\text{Nilai Rata-Rata}}{\text{Nilai Maximum}(4287 \text{ LUX})} \times 100 \quad (2)$$

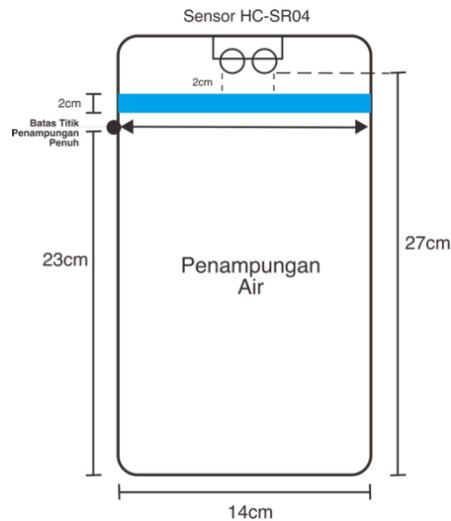
Berdasarkan hasil tabel 7 Lampu menyala (ON) ketika intensitas kurang dari 50% dan mati (OFF) ketika intensitas cahaya mencapai lebih dari 50%. Hasil ini memberikan gambaran mengenai bagaimana sensor LDR berfungsi dalam mendeteksi perubahan intensitas cahaya dan membantu dalam menilai kondisi lampu secara akurat.

3.4. Data Hasil Pengujian Sensor HC-SR04

Tabel 8. Data Hasil Pengujian Sensor HC-SR04

No	Sensor HC-SR04 (cm)	Alat Ukur (cm)	Error(%)
1	20cm	20,5cm	2,4%
2	17cm	17,5cm	2,9%
3	12cm	12,5cm	4%
4	7cm	7,5cm	6,7%
5	5cm	5,5cm	9,1%
Rata-Rata Nilai Error			5,0%

Berdasarkan tabel 8 hasil pengukuran yang dilakukan menggunakan sensor HC-SR04 dan alat ukur berupa penggaris, terlihat adanya variasi antara nilai yang diukur oleh sensor dan nilai yang ditunjukkan oleh penggaris. Secara umum, sensor cenderung memberikan nilai yang sedikit lebih rendah dibandingkan dengan pengukuran yang dilakukan menggunakan penggaris. Hal ini terlihat dari nilai error yang bervariasi untuk setiap pengukuran, dengan rata-rata keseluruhan error sebesar 5,0%.



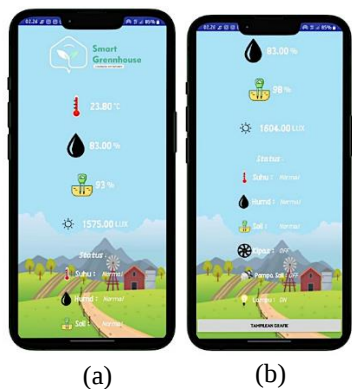
Gambar 4. Desain Penampungan Air

Tabel 9. Pengujian Sensor HC-SR04 Terhadap Output

No	Nilai Pembacaan Sensor HC-SR04	Kondisi <i>Water Pump</i>
1	2cm	OFF
2	15cm	ON
3	20cm	ON
4	27cm	ON

Berdasarkan tabel 9 hasil pengujian sensor ultrasonik HC-SR04 terhadap kondisi pompa air, terlihat bahwa pada semua pengukuran, yaitu pada jarak 15 cm, 20 cm, dan 27 cm, pompa air selalu dalam kondisi ON. Hal ini terjadi karena semua jarak yang terdeteksi oleh sensor kurang dari sama dengan 27cm. Sesuai dengan logika yang digunakan, pompa akan mati jika jarak terdeteksi lebih dari 2 cm. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor ultrasonik HC-SR04 berhasil mengendalikan pompa air berdasarkan aturan yang telah ditentukan.

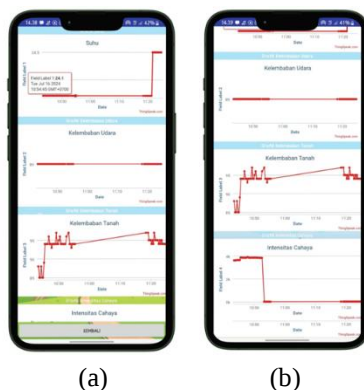
3.5. Pengujian Aplikasi



Gambar 5. (a)Tampilan Monitoring, (b)Tampilan Status Aktuator

Pada gambar 9 menunjukkan bahwa ketika pengguna masuk ke halaman dashboard, aplikasi berhasil menampilkan data-data sensor dan aktuator sesuai dengan yang diharapkan. Pada

halaman dashboard aplikasi akan menampilkan data sensor, aktuator, dan button tampilan grafik untuk berpindah ke fitur yang lain atau kembali ke dashboard.



(a) (b)
Gambar 6. Tampilan Diagram Aplikasi (a) Grafik Suhu, Kelembaban udara dan tanah (b) Grafik intensitas Cahaya

Pada halaman Diagram aplikasi akan menampilkan data sensor dalam bentuk diagram, aplikasi berhasil menampilkan data grafik dari setiap sensor sesuai dengan yang diharapkan dan terdapat button kembali untuk berpindah ke fitur yang lain, jika ingin masuk pada tampilan halaman diagram grafik kita bisa klik button tampilan grafik seperti yang terlihat pada gambar 6.

3.6. Implementasi Smart Greenhouse



Gambar 7. Implementasi Smart Greenhouse dan Box Sistem

Perangkat keras dan yang dibuat berdasarkan perancangan yaitu monitoring smart greenhouse berbasis IoT yang dapat melakukan pengendalian suhu, kelembaban udara, kelembaban tanah, intensitas cahaya, penyiraman, pendingin, serta pengatur cahaya secara otomatis. selain itu petani cabai dapat melakukan monitoring terhadap lingkungan yang ada pada ruangan greenhouse melalui aplikasi yang telah dibuat.

4. Kesimpulan

Sistem Monitoring Smart Greenhouse berbasis IoT dirancang untuk memantau suhu, kelembaban udara, kelembaban tanah, dan intensitas cahaya dalam greenhouse. Sistem ini menggunakan sensor DHT11 untuk suhu dan kelembaban udara, sensor soil moisture untuk kelembaban tanah, LDR untuk intensitas cahaya, dan HC-SR04 untuk ketinggian air. Semua sensor terhubung ke mikrokontroler dengan konektivitas internet, mengirimkan data secara real-time ke platform ThingSpeak untuk pemantauan dan analisis jarak jauh. Sistem ini juga memiliki mekanisme otomatis untuk mengontrol kipas, lampu, dan pompa air berdasarkan data sensor. Hasil pengukuran menunjukkan sensor berfungsi dengan baik dan respon akurat: DHT11 memonitor suhu dengan error rata-rata 2,13% dan kelembaban dengan error 3,69%, sensor soil

moisture mendeteksi kelembaban tanah dengan error rata-rata 3,2% dan mengontrol pompa air otomatis, sensor LDR mengukur intensitas cahaya dengan error rata-rata 3% dan mengontrol lampu otomatis, serta sensor ultrasonik HC-SR04 mendeteksi ketinggian air dengan error rata-rata 5,0%. Monitoring melalui aplikasi menunjukkan setiap perubahan kondisi lingkungan dapat terdeteksi dengan baik dan cepat, ditampilkan secara real-time, dan memastikan kondisi optimal untuk pertumbuhan tanaman dalam greenhouse melalui kontrol otomatis yang berfungsi dengan baik.

Ucapan Terima Kasih

Puji serta syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini. Penulis mengucapkan terimakasih kepada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Garut dan pihak lain yang telah memberikan kerjasama dalam penelitian ini.

Referensi

- [1] A. A. Al-Farzaq dan W. Wildian, "Perancangan Sistem Kontrol Temperatur dan Kelembaban Tanah pada Rumah Kaca Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno," *Jurnal Fisika Unand*, vol. 6, no. 2, hlm. 113–118, 2017, doi: 10.25077/jfu.6.2.113-118.2017.
- [2] A. M. Khafi, "Sistem Kendali Suhu Dan Kelembaban Pada Greenhouse Tanaman Sawi Berbasis IoT," *Gener. J.*, vol. 3, no. 2, p. 37, 2019, doi: 10.29407/gj.v3i2.12973.
- [3] R. S. Ronaldo, R. S. Wahjudi, R. H. Subrata, and S. Sulaiman, "Perancangan Smart Greenhouse Sebagai Budidaya Tanaman Hidroponik Berbasis Internet of Things (Iot)," *KOCENIN Ser. Konf.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–7, 2020.
- [4] A. R. Putri, Suroso, and Nasron, "Perancangan Alat Penyiram Tanaman Otomatis pada Miniatur Greenhouse Berbasis IOT," *Semin. Nas. Inov. dan Apl. Teknol. di Ind.* 2019, vol. 5, pp. 155–159, 2019, [Online]. Available: <https://ejournal.itn.ac.id/index.php/seniati/article/view/768>
- [5] A. Kurniawan, S. Sulitiadi, and A. Ristiono, "Monitoring Iklim Mikro pada Greenhouse Secara Real Time Menggunakan Internet of Things (IoT) Berbasis Thingspeak Microclimate Monitoring of Greenhouse in Real Time Using Thingspeak-Based Internet of Things (IoT)," *J. Tek. Pertan. Lampung*, vol. 10, no. 4, pp. 468–480, 2021, [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.23960/jtep-l.v10.i4.468-480>
- [6] A. M. Yusa, S. Nurhalimah, and A. Fahmi, "Prototype Sistem Monitoring Intensitas Cahaya pada Budidaya Tanaman Cabai Rawit dengan Konsep Smart Farming Berbasis Internet Of Things (IOT)," *Softw. Dev. Digit. Bus. Intell. Comput. Eng.*, vol. 1, no. 02, pp. 34–40, 2023, doi: 10.57203/session.v1i02.2023.34-40.

**Analisis Debit Air Terhadap Daya yang Dihasilkan Pembangkit Listrik
Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Cikandang 2x3 MW Desa Jatiwangi
Kecamatan Pakenjeng Kabupaten Garut**

***Analysis of Water Flow Rate on Power Output of Cikandang Micro-Hydro
Power Plant (MHP) 2x3 MW in Jatiwangi Village, Pakenjeng District,
Garut Regency***

Restu Sajad Abdillah^{1*}, Sani Moch Sopian², Helfy Susilawati³, Mokh Mirza Etnisa Haqiqi⁴

^{1,2,3,4} Fakultas Teknik, Universitas Garut,

Garut 44151, Jawa Barat, Indonesia

restusjd@gmail.com^{1*}, sanimochsopian1@gmail.com², helfy.susilawati@uniga.ac.id³,

mirza@uniga.ac.id⁴

Abstrak – Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) merupakan salah satu alternatif yang ramah lingkungan dalam menghasilkan energi listrik. PLTMH Cikandang dengan kapasitas 2x3 MW yang terletak di Desa Jatiwangi, Kecamatan Pakenjeng, Kabupaten Garut, menjadi objek utama penelitian ini. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh debit air terhadap daya yang dihasilkan oleh PLTMH Cikandang serta untuk mengidentifikasi faktor-faktor hidrologi yang mempengaruhi ketersediaan debit air untuk pembangkit. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengumpulan data primer dan sekunder. Data primer meliputi pengukuran debit air yang masuk ke PLTMH Cikandang dan pengukuran daya yang dihasilkan oleh pembangkit dan perhitungan kebutuhan listrik warga Desa Jatiwangi Kec. Pakenjeng Kab. Garut. Data sekunder meliputi data historis curah hujan, karakteristik hidrologi sungai, data Badan Pusat Statistik (BPS) dan data operasional PLTMH. Analisis statistik digunakan untuk mengevaluasi hubungan antara debit air dan daya yang dihasilkan. Hasil dari penelitian ini adalah hasil rekapitulasi energi listrik untuk ketersediaan listrik PLTMH adalah sebesar 17,6 GWh per tahun dan untuk kebutuhan listrik warga Desa Jatiwangi Kec. Pakenjeng Kab. Garut adalah 12,73 GWh maka Ketersediaan Listrik PLTMH memadai untuk dijadikan sumber energi listrik Desa Jatiwangi Kec. Pakenjeng Kab. Garut.

Kata Kunci: Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH), Debit Air, Listrik.

Abstract – Micro Hydro Power Plant (PLTMH) is one of the environmentally friendly alternatives in generating electrical energy. Cikandang PLTMH with a capacity of 2x3 MW located in Jatiwangi Village, Pakenjeng District, Garut Regency, is the main object of this study. This study aims to analyze the effect of water discharge on the power generated by Cikandang PLTMH and to identify hydrological factors that affect the availability of water discharge for the generator. The method used in this study is the collection of primary and secondary data. Primary data includes measurements of water discharge entering Cikandang PLTMH and measurements of power generated by the generator and calculations of electricity needs of residents of Jatiwangi Village, Pakenjeng District, Garut Regency. Secondary data includes historical rainfall data, river hydrological characteristics, data from the Central Statistics Agency (BPS) and PLTMH operational data. Statistical analysis is used to evaluate the relationship between water discharge and power generated. The results of this study are the results of the recapitulation of electrical energy for the availability of micro-hydro power plants is 17.6 GWh per year and for the electricity needs of the residents of Jatiwangi Village, Pakenjeng District, Garut Regency is 12.73 GWh, so the availability of micro-hydro power plants is sufficient to be used as a source of electrical energy for Jatiwangi Village, Pakenjeng District, Garut Regency.

Keywords: Micro Hydro Power Plant (PLTMH), Water Discharge, Electricity.

1. Pendahuluan

Tenaga listrik adalah elemen penting yang mendukung pengembangan keseluruhan suatu negara. Pemanfaatan yang efisien dapat menjadi alat yang kuat untuk mendorong pertumbuhan ekonomi. Oleh karena itu, permintaan listrik terus meningkat di berbagai negara di seluruh dunia. Beberapa negara kini berusaha memanfaatkan sumber energi atau pembangkit listrik terbarukan yang lebih murah, salah satunya dengan menggunakan sumber daya air bumi [1]. Maka dari itu air adalah sumber daya alam yang sangat penting bagi kelangsungan kehidupan makhluk hidup. Salah satu pemanfaatan air adalah sebagai sumber energi untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). Keberadaan PLTMH memungkinkan penggunaan air sebagai sumber energi yang efisien., air dapat dijadikan sumber energi listrik di daerah tersebut. Adapun daya output PLTMH Cikandang menghasilkan 16,88 Gwh/Tahun . PLTMH bersifat support supply untuk menambah dan mendukung supply listrik ke PT. PLN (Persero) G.I. Sumadra [2]. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik skala kecil yang memanfaatkan tenaga air dari saluran irigasi, sungai, atau air terjun alam. PLTMH menggunakan ketinggian terjunan (head) dan debit air untuk menghasilkan energi. Mikrohidro merupakan gabungan dari kata "mikro," yang berarti kecil, dan "hidro," yang berarti air. Secara teknis, sistem mikrohidro terdiri dari tiga komponen utama: air sebagai sumber energi, turbin yang mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik, dan generator yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Mikrohidro mendapatkan energi dari aliran air yang memiliki perbedaan ketinggian tertentu [3]. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini mengajukan judul "Analisis Debit Air Terhadap Daya yang Dihasilkan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Cikandang 2X3 MW Desa Jatiwangi Kecamatan Pakenjeng Kabupaten Garut."

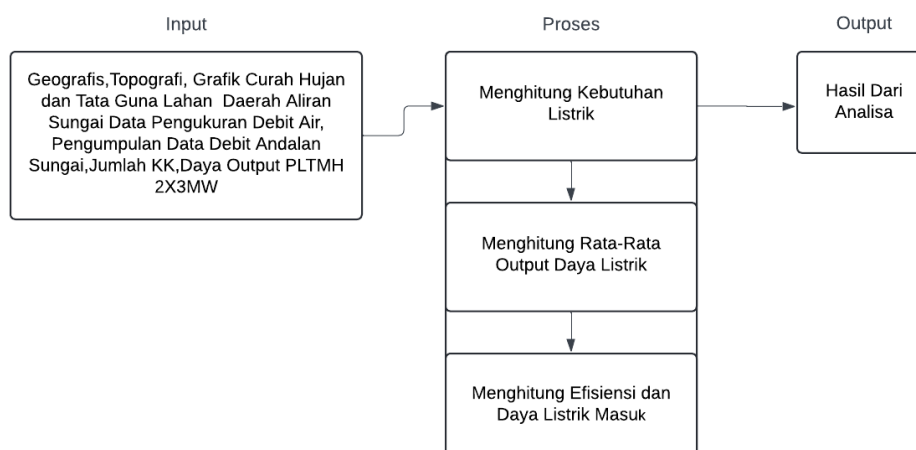
Penelitian ini menggunakan jenis penelitian kuantitatif, yang berarti data dikumpulkan berdasarkan pengukuran dan diselesaikan dalam bentuk matematis. Metode yang digunakan meliputi studi pustaka, survei, dan dokumentasi. Studi pustaka melibatkan pengumpulan, seleksi, dan analisis berbagai sumber bacaan terkait PLTMH untuk membangun kerangka teoritis yang kokoh. Survei dilakukan melalui peninjauan dan sesi tanya jawab dengan pegawai yang bertugas memelihara PLTMH Cikandang, memberikan wawasan mendalam tentang praktik pemeliharaan di lapangan. Metode dokumentasi fokus pada pengukuran debit air, perhitungan energi listrik PLTMH, dan pengukuran tinggi jatuh air di Desa Jatiwangi. Instrumen penelitian termasuk lembar pengamatan dan Current Meter untuk mengukur debit air, serta wawancara langsung dengan operator PLTMH untuk mendapatkan informasi tambahan. Pengumpulan data dilakukan secara periodik dari Desember 2023 hingga Juli 2024 untuk mendapatkan variasi kondisi debit air. Data yang diperoleh dianalisis menggunakan metode statistik dan perangkat lunak analisis data untuk menentukan korelasi antara debit air dan daya yang dihasilkan serta mengevaluasi efisiensi operasi PLTMH Cikandang.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif, di mana data dikumpulkan melalui pengukuran dan diselesaikan secara matematis. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis hubungan antara debit air dan daya listrik yang dihasilkan oleh PLTMH Cikandang di Desa Jatiwangi, Kecamatan Pakenjeng, Kabupaten Garut.

2.1. Desain Penelitian

Penelitian dilakukan dengan pendekatan pengumpulan data primer dan sekunder. Data primer diperoleh dari pengukuran langsung di lapangan, sementara data sekunder dikumpulkan dari berbagai sumber terkait. Berikut diagram blok penelitian yang dilakukan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Blok Penelitian

a. Input

- Data Geografis dan Topografi Daerah Aliran Sungai (DAS) untuk menentukan panjang sungai utama sampai dengan lokasi PLTMH Cikandang-2.
- Data Grafik Curah Hujan untuk menentukan curah hujan bulanan pada saat beban puncak terhadap daya yang dihasilkan.
- Data Tata Guna Lahan Untuk mengukur Luas daerah dan jumlah penduduk di Desa Jatiwangi Kec. Pakenjeng Kab. Garut.

b. Proses

Menentukan Kebutuhan Listrik sesuai jumlah penduduk untuk menghitung Rekapitulasi Kebutuhan Energi Listrik Per Kartu Keluarga (KK) Per Tahun Di Desa Jatiwangi, Kec. Pakenjeng Kab. Garut

c. Output (Hasil dari analisa)

Menghitung analisa Perbandingan debit air dan daya yang dihasilkan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) dan Seberapa besar daya output pada saat beban puncak kepada masyarakat sesuai kebutuhan jumlah penduduk Desa Jatiwangi Kec. Pakenjeng Kab. Garut.

2.2. Analisis Data

a. Analisis Kebutuhan Listrik

Analisa Kebutuhan Listrik di Desa Jatiwangi Kec. Pakenjeng Kab. Garut. Dilakukan beberapa tahap. Jumlah Kartu Keluarga (KK) akan di analisa dengan data yang diperoleh, lalu diubah ke dalam bentuk matematis dan dianalisis Dalam menganalisis data yang diperoleh, tidak diterapkan metode khusus, karena perhitungan yang dilakukan merupakan perhitungan sederhana.

b. Analisis Menghitung Rata-Rata Output Daya

Untuk menghitung rata-rata output daya yang dihasilkan oleh PLTMH Cikandang, kita dapat menggunakan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{rata - rata output daya} = \frac{\text{ketersediaan listrik PLTMH}}{\text{jumlah KK}} \dots\dots\dots(1)$$

c. Analisis Efisiensi

Efisiensi adalah rasio antara daya input dan daya output. Analisis efisiensi penting dilakukan untuk mengetahui berapa banyak daya yang dihasilkan. Perhitungan efisiensi dilakukan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\eta = \frac{\text{Kebutuhan Listrik Warga}}{\text{Ketersediaan Listrik PLTMH}} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

Efisiensi Daya Listrik Masuk (η):

$$\eta = \frac{\text{Rata-rata Output Daya per KK}}{\text{Kebutuhan Listrik per KK}} \times 100\% \dots\dots\dots(3)$$

2.3. Sumber Data

Penelitian ini menggunakan data dari Dokumen Studi Kelayakan PLTMH Cikandang 2, BPS Garut, Kantor Desa Jatiwangi, dan PT PLN Gardu Induk Sumadera, serta wawancara mengenai jumlah rumah di sekitar. Data beban puncak di wilayah Jatiwangi diperoleh dari PT Bukaka Teknik Utama KSO PT Hydro Solusi saat meneliti PLTMH Cikandang-2. Debit rancangan adalah 11,35 m³/s dengan keandalan debit 35,0%. Produksi energi sebesar 2.975 kW dengan rata-rata energi 18,625 GWh/tahun dan faktor kapasitas 71,0%.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Daerah Aliran Sungai (DAS)

Daerah Aliran Sungai (DAS) Sungai Cikandang yang terletak di Kabupaten Garut, Provinsi Jawa Barat, memiliki koordinat antara 107°38'3,26"T sampai dengan 107°44'20,54"T dan antara 7°23'25,33"S sampai dengan 7°14'44,59"S. Bentuk DAS ini memanjang dari Utara ke Selatan dengan aspek sebesar 16,9°. Sungai utama yang digunakan oleh PLTMH Cikandang-2 adalah Sungai Cikandang yang memiliki panjang hingga lokasi bangunan sadap sebesar 31 km dan kemiringan rata-rata 3,65%. Topografi DAS didominasi oleh perbukitan dengan elevasi minimum 802 m dan maksimum 2650 m di atas permukaan laut. Gunung Kendang dan Gunung Papandayan, yang terletak di utara dan timur DAS masing-masing memiliki ketinggian 2608 m dan 2665 m di atas muka laut.

3.2. Analisis Kebutuhan Listrik Setiap Rumah di Desa Jatiwangi

Analisis kebutuhan listrik di Desa Jatiwangi, Kecamatan Pakenjeng, Kabupaten Garut dilakukan dengan mempertimbangkan jenis penggunaan daya listrik per Kartu Keluarga (KK). Tabel 1 menunjukkan distribusi daya listrik di antara 1615 KK, dengan rincian sebagai berikut:

Tabel 1. Golongan Daya Listrik Rumah per KK

Jenis Bangunan	Penggunaan Daya Listrik	Jumlah KK
R-1/TR	900VA	1547
R-1/TR	1300VA	62
R-1/TR	2200VA	6
TOTAL		1615KK

Sumber: Data Distribusi Listrik PLTMH CIKANDANG 2X3 MW

Total daya listrik yang diperlukan dihitung dengan mempertimbangkan kebutuhan masing-masing kategori:

- Untuk 900 VA: 1.392,3 kVA,

- Untuk 1300 VA: 80,6 kVA,
- Untuk 2200 VA: 13,2 kVA.

Total daya listrik yang dibutuhkan oleh 1615 KK adalah 1.486,1 kVA. Dalam periode Januari hingga Juli 2024, total energi listrik yang diperlukan adalah 7,490544 GWh. Perhitungan ini memperlihatkan bahwa mayoritas rumah tangga di Desa Jatiwangi menggunakan listrik dengan daya 900 VA.

3.3. Data Debit Air dan Daya Output PLTM Cikandang

Data curah hujan dan debit air yang dikumpulkan dari BMKG Jawa Barat selama tahun 2022-2024 menunjukkan kestabilan dengan rata-rata debit sekitar 300 m³/s dan daya output sekitar 17,4 GWh per bulan. Data ini mencerminkan efisiensi operasional PLTMH Cikandang dengan variasi kecil dalam produksi listrik sepanjang tahun.

3.4. Hasil Analisis

3.4.1. Menghitung Kebutuhan Listrik

Ketersediaan PLTMH untuk tahun 2023 adalah 17,60 GWh dan untuk tahun 2024 adalah 17,40 GWh. Sedangkan kebutuhan listrik warga selama Januari-Desember 2024 adalah 62,2607 GWh, dengan kebutuhan dari Januari hingga Juli 2024 adalah 4,369094 GWh. Hasil analisis menunjukkan bahwa sisa energi listrik pada Januari-Juli 2024 adalah 13,030906 GWh. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Kebutuhan Listrik Warga dan Ketersediaan Listrik PLTMH Cikandang

Ketersediaan PLTMH Cikandang 2023	17,60 GWh (Januari-Desember)
Ketersediaan PLTMH Cikandang 2024	17,40 GWh (Januari-Juli)
Kebutuhan Listrik Warga 1615 KK	62,2607 GWh (Januari-Desember 2024)
Kebutuhan Listrik Warga 1615 KK	4.369094 GWh. (Januari-Juli 2024)

3.4.2. Menghitung Rata-Rata Output Daya

Perhitungan rata-rata output daya PLTMH Cikandang menunjukkan bahwa pada periode Januari-Juli 2024, rata-rata output daya per Kartu Keluarga (KK) adalah 0,00628 GWh. Tabel 4.11 menggambarkan defisit energi untuk kategori daya yang berbeda dengan efisiensi daya listrik yang bervariasi tergantung pada daya yang digunakan. Rumah tangga dengan daya 900 VA mengalami surplus energi, sementara rumah tangga dengan daya 1300 VA dan 2200 VA mengalami defisit.

3.4.3. Menghitung Efisiensi

Tabel 4.10 menyajikan hasil analisis efisiensi penggunaan daya listrik PLTMH Cikandang. Untuk periode Januari-Desember 2023, efisiensi rata-rata adalah sangat rendah untuk semua kategori daya. Namun, terdapat peningkatan efisiensi yang signifikan pada Januari-Juli 2024, terutama untuk kategori 1300 VA dan 2200 VA. Meskipun efisiensi meningkat, terutama di kategori 2200 VA, efisiensi secara keseluruhan masih rendah dan menunjukkan perlunya perbaikan dalam manajemen energi.

3.4.4. Menghitung Daya Listrik Masuk

Analisis efisiensi daya masuk pada tabel 4.11 menunjukkan bahwa efisiensi daya listrik bervariasi antara 0,0857% hingga 16,2022% untuk kategori daya yang berbeda. Untuk periode

Januari-Juli 2024, efisiensi tertinggi dicapai pada kategori 2200 VA, namun secara umum efisiensi masih perlu ditingkatkan untuk memenuhi kebutuhan listrik secara optimal.

4. Kesimpulan

PLTMH Cikandang memiliki kapasitas yang sangat besar dan mampu menghasilkan energi jauh melebihi kebutuhan listrik rumah tangga saat ini. Hal ini menyebabkan adanya sisa energi yang signifikan setelah kebutuhan energi terpenuhi. Namun, rumah tangga dengan kapasitas daya listrik yang lebih besar cenderung mengalami defisit energi, sedangkan rumah tangga dengan kapasitas daya listrik yang lebih kecil justru memiliki surplus energi. Efisiensi penggunaan listrik juga bervariasi, bergantung pada besarnya daya yang digunakan dan waktu tertentu. Peningkatan efisiensi ini mencerminkan adanya perbaikan dalam manajemen penggunaan listrik, yang menunjukkan bahwa pengelolaan energi telah menjadi lebih baik seiring waktu.

Optimalisasi penggunaan PLTMH di wilayah Cikandang perlu ditingkatkan, sambil mengeksplorasi potensi energi terbarukan lain seperti tenaga surya dan angin, untuk menjamin ketersediaan energi yang berkelanjutan. Pengembangan kebijakan yang mendukung pengelolaan energi terbarukan juga penting. Selain itu, instansi pemerintah harus lebih sadar bahwa energi terbarukan seperti PLTMH lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan PLTU dan PLTG yang menghasilkan emisi karbon berbahaya. Penelitian lanjutan diperlukan untuk mengoptimalkan PLTMH dari segi teknis, manajerial, dan operasional guna meningkatkan efisiensinya.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada Tim SENTER yang telah meluangkan waktu untuk membuat template ini.

Referensi

- [1] Zakia Liland Fajriani. 2019. *Rancang Bangun Pembangkit Listrik Turbin Air (PLTMH) Menggunakan Motor Listrik Sinkron (AC) Type Dinamo (XQD-135-A) Sebagai Generator Memanfaatkan Aliran Air*.
- [2] Hasan, Achmad. *Pengontrol Beban Elektronik pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro, P3 Teknologi Konversi dan Konservasi Energi*, Deputy Teknologi Informasi, Energi, Material dan Lingkungan, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.
- [3] WKV Operation and Maintenance Book. *Buku Panduan Operasional PLTMH Desa Pataneteang Kabupaten Bantaeng*.
- [4] Anto Palawa. 2004. *Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Likulambe' di Kecamatan Sa'dan Balusu Kabupaten Tana Toraja*. Skripsi tidak dipublikasikan. Makassar: Fakultas Teknik Universitas Negeri Makassar.
- [5] Arismunandar, dkk. 1991. *Teknik Tenaga Listrik*. Pradnya Paramita: Jakarta.
- [6] Supratono. 2005. *Sistem Tenaga Listrik, Volume II*. Surabaya: Supodadi.
- [7] Dr. Susumumu Kuwahara. 1974. *Pembangkitan dengan Tenaga Air*. Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik, Jilid I. Muhammad Uday 2010.
- [8] *Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)*. Universitas Syiah Kuala Darussalam: Banda Aceh

Prototipe Deteksi Kelayakan Oli Berbasis Mikrokontroler Untuk Praktikum di SMK Negeri 9 Garut

Microcontroller-Based Oil Feasibility Detection Prototype For Practical Training at SMK Negeri 9 Garut

Dian Mustofa^{1*}, Firman², Helfy Susilawat³, Iik Muhamad Malik Matin⁴, Rifki Nufalah⁵

^{1, 2, 3, 5} Fakultas Teknik Universitas Garut
Garut, 44151, Indonesia

⁴ Departemen Teknik Informatika dan Komputer Politeknik Negeri Jakarta
Kota Depok, Jawa Barat,
Indonesia

09dianm@gmail.com^{1*}, firmanfardiansyah2592@gmail.com², helfy.susilawati@uniga.ac.id³,
iik.muhamad.malik.matin@tik.pnj.ac.id⁴, rifki.nf4@gmail.com⁵

Abstrak – Mesin adalah alat yang dirancang untuk mempermudah pekerjaan manusia dengan mengubah energi menjadi berbagai bentuk. Mesin melakukan tugas seperti mengangkat beban, memindahkan barang, atau menghasilkan listrik, yang mendukung proses industri. Perawatan mesin yang baik sangat penting untuk kinerja optimal, dan penggantian oli secara teratur merupakan komponen kunci. Oli berfungsi untuk melumasi bagian yang bergerak, mencegah karat, mendinginkan, dan mengurangi keausan akibat gesekan. Penggantian oli tidak hanya berdasarkan jarak tempuh dan usia, tetapi juga berdasarkan viskositas oli, yang diukur dengan standar SAE dan API. Untuk mengukur viskositas oli, digunakan viskometer yang diimplementasikan dalam prototipe Arduino yang diprogram dengan bahasa pemrograman C++. Alat ini tidak hanya mengukur viskositas oli, tetapi juga suhu oli dan kandungan logam, memberikan informasi penting untuk perawatan mesin yang efektif. Cara kerja prototipe ini adalah oli dimasukkan ke dalam alat yang terbuat dari pipa, kemudian data yang diukur ditampilkan di LCD, mulai dari kandungan logam (Fe), suhu (°C), dan nilai viskositas dengan satuan mPas. Jika oli mengandung logam, indikator biru dan buzzer akan menyala; jika tidak, indikator oranye akan menyala. Indikator oli yang masih layak ditandai dengan warna hijau, dan jika oli sudah tidak layak, indikator merah akan menyala disertai bunyi buzzer. Pembuangan oli yang sudah diukur dilakukan melalui kran. Dari beberapa percobaan yang dilakukan dalam pengujian prototipe ini, hasilnya dibandingkan dengan alat standar. Rata-rata error untuk sensor suhu adalah sebagai berikut: suhu oli normal 4,79%, suhu oli panas 2,58%, suhu oli bekas normal 5,46%, dan suhu oli bekas panas 5,78%. Sedangkan untuk viskositas: oli baru dingin 3,98%, oli baru panas 3,14%, oli bekas dingin 8,90%, dan oli bekas panas 5,2%.

Kata Kunci: API (American Petroleum Institute), SAE (Society of Automotive Engineers), Mikrokontroler, Penggantian Oli, Viskositas

Abstract – A machine is a device created to facilitate human tasks by converting energy into various forms. Its applications involve a wide range of tasks such as lifting loads, moving goods, or converting energy into electricity, thereby aiding industrial processes. Maintenance of machines is key to ensuring optimal performance, with regular oil replacement being a crucial step. Oil plays a vital role, serving to lubricate moving components, prevent rust, aid in cooling, and mitigate wear due to friction. The process of oil replacement is not solely based on mileage or age but also on the viscosity or thickness of the oil, measured using SAE and API standards. A viscometer, implemented in an Arduino prototype programmed in C++, is used to measure oil viscosity. This device not only calculates oil viscosity but also oil temperature and metal content, providing crucial information for effective machine maintenance. The prototype works by inserting oil into a pipe-based device, after which the measured data is displayed on an LCD, including metal content (Fe), temperature (sh), and viscosity value in m.Pas. Oil containing metal content triggers a blue indicator and buzzer, while absence of metal content triggers an orange indicator. Oil deemed suitable

for further use is indicated by a green indicator, whereas oil requiring replacement triggers a red indicator along with the buzzer. Disposal of measured oil is facilitated through a valve. Comparative testing of the prototype against existing devices yielded average error rates for temperature sensors as follows: normal oil temperature 4.79%, hot oil temperature 2.58%, normal used oil temperature 5.46%, hot used oil temperature 5.78%. For viscosity measurements, the error rates were: cold new oil viscosity 3.98%, hot new oil viscosity 3.14%, cold used oil viscosity 8.90%, and hot used oil viscosity 5.2%.

Keywords: API (American Petroleum Institute), SAE (Society of Automotive Engineers), Mikrokontroler, Oil Change, Viscosity.

1. Pendahuluan

Salah satu teknik utama dalam perawatan mesin kendaraan adalah penggantian oli, yang berfungsi untuk pendinginan, perlindungan terhadap karat, dan pengurangan keausan. Penggantian oli umumnya mengikuti standar bengkel berdasarkan waktu atau jarak tempuh, tetapi metode ini tidak selalu akurat karena kualitas oli ditentukan oleh viskositas. Viskositas, yang diukur oleh SAE (*Society of Automotive Engineers*), menunjukkan kekentalan oli; oli encer memiliki indeks rendah, sedangkan oli kental memiliki indeks tinggi. Di SMK Negeri 9 Garut, khususnya di jurusan Teknik Kendaraan Ringan, siswa melakukan pengecekan oli secara manual menggunakan indra penciuman dan peraba. Karena belum ada alat ukur viskositas di bengkel dan harganya mahal, diperlukan prototipe deteksi kelayakan oli berbasis mikrokontroler untuk mendukung pembelajaran. Mikrokontroler, yang diprogram dengan C++, dipilih sebagai otak utama dalam memproses data dari sensor karena memiliki banyak pustaka dan pin Input/Output (I/O) yang dapat menghubungkan berbagai komponen elektronik. Pembuatan prototipe ini diharapkan membantu siswa memahami proses praktikum teknik kendaraan ringan, sehingga penelitian ini diberi judul: "Prototipe Deteksi Kelayakan Oli Berbasis Mikrokontroler Untuk Praktikum di SMK Negeri 9 Garut."

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kualitatif, di mana peneliti melakukan pengujian terhadap oli untuk menentukan kelayakannya. Oli yang digunakan terdiri dari oli baru dan oli bekas pakai. Oli dideteksi menggunakan sensor viskositas, dan hasil pengukuran akan ditampilkan pada LCD I2C. Selain itu, peneliti juga melakukan deteksi suhu dan logam dalam oli sebagai bagian dari analisis. Data suhu dan logam akan membantu dalam memahami kondisi oli secara lebih komprehensif. Peneliti juga melakukan analisis mendalam terhadap hasil pengukuran untuk memahami perbedaan karakteristik antara oli baru dan oli bekas. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam praktik perawatan mesin di lingkungan pendidikan, khususnya di SMK Negeri 9 Garut.

2.1. Alat dan Bahan

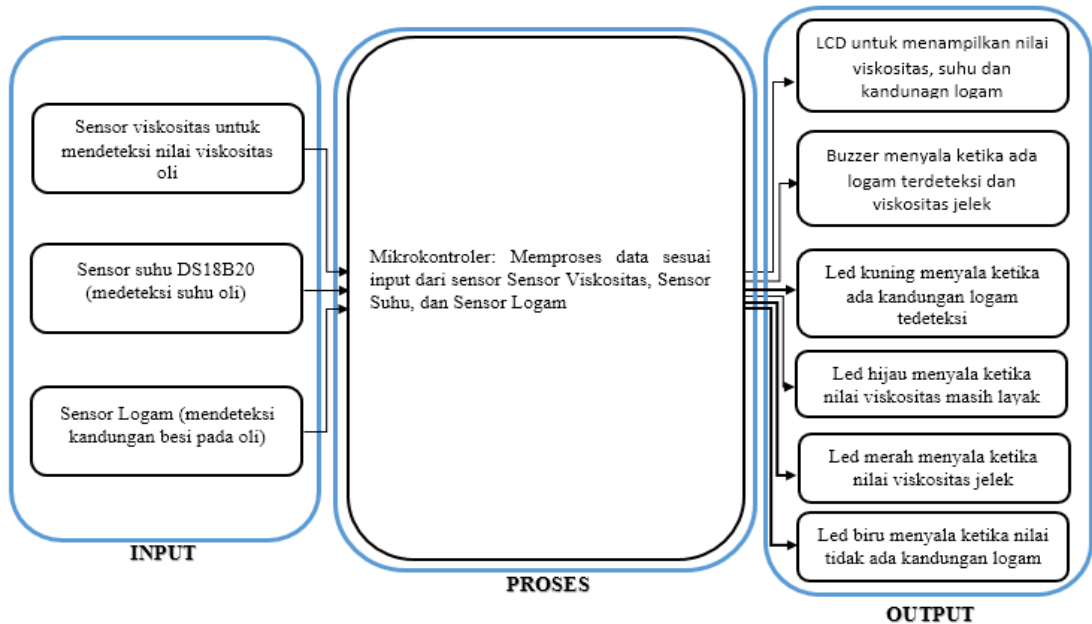
Pada penelitian ini, pengujian kelayakan oli dilakukan menggunakan mikrokontroler Arduino. Prototipe ini dapat mengukur suhu oli, kandungan logam, dan nilai viskositas. Alat dan bahan yang digunakan seperti pada tabel di bawah ini:

Tabel 1. Alat dan Bahan

No	Nama Bahan	Kegunaan
1	Arduino Uno	Mikrokontroler berbasis ATmega328 yang digunakan untuk mengendalikan dan memproses data dari sensor.
2	Sensor Suhu (LM35)	Sensor untuk mengukur suhu oli dengan akurasi yang sesuai.
3	Sensor Logam	Sensor untuk mendeteksi kandungan logam dalam oli.

No	Nama Bahan	Kegunaan
4	Kabel	Kabel untuk menghubungkan komponen-komponen dalam sistem.
5	LCD (16x2)	Layar untuk menampilkan hasil pengukuran suhu, viskositas, dan kadar logam.
6	LED	Indikasi status atau peringatan.
7	Tombol (Push Button)	Mengontrol atau memulai proses pengujian.

2.2. Diagram Blok



Gambar 8. Diagram Blok

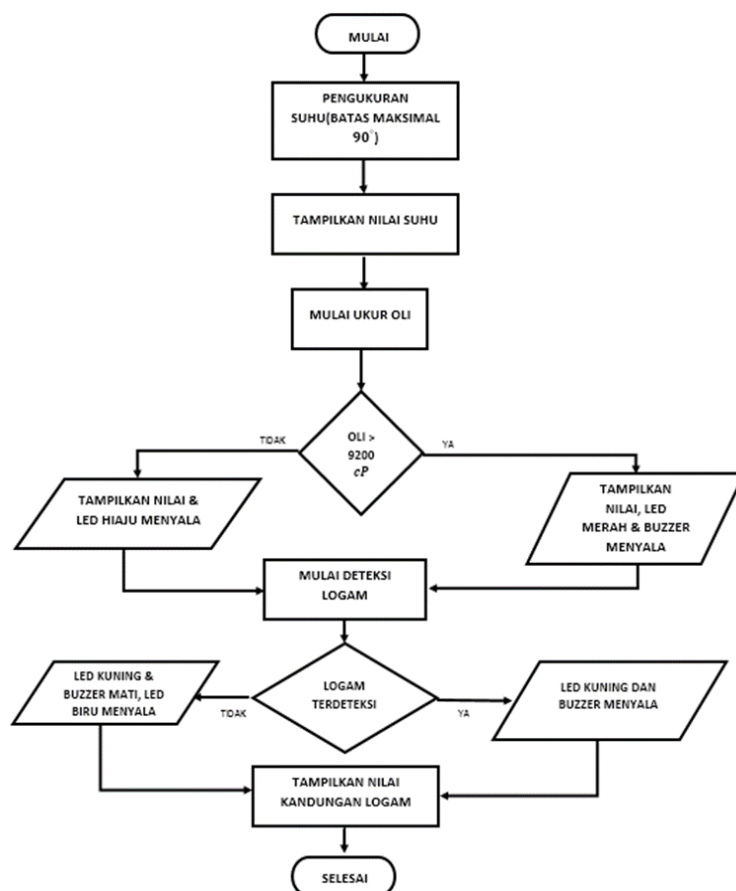
Gambar 1 di atas, dijelaskan mengenai proses kerja alat yang terdiri dari tiga tahapan utama yaitu input, proses, dan output. Penjelasan dari diagram blok tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 9. Diagram Blok

Tahapan	Komponen	Fungsi
Input	Sensor Viskositas	Mengukur nilai viskositas oli untuk menilai kekentalannya.
	Sensor Suhu (DS18B20)	Mendeteksi suhu oli untuk memastikan oli berada pada suhu yang sesuai.
	Sensor Logam	Mengidentifikasi kandungan logam dalam oli yang dapat menunjukkan adanya keausan mesin.
Proses	Mikrokontroler (Arduino Uno)	Mengumpulkan dan mengolah data dari sensor viskositas, sensor suhu, dan sensor logam.
		Menilai kualitas oli berdasarkan data yang diperoleh dari sensor-sensor tersebut.
Output	LCD I2C	Menampilkan informasi tentang nilai viskositas, suhu, dan kandungan logam dalam oli.

Tahapan	Komponen	Fungsi
	Buzzer	Mengeluarkan suara peringatan jika oli mengandung logam atau viskositasnya sudah buruk.
	LED Kuning	Menyala saat terdeteksi kandungan logam dalam oli.
	LED Hijau	Menyala ketika viskositas oli masih dalam batas yang layak.
	LED Merah	Menyala jika viskositas oli menunjukkan oli sudah tidak layak pakai.
	LED Biru	Menyala saat oli tidak mengandung logam dan viskositasnya baik.

2.3. Flowchart Sistem dan Aplikasi



Gambar 2. Flowchart Sistem

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Data Hasil Pengujian

Data hasil pengujian didapatkan melalui 10 kali percobaan, Dibawah ini merupakan data-data dari hasil pengujian yang dilakukan yang dapat dilihat pada table 3 berikut ini:

Tabel 3 Hasil Pengujian

No	Kondisi oli	Suhu (SH)	Viskositas (mpa · s)										Logam (Fe)	Led	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1	Baru	26 °C	231.5	232.5	231.8	232.4	232.6	232.5	232.5	232.5	232.8	232.5	0 %	Biru	Orange
2	Baru	36 °C	121.5	121.6	121.5	121.5	121.9	121.8	121.7	121.7	121.5	121.5	0 %	Biru	Orange
3	Bekas	26 °C	154.5	156.5	155.5	155.5	155.6	155.8	155.5	155.5	155.5	155.5	0 %	Merah	Orange
4	Bekas	36 °C	95	95.5	91.5	95.5	92.5	95.5	95.5	95.5	95.5	95.5	0 %	Merah	Orange

Berdasarkan data hasil pengujian, dilakukan percobaan viskositas oli dengan empat kondisi berbeda, yakni "Baru" dan "Bekas," dengan SAE 20 W-50 pada suhu 26 °C dan 36 °C. Setiap kondisi oli diuji sebanyak 10 kali, dan hasilnya dicatat dalam mPa·s (millipascal-second). Selain itu, persentase kandungan logam besi (Fe) dalam oli juga dicatat.

3.2. Pengujian Sensor Suhu

Tabel 4 Pengujian Sensor Suhu

Percobaan ke	Suhu LM35	Suhu termometer
1	26	26
2	25	26
3	27	26
4	27	26
5	28	26
6	27	26
7	28	26
8	28	26
9	27	26
10	27	26

Tabel 4 merepresentasikan hasil dari sepuluh percobaan dengan mengukur suhu menggunakan dua metode yang berbeda, yaitu menggunakan sensor LM35 dan termometer, dengan menggunakan suhu oli normal dimana nilai yang dihasilkan sensor suhu LM35 nilainya berubah-ubah sedangkan nilai yang dihasilkan thermometer nilainya konstan di 26°C. Setelah melakukan 10 kali percobaan cari besar kesalahan relatif sensor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

Tabel 5 Persentase Error Suhu

Percobaan Ke	Suhu LM35	Suhu termometer	Persentase error
1	26	26	0%
2	25	26	3.85%
3	27	26	3.85%
4	27	26	3.85%
5	28	26	7.69%
6	27	26	3.85%
7	28	26	7.69%
8	28	26	7.69%
9	27	26	3.85%
10	27	26	3.85%
Rata-rata			3.85%

$$Persentase\ Error = \left| \frac{sensor - alat\ ukur}{alat\ ukur} \right| \times 100\% \tag{1}$$

Tabel diatas merepresentasikan hasil dari perhitungan persentase error dari 10 kali percobaan yang sudah dihitung menggunakan persamaan 1. Rata-rata error yang di hasilkan oleh sensor LM35 sebesar 3.85%.

3.3. Pengujian Sensor Viskositas

Tabel 6 Pengukuran Sensor Viskositas

Percobaan Ke	Sensor Viskositas	Viskometer
1	231.5	250
2	232.2	225
3	231.8	225
4	232.4	225
5	232.6	225
6	232.5	225
7	232.5	225
8	232.5	250
9	232.8	250
10	232.5	225

Tabel 6. Percobaan ini melibatkan pengukuran viskositas dengan dua metode berbeda, yaitu menggunakan sensor viskositas dan viskometer. Pada pengukuran dengan suhu oli normal, nilai yang diperoleh dari sensor viskositas menunjukkan variasi, sedangkan nilai yang dihasilkan dari viskometer adalah 255.

3.4. Pengujian Sensor Logam

Tabel 7 Sensor Logam

No	Berat Logam	Sensor Logam
1	10 Gram	0 %
2	30 Gram	0 %
3	40 Gram	0 %
4	50 Gram	0 %
5	60 Gram	0 %
6	70 Gram	0 %
7	80 Gram	0 %
8	90 Gram	0 %
9	100 Gram	0 %
10	200 Gram	1 %

Tabel 7 adalah hasil pengujian sensor logam menunjukkan bahwa oli yang dicampur dengan serbuk logam tidak dapat terdeteksi dengan baik oleh sensor, dengan nilai persentase logam sebesar 0%. Namun, jika menggunakan logam dengan berat seperti yang tercantum dalam tabel, sensor logam dapat mendeteksi dengan baik.

Hasil pengujian sensor soil moisture menunjukkan bahwa sensor bekerja dengan baik dalam mendeteksi kelembaban tanah.

4. Kesimpulan

Prototipe kelayakan oli menggunakan Arduino Uno berhasil dirancang dengan baik. Viskositas oli dipengaruhi oleh suhu. Sensor suhu menunjukkan rata-rata error sebesar 4.79% pada oli baru dengan suhu normal 26°C, dan 2.58% pada suhu 36°C. Untuk oli bekas, rata-rata error sensor adalah 5.46% pada suhu normal dan tetap pada suhu 26°C. Sensor viskositas menunjukkan rata-rata error 3.98% pada oli baru dengan suhu 26°C dan 3.14% pada suhu 34°C. Untuk oli bekas, rata-rata error adalah 8.90% pada suhu 26°C dan 5.2% pada suhu 36°C. Sensor viskositas menunjukkan performa yang baik dalam mengukur oli baru, tetapi terdapat peningkatan error pada oli bekas, terutama pada suhu yang lebih tinggi. Pengujian sensor logam pada oli bekas menunjukkan bahwa oli tidak mengandung logam, menandakan bahwa mobil tidak mengalami keausan.

Ucapan Terima Kasih

Puji syukur penulis sampaikan kepada Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya yang memungkinkan penulis menyelesaikan penelitian ini. Penulis menyadari bahwa pencapaian ini tidak terwujud tanpa bimbingan, dukungan, dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Garut serta semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam proses penelitian ini.

Referensi

- [1] Mada Sanjaya W.S., P. (2014). Panduan praktis membuat robot cerdas menggunakan Arduino & Matlab. 68-69.
- [2] Toyota. (1994). New Step 1 Training Manual. Jakarta: PT Toyota Astra Motor.
- [3] ITB-MG, "Mediana Mahasiswa ITB-MG," 12 2022. [Online]. Available: <https://mediacenter.itbmg.ac.id/mikrokontroler-pengertian-fungsi-dan-jenis-jenisnya>.
- [4] J. C. M. Santos, "Influence of Arduino on the Development of Advanced Microcontrollers Courses," IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologias del Aprendizaje PP(99):1-1, 2017.
- [5] W. I. U. Leni Andayani, "PENGEMBANGAN ALAT UKUR VISKOSITAS AIR SUNGAI TERCEMAR LIMBAH CAIR BERBASIS SENSOR OPTIK TIPE THROUGH BEAM," Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF2019, 2019.
- [6] Wisnu_Adi, "UNIKOM_Wisnu_Adi_Perdana_BAB II," Universitas Komputer Indonesia (UNIKOM), 2019.
- [7] K. A. Gunawan, "RANCANG BANGUN ALAT PENGUKUR SUHU TANAH SEBAGAI ALAT BANTU PENENTU BENIH SAYURAN," UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG, 2015.
- [8] H. E. Farhan Muhtarom, "Alat Pendeteksi Logam Pada Makanan Berbasis Arduino UNO," JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia, 2020.
- [9] M. R. P. Aji, "RANCANG BANGUN SISTEM PERINGATAN PENGGANTIAN OLI PADA SEPEDA MOTOR BERBASIS INTERNET OF THINGS (IoT)," 2020.
- [10] R. B. A. U. K. P. K. B. B. MIKROKONTROLER, "Teguh Febrianto, Sukiswo Supeni Edi, Sunarno," Unnes Physics Journal, 2013.
- [11] Y. Z. K. Nurry Putri Tissos, "PEMBUATAN SISTEM PENGUKURAN VISKOSITAS FLUIDA SECARA DIGITAL MENGGUNAKAN SENSOR EFEK HALL," Jurnal Sainstek Vol. VI No. 1: 71-83 Juni 2014, 2014.
- [12] E. P. ., D. A. Riza Samsinar, "Sistem Pengingat Ganti Oli Berdasarkan Running Hours Mesin, Lama Waktu Pemakaian dan Kekentalan Oli pada Mesin Wire Drawing Berbasis

- Raspberry Pi 1," RESISTOR (Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer) Vol. 2 No. 2.
- [13] A. A. A. E. W. F. T. Dany Pratmanto, "Pembuatan Alat Pendeteksi Kadar Logam Pada Air Berbasis Aduino UNO," Jurnal Evolusi Volume 7 No 1 - 2019, 2013.
- [14] D. S. I. A. Mustajib Furqon Haqiqi, "Sistem Pengecek Kelayakan Pakai Oli Motor Matic Berdasarkan Parameter Warna dan Viskositas Menggunakan Metode Bayes," Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer, 2019.
- [15] R. Prasetyowati, "UJI VISKOSITAS PEMAKAIAN PELUMAS MESIN KENDARAAN BERMOTOR," 2014.
- [16] O. B. K. A. W. A. RAMA RAMANDA, "Sistem Pemantauan Kelayakan Pelumas Oli pada Kendaraan Sepeda Motor dengan Memanfaatkan Teknologi Internet of Things," MIND Journal | ISSN (p): 2528-0015 | ISSN (e): 2528-0902, 2021.
- [17] datasheet-for-inductive-proximity-sensor, "Inductive Proximity Sensor,LJ12A3-4-Z/BX ,NPN,3-wire NO,diameter 12mm,Proximity Switch".
- [18] D. D. H. M. S. Asi Noflanda Arsis, "RANCANG BANGUN ALAT UKUR KEKENTALAN OLI SAE 10-30 MENGGUNAKAN METODE FALLING BALL VISCOMETER (FBV)," JURNAL ILMU FISIKA (JIF), VOL 9 NO 2, SEPTEMBER 2017, 2017.
- [19] B. RAMADHAN, "PENGARUH BERAT KAOLIN TERHADAP KONSENTRASI LOGAM DAN SENYAWA ORGANIK PADA PENGOLAHAN LIMBAH OLI BEKAS," 2017.

Prototipe Deteksi Kelayakan Oli Berbasis Mikrokontroler Untuk Praktikum di SMK Negeri 9 Garut

Microcontroller-Based Oil Feasibility Detection Prototype For Practical Training at SMK Negeri 9 Garut

Dian Mustofa^{1*}, Firman², Helfy Susilawat³, Iik Muhamad Malik Matin⁴, Rifki Nufalah⁵

^{1, 2, 3, 5} Fakultas Teknik Universitas Garut

Garut, 44151, Indonesia

⁴ Departemen Teknik Informatika dan Komputer Politeknik Negeri Jakarta

Kota Depok, Jawa Barat,

Indonesia

09dianm@gmail.com^{1*}, firmanfardiansyah2592@gmail.com², helfy.susilawati@uniga.ac.id³, iik.muhamad.malik.matin@tik.pnj.ac.id⁴, rifki.nf4@gmail.com⁵

Abstrak – Mesin adalah alat yang dirancang untuk mempermudah pekerjaan manusia dengan mengubah energi menjadi berbagai bentuk. Mesin melakukan tugas seperti mengangkat beban, memindahkan barang, atau menghasilkan listrik, yang mendukung proses industri. Perawatan mesin yang baik sangat penting untuk kinerja optimal, dan penggantian oli secara teratur merupakan komponen kunci. Oli berfungsi untuk melumasi bagian yang bergerak, mencegah karat, mendinginkan, dan mengurangi keausan akibat gesekan. Penggantian oli tidak hanya berdasarkan jarak tempuh dan usia, tetapi juga berdasarkan viskositas oli, yang diukur dengan standar SAE dan API. Untuk mengukur viskositas oli, digunakan viskometer yang diimplementasikan dalam prototipe Arduino yang diprogram dengan bahasa pemrograman C++. Alat ini tidak hanya mengukur viskositas oli, tetapi juga suhu oli dan kandungan logam, memberikan informasi penting untuk perawatan mesin yang efektif. Cara kerja prototipe ini adalah oli dimasukkan ke dalam alat yang terbuat dari pipa, kemudian data yang diukur ditampilkan di LCD, mulai dari kandungan logam (Fe), suhu (°C), dan nilai viskositas dengan satuan mPas. Jika oli mengandung logam, indikator biru dan buzzer akan menyala; jika tidak, indikator oranye akan menyala. Indikator oli yang masih layak ditandai dengan warna hijau, dan jika oli sudah tidak layak, indikator merah akan menyala disertai bunyi buzzer. Pembuangan oli yang sudah diukur dilakukan melalui kran. Dari beberapa percobaan yang dilakukan dalam pengujian prototipe ini, hasilnya dibandingkan dengan alat standar. Rata-rata error untuk sensor suhu adalah sebagai berikut: suhu oli normal 4,79%, suhu oli panas 2,58%, suhu oli bekas normal 5,46%, dan suhu oli bekas panas 5,78%. Sedangkan untuk viskositas: oli baru dingin 3,98%, oli baru panas 3,14%, oli bekas dingin 8,90%, dan oli bekas panas 5,2%.

Kata Kunci: API (American Petroleum Institute), SAE (Society of Automotive Engineers), Mikrokontroler, Penggantian Oli, Viskositas

Abstract – A machine is a device created to facilitate human tasks by converting energy into various forms. Its applications involve a wide range of tasks such as lifting loads, moving goods, or converting energy into electricity, thereby aiding industrial processes. Maintenance of machines is key to ensuring optimal performance, with regular oil replacement being a crucial step. Oil plays a vital role, serving to lubricate moving components, prevent rust, aid in cooling, and mitigate wear due to friction. The process of oil replacement is not solely based on mileage or age but also on the viscosity or thickness of the oil, measured using SAE and API standards. A viscometer, implemented in an Arduino prototype programmed in C++, is used to measure oil viscosity. This device not only calculates oil viscosity but also oil temperature and metal content, providing crucial information for effective machine maintenance. The prototype works by inserting oil into a pipe-based device, after which the measured data is displayed on an LCD, including metal content (Fe), temperature (sh), and viscosity value in m.Pas. Oil containing metal content triggers a blue indicator and buzzer, while absence of metal content triggers an orange indicator. Oil deemed suitable

for further use is indicated by a green indicator, whereas oil requiring replacement triggers a red indicator along with the buzzer. Disposal of measured oil is facilitated through a valve. Comparative testing of the prototype against existing devices yielded average error rates for temperature sensors as follows: normal oil temperature 4.79%, hot oil temperature 2.58%, normal used oil temperature 5.46%, hot used oil temperature 5.78%. For viscosity measurements, the error rates were: cold new oil viscosity 3.98%, hot new oil viscosity 3.14%, cold used oil viscosity 8.90%, and hot used oil viscosity 5.2%.

Keywords: API (American Petroleum Institute), SAE (Society of Automotive Engineers), Mikrokontroler, Oil Change, Viscosity.

1. Pendahuluan

Salah satu teknik utama dalam perawatan mesin kendaraan adalah penggantian oli, yang berfungsi untuk pendinginan, perlindungan terhadap karat, dan pengurangan keausan. Penggantian oli umumnya mengikuti standar bengkel berdasarkan waktu atau jarak tempuh, tetapi metode ini tidak selalu akurat karena kualitas oli ditentukan oleh viskositas. Viskositas, yang diukur oleh SAE (*Society of Automotive Engineers*), menunjukkan kekentalan oli; oli encer memiliki indeks rendah, sedangkan oli kental memiliki indeks tinggi. Di SMK Negeri 9 Garut, khususnya di jurusan Teknik Kendaraan Ringan, siswa melakukan pengecekan oli secara manual menggunakan indra penciuman dan peraba. Karena belum ada alat ukur viskositas di bengkel dan harganya mahal, diperlukan prototipe deteksi kelayakan oli berbasis mikrokontroler untuk mendukung pembelajaran. Mikrokontroler, yang diprogram dengan C++, dipilih sebagai otak utama dalam memproses data dari sensor karena memiliki banyak pustaka dan pin Input/Output (I/O) yang dapat menghubungkan berbagai komponen elektronik. Pembuatan prototipe ini diharapkan membantu siswa memahami proses praktikum teknik kendaraan ringan, sehingga penelitian ini diberi judul: "Prototipe Deteksi Kelayakan Oli Berbasis Mikrokontroler Untuk Praktikum di SMK Negeri 9 Garut."

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kualitatif, di mana peneliti melakukan pengujian terhadap oli untuk menentukan kelayakannya. Oli yang digunakan terdiri dari oli baru dan oli bekas pakai. Oli dideteksi menggunakan sensor viskositas, dan hasil pengukuran akan ditampilkan pada LCD I2C. Selain itu, peneliti juga melakukan deteksi suhu dan logam dalam oli sebagai bagian dari analisis. Data suhu dan logam akan membantu dalam memahami kondisi oli secara lebih komprehensif. Peneliti juga melakukan analisis mendalam terhadap hasil pengukuran untuk memahami perbedaan karakteristik antara oli baru dan oli bekas. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam praktik perawatan mesin di lingkungan pendidikan, khususnya di SMK Negeri 9 Garut.

2.1. Alat dan Bahan

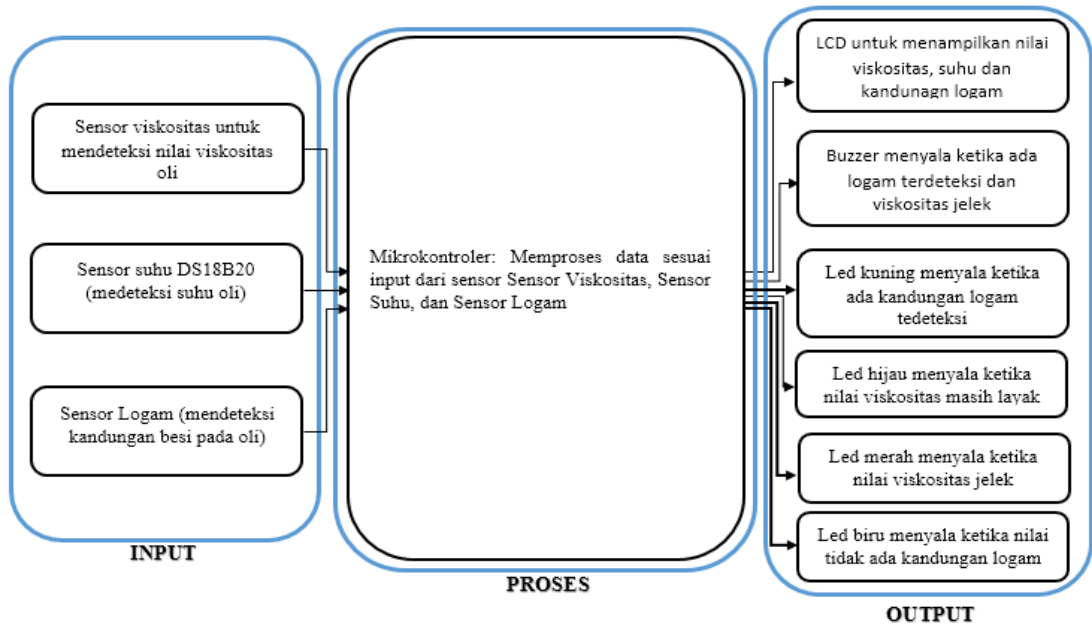
Pada penelitian ini, pengujian kelayakan oli dilakukan menggunakan mikrokontroler Arduino. Prototipe ini dapat mengukur suhu oli, kandungan logam, dan nilai viskositas. Alat dan bahan yang digunakan seperti pada tabel di bawah ini:

Tabel 1. Alat dan Bahan

No	Nama Bahan	Kegunaan
1	Arduino Uno	Mikrokontroler berbasis ATmega328 yang digunakan untuk mengendalikan dan memproses data dari sensor.
2	Sensor Suhu (LM35)	Sensor untuk mengukur suhu oli dengan akurasi yang sesuai.
3	Sensor Logam	Sensor untuk mendeteksi kandungan logam dalam oli.

No	Nama Bahan	Kegunaan
4	Kabel	Kabel untuk menghubungkan komponen-komponen dalam sistem.
5	LCD (16x2)	Layar untuk menampilkan hasil pengukuran suhu, viskositas, dan kadar logam.
6	LED	Indikasi status atau peringatan.
7	Tombol (Push Button)	Mengontrol atau memulai proses pengujian.

2.2. Diagram Blok



Gambar 8. Diagram Blok

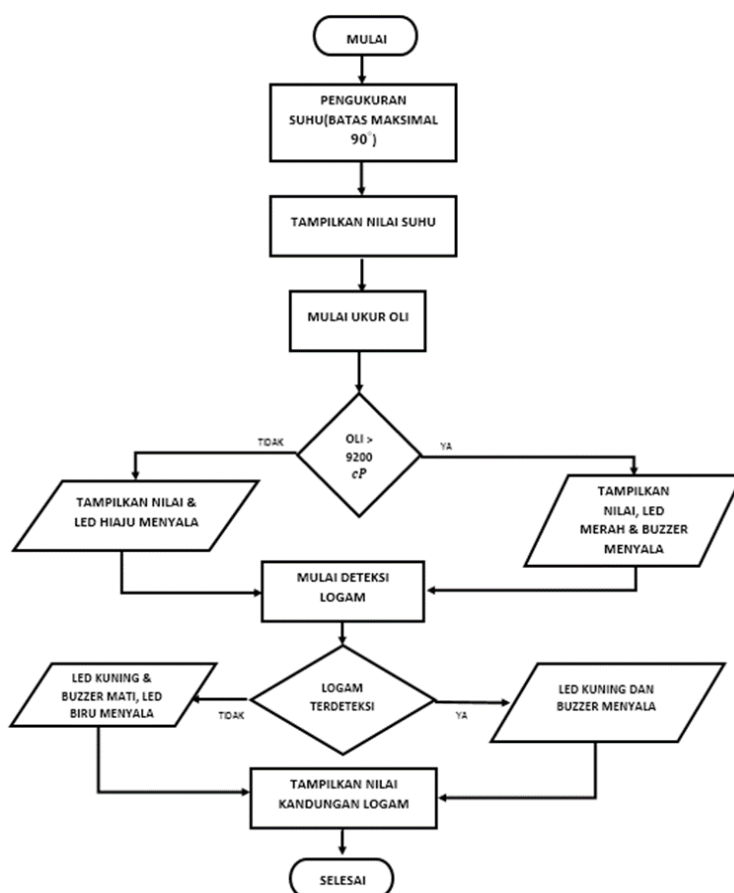
Gambar 1 di atas, dijelaskan mengenai proses kerja alat yang terdiri dari tiga tahapan utama yaitu input, proses, dan output. Penjelasan dari diagram blok tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 9. Diagram Blok

Tahapan	Komponen	Fungsi
Input	Sensor Viskositas	Mengukur nilai viskositas oli untuk menilai kekentalannya.
	Sensor Suhu (DS18B20)	Mendeteksi suhu oli untuk memastikan oli berada pada suhu yang sesuai.
	Sensor Logam	Mengidentifikasi kandungan logam dalam oli yang dapat menunjukkan adanya keausan mesin.
Proses	Mikrokontroler (Arduino Uno)	Mengumpulkan dan mengolah data dari sensor viskositas, sensor suhu, dan sensor logam.
		Menilai kualitas oli berdasarkan data yang diperoleh dari sensor-sensor tersebut.
Output	LCD I2C	Menampilkan informasi tentang nilai viskositas, suhu, dan kandungan logam dalam oli.

Tahapan	Komponen	Fungsi
	Buzzer	Mengeluarkan suara peringatan jika oli mengandung logam atau viskositasnya sudah buruk.
	LED Kuning	Menyala saat terdeteksi kandungan logam dalam oli.
	LED Hijau	Menyala ketika viskositas oli masih dalam batas yang layak.
	LED Merah	Menyala jika viskositas oli menunjukkan oli sudah tidak layak pakai.
	LED Biru	Menyala saat oli tidak mengandung logam dan viskositasnya baik.

2.3. Flowchart Sistem dan Aplikasi



Gambar 2. Flowchart Sistem

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Data Hasil Pengujian

Data hasil pengujian didapatkan melalui 10 kali percobaan, Dibawah ini merupakan data-data dari hasil pengujian yang dilakukan yang dapat dilihat pada table 3 berikut ini:

Tabel 3 Hasil Pengujian

No	Kondisi oli	Suhu (SH)	Viskositas ($\text{mpa} \cdot \text{s}$)										Logam (Fe)	Led	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1	Baru	26 °C	231.5	232.5	231.8	232.4	232.6	232.5	232.5	232.5	232.8	232.5	0 %	Biru	Orange
2	Baru	36 °C	121.5	121.6	121.5	121.5	121.9	121.8	121.7	121.7	121.5	121.5	0 %	Biru	Orange
3	Bekas	26 °C	154.5	156.5	155.5	155.5	155.6	155.8	155.5	155.5	155.5	155.5	0 %	Merah	Orange
4	Bekas	36 °C	95	95.5	91.5	95.5	92.5	95.5	95.5	95.5	95.5	95.5	0 %	Merah	Orange

Berdasarkan data hasil pengujian, dilakukan percobaan viskositas oli dengan empat kondisi berbeda, yakni "Baru" dan "Bekas," dengan SAE 20 W-50 pada suhu 26 °C dan 36 °C. Setiap kondisi oli diuji sebanyak 10 kali, dan hasilnya dicatat dalam $\text{mPa} \cdot \text{s}$ (millipascal-second). Selain itu, persentase kandungan logam besi (Fe) dalam oli juga dicatat.

3.2. Pengujian Sensor Suhu

Tabel 4 Pengujian Sensor Suhu

Percobaan ke	Suhu LM35	Suhu termometer
1	26	26
2	25	26
3	27	26
4	27	26
5	28	26
6	27	26
7	28	26
8	28	26
9	27	26
10	27	26

Tabel 4 merepresentasikan hasil dari sepuluh percobaan dengan mengukur suhu menggunakan dua metode yang berbeda, yaitu menggunakan sensor LM35 dan termometer, dengan menggunakan suhu oli normal dimana nilai yang dihasilkan sensor suhu LM35 nilainya berubah-ubah sedangkan nilai yang dihasilkan thermometer nilainya konstan di 26°C. Setelah melakukan 10 kali percobaan cari besar kesalahan relatif sensor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

Tabel 5 Persentase Error Suhu

Percobaan Ke	Suhu LM35	Suhu termometer	Persentase error
1	26	26	0%
2	25	26	3.85%
3	27	26	3.85%
4	27	26	3.85%
5	28	26	7.69%
6	27	26	3.85%
7	28	26	7.69%
8	28	26	7.69%
9	27	26	3.85%
10	27	26	3.85%
Rata-rata			3.85%

$$Persentase\ Error = \left| \frac{sensor - alat\ ukur}{alat\ ukur} \right| \times 100\% \tag{1}$$

Tabel diatas merepresentasikan hasil dari perhitungan persentase error dari 10 kali percobaan yang sudah dihitung menggunakan persamaan 1. Rata-rata error yang di hasilkan oleh sensor LM35 sebesar 3.85%.

3.3. Pengujian Sensor Viskositas

Tabel 6 Pengukuran Sensor Viskositas

Percobaan Ke	Sensor Viskositas	Viskometer
1	231.5	250
2	232.2	225
3	231.8	225
4	232.4	225
5	232.6	225
6	232.5	225
7	232.5	225
8	232.5	250
9	232.8	250
10	232.5	225

Tabel 6. Percobaan ini melibatkan pengukuran viskositas dengan dua metode berbeda, yaitu menggunakan sensor viskositas dan viskometer. Pada pengukuran dengan suhu oli normal, nilai yang diperoleh dari sensor viskositas menunjukkan variasi, sedangkan nilai yang dihasilkan dari viskometer adalah 255.

3.4. Pengujian Sensor Logam

Tabel 7 Sensor Logam

No	Berat Logam	Sensor Logam
1	10 Gram	0 %
2	30 Gram	0 %
3	40 Gram	0 %
4	50 Gram	0 %
5	60 Gram	0 %
6	70 Gram	0 %
7	80 Gram	0 %
8	90 Gram	0 %
9	100 Gram	0 %
10	200 Gram	1 %

Tabel 7 adalah hasil pengujian sensor logam menunjukkan bahwa oli yang dicampur dengan serbuk logam tidak dapat terdeteksi dengan baik oleh sensor, dengan nilai persentase logam sebesar 0%. Namun, jika menggunakan logam dengan berat seperti yang tercantum dalam tabel, sensor logam dapat mendeteksi dengan baik.

Hasil pengujian sensor soil moisture menunjukkan bahwa sensor bekerja dengan baik dalam mendeteksi kelembaban tanah.

4. Kesimpulan

Prototipe kelayakan oli menggunakan Arduino Uno berhasil dirancang dengan baik. Viskositas oli dipengaruhi oleh suhu. Sensor suhu menunjukkan rata-rata error sebesar 4.79% pada oli baru dengan suhu normal 26°C, dan 2.58% pada suhu 36°C. Untuk oli bekas, rata-rata error sensor adalah 5.46% pada suhu normal dan tetap pada suhu 26°C. Sensor viskositas menunjukkan rata-rata error 3.98% pada oli baru dengan suhu 26°C dan 3.14% pada suhu 34°C. Untuk oli bekas, rata-rata error adalah 8.90% pada suhu 26°C dan 5.2% pada suhu 36°C. Sensor viskositas menunjukkan performa yang baik dalam mengukur oli baru, tetapi terdapat peningkatan error pada oli bekas, terutama pada suhu yang lebih tinggi. Pengujian sensor logam pada oli bekas menunjukkan bahwa oli tidak mengandung logam, menandakan bahwa mobil tidak mengalami keausan.

Ucapan Terima Kasih

Puji syukur penulis sampaikan kepada Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya yang memungkinkan penulis menyelesaikan penelitian ini. Penulis menyadari bahwa pencapaian ini tidak terwujud tanpa bimbingan, dukungan, dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Garut serta semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam proses penelitian ini.

Referensi

- [1] Mada Sanjaya W.S., P. (2014). Panduan praktis membuat robot cerdas menggunakan Arduino & Matlab. 68-69.
- [2] Toyota. (1994). New Step 1 Training Manual. Jakarta: PT Toyota Astra Motor.
- [3] ITB-MG, "Mediana Mahasiswa ITB-MG," 12 2022. [Online]. Available: <https://mediacenter.itbmg.ac.id/mikrokontroler-pengertian-fungsi-dan-jenis-jenisnya>.
- [4] J. C. M. Santos, "Influence of Arduino on the Development of Advanced Microcontrollers Courses," IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje PP(99):1-1, 2017.
- [5] W. I. U. Leni Andayani, "PENGEMBANGAN ALAT UKUR VISKOSITAS AIR SUNGAI TERCEMAR LIMBAH CAIR BERBASIS SENSOR OPTIK TIPE THROUGH BEAM," Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF2019, 2019.
- [6] Wisnu_Adi, "UNIKOM_Wisnu_Adi_Perdana_BAB II," Universitas Komputer Indonesia (UNIKOM), 2019.
- [7] K. A. Gunawan, "RANCANG BANGUN ALAT PENGUKUR SUHU TANAH SEBAGAI ALAT BANTU PENENTU BENIH SAYURAN," UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG, 2015.
- [8] H. E. Farhan Muhtarom, "Alat Pendeteksi Logam Pada Makanan Berbasis Arduino UNO," JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia, 2020.
- [9] M. R. P. Aji, "RANCANG BANGUN SISTEM PERINGATAN PENGGANTIAN OLI PADA SEPEDA MOTOR BERBASIS INTERNET OF THINGS (IoT)," 2020.
- [10] R. B. A. U. K. P. K. B. B. MIKROKONTROLER, "Teguh Febrianto, Sukiswo Supeni Edi, Sunarno," Unnes Physics Journal, 2013.
- [11] Y. Z. K. Nurry Putri Tissos, "PEMBUATAN SISTEM PENGUKURAN VISKOSITAS FLUIDA SECARA DIGITAL MENGGUNAKAN SENSOR EFEK HALL," Jurnal Sainstek Vol. VI No. 1: 71-83 Juni 2014, 2014.
- [12] E. P. ., D. A. Riza Samsinar, "Sistem Pengingat Ganti Oli Berdasarkan Running Hours Mesin, Lama Waktu Pemakaian dan Kekentalan Oli pada Mesin Wire Drawing Berbasis

- Raspberry Pi 1," RESISTOR (Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer) Vol. 2 No. 2.
- [13] A. A. A. E. W. F. T. Dany Pratmanto, "Pembuatan Alat Pendeteksi Kadar Logam Pada Air Berbasis Aduino UNO," Jurnal Evolusi Volume 7 No 1 - 2019, 2013.
- [14] D. S. I. A. Mustajib Furqon Haqiqi, "Sistem Pengecek Kelayakan Pakai Oli Motor Matic Berdasarkan Parameter Warna dan Viskositas Menggunakan Metode Bayes," Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer, 2019.
- [15] R. Prasetyowati, "UJI VISKOSITAS PEMAKAIAN PELUMAS MESIN KENDARAAN BERMOTOR," 2014.
- [16] O. B. K. A. W. A. RAMA RAMANDA, "Sistem Pemantauan Kelayakan Pelumas Oli pada Kendaraan Sepeda Motor dengan Memanfaatkan Teknologi Internet of Things," MIND Journal | ISSN (p): 2528-0015 | ISSN (e): 2528-0902, 2021.
- [17] datasheet-for-inductive-proximity-sensor, "Inductive Proximity Sensor,LJ12A3-4-Z/BX ,NPN,3-wire NO,diameter 12mm,Proximity Switch".
- [18] D. D. H. M. S. Asi Noflanda Arsis, "RANCANG BANGUN ALAT UKUR KEKENTALAN OLI SAE 10-30 MENGGUNAKAN METODE FALLING BALL VISCOMETER (FBV)," JURNAL ILMU FISIKA (JIF), VOL 9 NO 2, SEPTEMBER 2017, 2017.
- [19] B. RAMADHAN, "PENGARUH BERAT KAOLIN TERHADAP KONSENTRASI LOGAM DAN SENYAWA ORGANIK PADA PENGOLAHAN LIMBAH OLI BEKAS," 2017.

Investigasi Forensik Digital dan Respon Insiden di Internet of Things (IoT-DFIR): Kerangka Kerja dan Alat

Digital Forensics Investigation and Incident Response in Internet of Things (IoT-DFIR) : Framework and Tools

Syaiful Ahdan^{1*}, Eki Ahmad Zaki Hamidi²

¹Faculty of Engineering & Computer Science
Universitas Teknokrat Indonesia
Lampung, 35132, Indonesia

^{2,3}Electrical Engineering Department
UIN Sunan Gunung Djati Bandung
Bandung, 40614, Indonesia

syaifulahdan@teknokrat.ac.id^{1*}, ekiahmadzaki@uinsgd.ac.id

Abstrak – Investigasi forensik memerlukan standar dan kerangka kerja yang dapat digunakan untuk investigasi forensik digital pada infrastruktur IoT guna menyediakan pendekatan yang signifikan dalam menyediakan mekanisme respons pascaperistiwa yang efektif terhadap serangan jahat pada infrastruktur IoT. Kendala lain yang dapat diatasi adalah kurangnya alat forensik IoT. Alat ini dapat dibuat dengan cara yang memenuhi persyaratan pengadilan sekaligus memungkinkan penyidik mencapai tujuan mereka. Artikel ini diawali dengan pembahasan menyeluruh tentang paradigma forensik IoT, respons insiden, persyaratan keamanan berdasarkan desain, dan penawaran keamanan sistem IoT untuk IoT-DigFor.

Kata Kunci: IoT Forensics Tools, IoT Forensics Framework, Incident Response IoT, DFIR IoT.

Abstract – Forensic investigations require standards and frameworks that can be used for digital forensic investigations on IoT infrastructure in order to provide a significant approach in providing effective post-event response mechanisms against malicious attacks on IoT infrastructure. Another obstacle that can be addressed is the lack of IoT forensic tools. These can be created in a way that satisfies the court's requirements while still enabling investigators to accomplish their objectives. The article begins with a thorough discussion of the IoT forensics paradigm, incident response, security requirements based on design, and IoT system security offerings for IoT-DigFor.

Keywords: IoT Forensics Tools, IoT Forensics Framework, Incident Response IoT, DFIR IoT.

1. Introduction

IoT technology has now provided benefits to many industries [1]. The Internet of Things (IoT) is a framework that can show how electronic devices and digital environments interact with each other when sensors are used to control devices [2]. Currently, IoT technology has developed widely throughout the world, and by 2025, it is predicted that there will be more than 35 billion connected IoT devices [3]. To further clarify, it sounds simpler if, from now on, I call the word "digital forensics" with the abbreviation DigFor.

DigFor's activities are none other than finding digital evidence in its original form, DigFor collects, assesses, interprets and presents the results as evidence [1]. Apart from dealing with online crimes, DigFor's activities are also related to investigations in the public and private sectors as well as security [2]. Computer networks, databases, and cell phones are just a few instances of electronic parts that are extremely susceptible to hacking. IoT technology is needed to unify



disparate systems and databases into one cohesive process [4], [5]. DigFor investigators need to enhance their investigative skills to benefit increased research efforts in response to increasing crimes related to IoT devices.

Due to the distributed nature and heterogeneity of IoT infrastructure, DigFor techniques have not yet fully adopted IoT-DigFor [4]. DigFor is the process of finding, obtaining, organizing, analyzing, and displaying related data in an effort to provide a comprehensive explanation of an attack [5]. Researchers and forensic professionals have tried to apply some evidence in the IoT environment that can help DigFor to detect forensic cases in the IoT context [6]. Poor security can be a target for various types of attacks, to apply conventional DigFor investigation techniques in an IoT environment seems difficult on heterogeneous IoT devices and lack of standards [7].

IoT-DigFor is a relatively new field and can be considered an offshoot of DigFor. both have the same goal of forensically finding and extracting digital information [8]. The emergence of IoT technology has created a number of challenges for DigFor [9, 10]. To be able to solve crime cases in cyberspace, IoT-DigFor forensics functions as a service that has the ability to examine software protocols, IoT devices and infrastructure [11].

Improving investigative procedures and streamlining the forensic framework is urgently needed along with the large number of problems that require forensic activities [12]. Because IoT-DigFor research is still considered very important, it is necessary to create innovative approaches in solving forensic problems, especially in IoT [13]. Forensic researchers argue [1, 4] that direct forensic investigation of IoT devices is not feasible. DigFor needs to evolve into a more contemporary version, particularly for evidence sources like personal computers, mobile phones, servers, and gateways.

DigFor technology is very important for cybercrime investigation activities because this technology can facilitate overcoming obstacles on a large scale efficiently and effectively [7]. One of the more challenging issues is how to adapt traditional security protocols, such as data transmission confidentiality [1]. The large-scale IoT adoption process can be impacted by a number of barriers and constraints, including (1) authentication; (2) heterogeneity; (3) privacy; and (4) policy. Sensor data and IoT hardware are the best evidence that provides accurate information. Other devices, such as computers, hubs, firewalls, and routers, are also considered as evidence in IoT investigations [2]. The purpose of this article is to educate readers on IoT-DigFor guidelines, IoT event reaction, and DigFor investigations. This paper is part of the previous paper [14] regarding a broad overview of IoT system architectural models and security challenges, in this session we will provide an overview of the IoT forensic investigation framework, Forensic Tools in the IoT environment and security requirements related to IoT incident response.

2. Forensic Investigation Framework

Forensic investigations require standards and frameworks that can be used for digital forensic investigations on IoT, infrastructure in order to provide a significant approach to providing effective post-event response mechanisms against malicious attacks on IoT infrastructure. Research [15] has conducted a literature analysis and comprehensive review of IoT forensics by emphasizing the IoT framework and highlighting various implementation-based strategies so as to improve the accuracy and efficacy of IoT forensics.

In the last few years, A plethora of commercial and free software has been made available for digital forensic investigations. The work of [16] aims to explore how to conduct digital forensic investigations with open-source tools that are cost-effective and suitable for examining and obtaining evidence from the IoT. Apart from the compilation of free software tool compilations, the Three-tiered framework for IoT forensic investigation is also very good to apply, with layers consisting of: (1) Application Server; (2) Network or Communication; and (3)

IoT Device. participation of all three layers of the suggested framework and application of suggested instruments, is strongly advised to carry out a thorough forensics investigation. The proposed Three-Layer Architecture DF Investigation architecture can be seen in Figure 1, which consists of 3 layers.

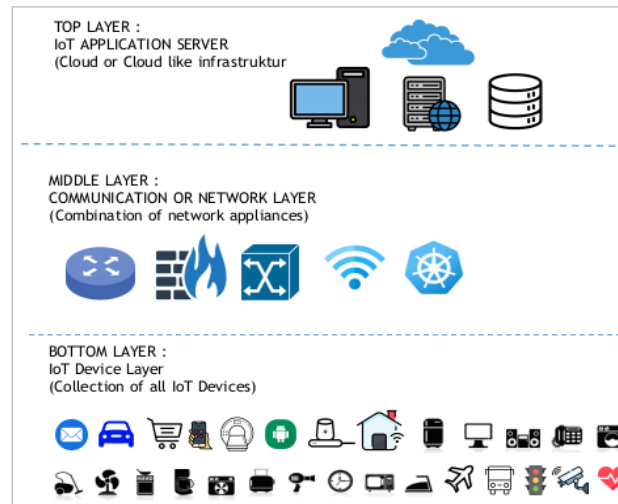


Figure 1. IoT DF Three Layer Investigation Architecture [16]

2.1. Framework CFIBD-IoT

Research [17] has proposed a cloud-centric framework capable of isolating big data as forensic evidence from IoT infrastructure (CFIBD-IoT) for proper analysis and examination. The CFIBD-IoT framework's proponent contends that if it completes its implementation, it will be able to support the development of in the cloud IoT tools and, with some degree of assurance, support upcoming cloud research techniques. Investigators who specialize in digital forensics usually take software systems and computer hardware into account when gathering forensic data.

2.2. Fog-based IoT Framework (FoBI)

The framework that has been proposed by Research [18] has introduced a fog-based IoT forensic framework (FoBI) that can overcome the main challenges related to digital IoT forensics. Research on the proposed FoBI discusses the architecture, usage, and implementation details of FoBI, aiming to provide insight into improving digital forensic processes involving IoT systems.

Through the use of gateways, FoBI uses the fog computing paradigm to help move intelligence to the network's edge. FoBI, which consists of six modules, namely : device monitoring manager, forensic analyzer, evidence recovery, case reporting, communication, and storage, can operate on a fog gateway (or node), as shown in Figure 2. Through communication modules, FoBI maintains constant contact with IoT devices. The communication module is in charge of correctly attaching IoT devices to the framework and establishing the conditions required for data transmission and reception. Logs of every action pertaining to IoT device communication with the framework are kept in local storage (DB).

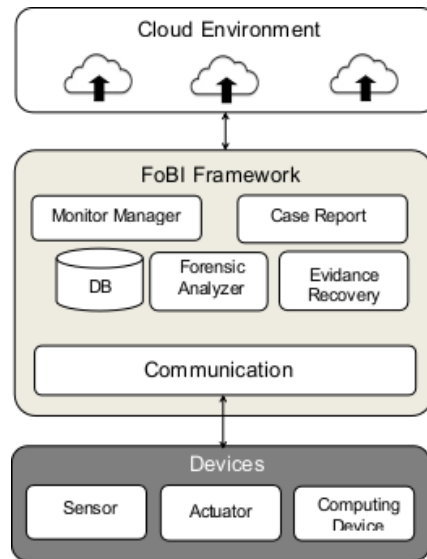


Figure 2. FoBI Framework Architecture [18]

FoBI is suitable for IoT systems that are data-intensive and have a large number of IoT devices in use. When the FoBI investigative model determines unusual behavior by analyzing data, It alerts other IoT devices or nodes to possible dangers. This way, threats do not spread to other IoT devices and limit attackers from affecting other IoT devices.

2.3. Framework FIF-IoT

The increasing deployment of IoT gadgets will make these things more vulnerable to assaults. IoT devices have the potential to be criminal tools as well. Research [19] has proposed a framework called FIF-IoT: A Forensic Investigation Framework for IoT Using a Public Digital Ledger (FIF-IoT), which aims to find facts about criminal incidents in IoT-based systems. Interactions between different IoT entities (cloud, users, and IoT devices) are gathered by FIF-IoT as evidence and are safely stored as transactions on a decentralized, distributed, and public blockchain network that is equivalent to the The digital currency network.

2.4. Framework DIF-IoT System

IoT device forensics are made more difficult by the incorporation of an extensive number of objects and the significance of the devices that are found and gathered. Research [20] has presented a framework for digital forensics of IoT devices to investigate cybercrime in IoT systems. which seeks to support technological investigations and address new issues in digital forensics by undertaking an extensive study of IoT device components.

2.5. Framework DFIF-IoT

The IoT ecosystem is made more complex by a diversity issue and the distributed nature of IoT. Because of this, applying digital forensic (DF) methods to the IoT the environment poses major obstacles for law enforcement agencies (LEAs) and DF investigators. Research [21] has integrated frameworks with acceptable digital forensic techniques that are capable of analyzing potential digital evidence (PDE) from IoT-based ecosystems that can be used to prove a fact. The Integrated Digital Forensic Investigation Framework for the IoT is the name of the proposed forensic investigation framework. Moreover, three distinct modules have been combined to create the IDFIF-IOT Framework: proactive processes; IoT forensics; and reactive (investigation) processes. The DFIF-IoT Framework procedure is depicted in Figure 3.

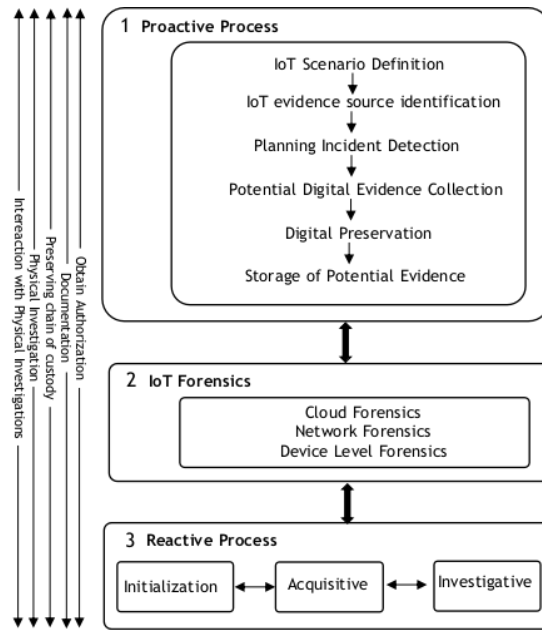


Figure 3. DFIF-IoT Framework [21]

2.6. Framework IDFIF-IoT

The framework proposed in research [22] is a visualization framework that can be used to help detect abnormal system events in the IoT ecosystem. An IoT device's system events can be visualized with the help of this framework. This can be helpful in detecting system errors or manipulation and in digitally forensic analysis. The IDFIF-IoT framework defines an approach with several steps, namely: data acquisition, provenance graph generation, cloud storage, visualization, color coordination, and multiple data views.

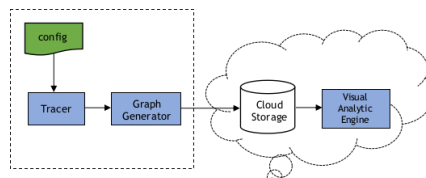


Figure 4. IDFIF-IoT framework system architecture [22]

The proposed IDFIF-IoT architecture can be seen in Figure 4, which consists of several components that enable data acquisition, graph creation, and visualization.

2.7. Framework DFI (Digital Forensic Investigation)

Until now, IoT platforms have not yet fully matured to adapt to existing digital forensic (DF) tools, methods, and procedures [23]. The fundamental cause is the characteristics of cloud, network, and Internet of Things infrastructure (e.g., distributed, diverse, jurisdictional, redundant data, multiple tenants, etc.). research [23], presents a more understandable DFI framework for digital forensics professionals and experts. (1) Readiness processes, (2) IoT forensics, (3) initialization processes, (4) acquisition processes, (5) investigation processes, and (6) concurrent processes are all included in the proposed framework.

2.8. Digital Framework Readiness (DFR)

The complexity, interconnectivity, and heterogeneity of IoT systems can complicate digital forensic investigations. The challenges are compounded by the lack of a holistic and standardized

approach. Therefore, based on the international standard ISO/IEC 27043, research [24] presents a holistic digital forensic readiness (DFR) framework.

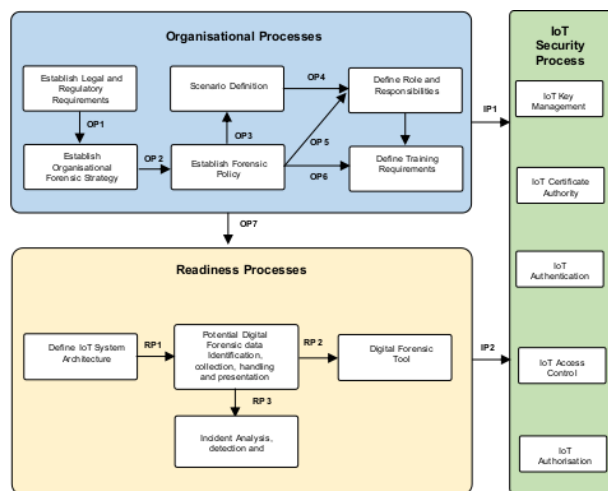


Figure 5. IoT-Forensic readiness framework [24]

Researchers also qualitatively evaluated the usefulness of the proposed DFR framework. DFR consists of three processes, namely: Organizational processes: first, The organizational process handles DFR requirements that have an impact throughout the organization. second, Readiness processes: These procedures are designed to make sure that all pertinent information, including potential DF information, is located, gathered, processed, and kept in a manner that complies with the guidelines provided in the company's procedures. Thirdly, IoT security layer processes are those that make sure that throughout the data flow and life cycle, the security of IoT data and possible DF data is preserved.

2.9. Framework for Medical IoT Forensic (MloT)

The urgent need to treat a wide range of diseases has been met in large part by medical IoT (MloT) devices, monitoring and tracking healthcare resources, and providing timely medical services. IoT has a big impact on our lives, and IoT also has big challenges related to it from a digital forensics point of view. The goal of the project [25] is to use an ontology to classify MloT digital data into circles of forensic evidence. With the help of this strategy, investigators will be able to use the resources they have to collect MloT digital data as evidence in a targeted manner. Evidence that can be used to identify a single person is known as individual evidence. Evidence that can be utilized to exonerate a person in court is known as identifiable evidence. Evidence that can be used to manage an argument or a fact in a case is considered important evidence. Figure 6 shows an illustration of MloT.



Figure 6. 31-Ring Structure for MloT Forensic Evidence [25]

The proposed MIoT framework is still in the development stage, but this framework can be used as a guide or step to identify, collect, and group forensic evidence from MIoT devices to create a prototype tool.

3. Digital Forensic Tools in IoT

In this section, the research results are explained and at the same time a discussion is provided on what tool-related challenges can be overcome by developing forensic tools that are acceptable to courts and achieve investigators' goals [7]. The heterogeneous and scattered nature of data is something that current DigFor techniques find difficult to overcome [26]. To collect and examine data quickly, IoT-DigFor requires a combination of network forensics and computer forensics tools [7]. The lack of formal forensic tools to extract evidence from IoT architectures is another obstacle [27].

In research, [28] has carried out a careful evaluation of ten leading digital forensic tools, emphasizing their potential in the IoT environment to reconstruct the timelines of cyber attacks on IoT edge systems. Because of the critical nature of IoT security, one of the key tasks in digital forensics is to find evidence of potential issues. Researchers in paper [29] have conducted research with the aim of providing digital evidence support for information security problems by collecting and analyzing information using forensic tools such as Belkasoft RamCaptor, Wireshark, and ProDiscover Basic.

3.1. Hybrid Forensic IoT Server (HFloTS)

In the paper [30], it also reviews the various most popularly used digital forensic tools, especially in terms of their limitations in investigating IoT devices. Instead, in order to effectively enhance IoT forensics, we unveiled a brand-new tool called the Hybrid Forensic IoT Server (HFloTS), and researchers have demonstrated that it is adequate for looking into a variety of cases, including human trafficking.

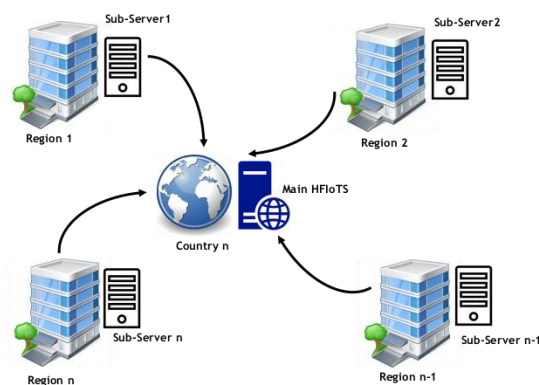


Figure 7. HFloTS structure [30]

HFloTS is intended for dynamic and complex environments, such as IoT, to minimize today's forensic investigation challenges. To outline the importance of improving forensic IoT investigations, Figure 7 HFloTS provides the background, current challenges, and most-used tools for IoT forensic investigations. The researchers then gave an investigative demonstration of HFloTS.

3.2. Wazuh Agent IoT Network Forensic Analysis

Agent Wazuh is a network analysis tool that is multi-platform and runs on the endpoint that the user wants to monitor [31]. Wazuh Agent also provides features to increase system security. Wazuh Agent communicates with Wazuh servers to transmit data almost in real-time through encrypted and authenticated channels. The Internet of Things has grown quickly, raising concerns

about network security and the necessity of efficient forensic analysis. Research [32] focuses on how to perform forensic analysis in IoT networks and collect digital evidence by utilizing the Raspberry Pi 4 model B and open-source tools. The IoT Physical Intrusion System Module, the Attack Module, and the Forensic Module make up the three parts of the suggested system. In the IoT Physical Intrusion System, a number of attack scenarios, including Denial of Service, SSH Brute Force, and Man in the Middle, were effectively launched. The study conducted shows that the use of microcontroller-based devices for forensic analysis of cellular IoT networks is feasible.

3.3. CMD: Co-Analyzed IoT Malware Detection

The increasing prevalence of IoT devices has increased interest in malware detection, making it a popular topic in academia and industry. The multi-stage life cycle of IoT malware cannot be tracked completely from just one perspective. In the work of [33], a proposed CMD, namely a malware detection and IoT forensics system, is analyzed together with a combined hardware perspective and network domain perspective. The proposed CMD on a network perspective uses a capsule neural network with adjustments that are useful for capturing contextual semantics of source traffic. From a hardware standpoint, CMD is made by using serial peripheral interface (SPI) signals from traces on-chip to design the recovery process as a whole for file operations.

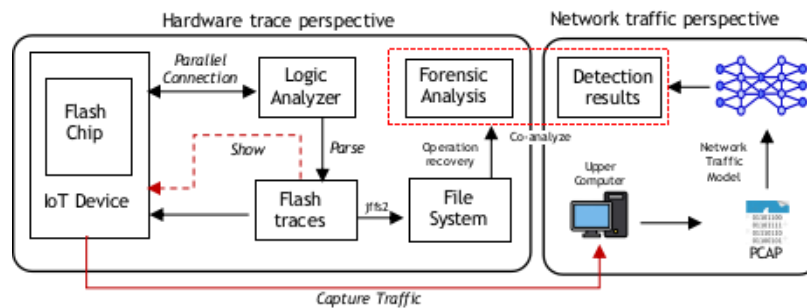


Figure 8. CMD, Hardware and Network Perspective [33]

Tests conducted by researchers as shown in Figure 8 show that CMD can provide excellent detection performance, uses minimal space for recovered logs, and produces very low CPU usage in IoT devices.

3.4. Collecting CSI In Wi-Fi Access Points For Forensic IoT

As the number of connected devices rises and network traffic grows exponentially, IoT has expanded quickly. IoT devices have the ability to observe both the surrounding environment and the local population. IoT forensics is a recently developed field that aims to fill this gap.

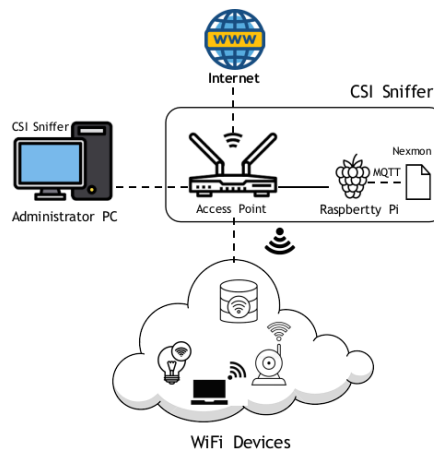


Figure 9. CSI Sniffer architecture sketch [34]

In research [34], we proposed CSI Sniffer, an application that combines Wi-Fi access point management and Channel State Information (CSI) collection. The architecture and implementation of this tool present two application scenarios that illustrate its capabilities. In this scenario, researchers classify user behavior using binary classification techniques, leveraging CSI features extracted from IoT traffic. implemented proposal, Figure 9 shows how the suggested tool, by offering more sources of evidence, can improve forensic investigation capabilities.

3.5. IoT Forensics, Dahua Technology for Mobile Application Investigation

Security devices such as motion sensors and CCTV surveillance systems are used to protect the occupants of modern smart homes. Due to their increasing presence, these devices may experience problems with the IoT security networks they create. All it takes to configure and monitor this complex system is a mobile app.

There isn't much research into forensic analysis of these apps, but this untested evidence may hold the key to solving the investigation's puzzle. What was done in the study [35] was to look closely at Dahua Technology's mobile applications for the Android and iOS operating systems in an effort to find potentially relevant evidence. research contributed to free and open source software. Dahua Technology is a company that produces IoT devices and provides many applications that enable remote operation [36].

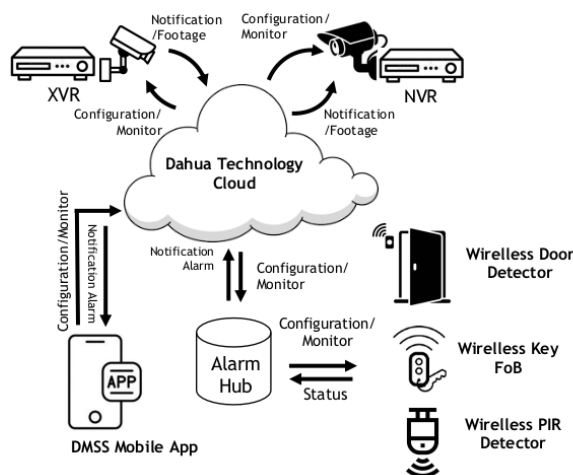


Figure 10. Information exchange between the “DMSS” mobile app and the IoT security system [35]

Applications such as those in Figure 10 have never been forensically examined before, leaving many open questions for further research. Researchers conducted a thorough digital investigation of a mobile application developed by Dahua Technology. To provide additional support, researchers contributed their findings to FOSS (ALEAP, iLEAPP).

4. Incident Response in IoT

All steps taken before conducting a digital investigation are collective incident response activities. Incident response and digital forensic investigations are inextricably linked and always occur together. Incident response lessens the impact on compromised systems by assisting with the quick containment of situations to stop possible additional damage and the recovery from damage. In order for any system or organization to respond promptly to such incidents, proper planning is required, which includes having a Computer Security Incident Response Team (CSIRT) or Computer Emergency Response Team (CERT) responsible for the implementation of the plan [37].



Figure 11. Incident response in IoT

The process of evaluating, acquiring, reviewing, and reporting digital evidence in a way that complies with the law is known as digital forensics. According to [2], traditional incident response relies on six steps, as depicted in Figure 11. then combining digital forensics and incident response steps as traditional DFIR in practice, namely: (1) preparation; (2) identification, collection, and assessment of evidence; (3) containment, eradication, and recovery; (4) acquisition of evidence; (5) examination and analysis of evidence; (6) documentation and reporting; and (7) lessons learned.

Traditionally, digital forensics begins after a cybersecurity incident occurs. The first action is to assess whether the evidence contains digital evidence related to an incident. After assessment of the evidence, the evidence is reviewed, and a report is prepared on all steps and procedures observed. IoT devices are not fully adapted to incident response techniques due to the fact that current incident response tools and procedures cannot meet the heterogeneity and distributed nature of IoT infrastructure. The problem is that collecting, examining, and analyzing any potential incident traces from the IoT environment poses a challenge for incident response [38].

5. Conclusion

The authors of this paper conclude that the challenge we face as more and more devices adopt IoT technology is the need for a framework that can provide adaptive solutions to problems in IoT digital forensics. Several IoT forensic modeling approaches should be adopted to build adaptive frameworks and tools that can be taken into consideration when conducting forensic operations in IoT environments.

Reference

- [1] Janarthanan, T., Bagheri, M., Zargari, S. (2021). IoT-DigFor: An Overview of the Current Issues and Challenges. In: Montasari, R., Jahankhani, H., Hill, R., Parkinson, S. (eds) Digital Forensic Investigation of Internet of Things (IoT) Devices. Advanced Sciences and Technologies for Security Applications. Springer, Cham.
- [2] C. Itodo, S. Varlioglu and N. Elsayed, "Digital Forensics and Incident Response (DFIR) Challenges in IoT Platforms," 2021 4th International Conference on Information and Computer Technologies (ICICT), 2021, pp. 199-203.
- [3] G. Grispos, F. Tursi, K. -K. R. Choo, W. Mahoney and W. B. Glisson, "A Digital Forensics Investigation of a Smart Scale IoT Ecosystem," 2021 IEEE 20th International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications (TrustCom), 2021, pp. 710-717.
- [4] A. Al-Dhaqm et al., "Digital Forensics Subdomains: The State of the Art and Future Directions," in IEEE Access, vol. 9, pp. 152476-152502, 2021.

- [5] S. Amiroon and C. Fachkha, "Digital Forensics and Investigations of the Internet of Things: A Short Survey," 2020 3rd International Conference on Signal Processing and Information Security (ICSPIS), 2020, pp. 1-4.
- [6] J. Hou, Y. Li, J. Yu and W. Shi, "A Survey on Digital Forensics in Internet of Things," in IEEE Internet of Things Journal, vol. 7, no. 1, pp. 1-15, Jan. 2020.
- [7] H.F. Atlam, E. El-Din Hemdan, A. Alenezi, M.O. Alassafi, G.B. Wills, Internet of Things forensics: a review, Internet Things 11 (2020) 100220.
- [8] M. Stoyanova, Y. Nikoloudakis, S. Panagiotakis, E. Pallis and E. K. Markakis, "A Survey on the Internet of Things (IoT) Forensics: Challenges, Approaches, and Open Issues," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 22, no. 2, pp. 1191-1221, Secondquarter 2020.
- [9] Atlam, H.F., Alenezi, A., Alassafi, M.O., Alshdadi, A.A., Wills, G.B. (2020). Security, Cybercrime and Digital Forensics for IoT. In: Peng, S.L., Pal, S., Huang, L. (eds) Principles of Internet of Things (IoT) Ecosystem: Insight Paradigm. Intelligent Systems Reference Library, vol 174. Springer, Cham.
- [10] Alenezi, A.; Atlam, H.; Alsagri, R.; Alassafi, M. and Wills, G. (2019). IoT-DigFor: A State-of-the-Art Review, Challenges and Future Directions. In Proceedings of the 4th International Conference on Complexity, Future Information Systems and Risk - COMPLEXIS, ISBN 978-989-758-366-7; ISSN 2184-5034, pages 106-115.
- [11] N. Koroniotis, N. Moustafa and E. Sitnikova, "Forensics and Deep Learning Mechanisms for Botnets in Internet of Things: A Survey of Challenges and Solutions," in IEEE Access, vol. 7, pp. 61764-61785, 2019.
- [12] T. Bakhshi, "Forensic of Things: Revisiting Digital Forensic Investigations in Internet of Things," 2019 4th International Conference on Emerging Trends in Engineering, Sciences and Technology (ICEEST), 2019, pp. 1-8.
- [13] J. Kruger and H. Venter, "Requirements for IoT-DigFor," 2019 Conference on Next Generation Computing Applications (NextComp), 2019, pp. 1-7.
- [14] S. Ahdan et al., "Digital Forensics Investigation and Incident Response in Internet of Things (IoT-DFIR): Challenges and Models," 2023 9th International Conference on Wireless and Telematics (ICWT), Solo, Indonesia, 2023, pp. 1-6.
- [15] F. Abdel-Fattah, S. Fayyad, A. M. Heyari and H. Al-Zoubi, "A Survey of Internet of Things (IoT) Forensics Frameworks and Challenges," 2023 International Conference on Information Technology (ICIT), Amman, Jordan, 2023, pp. 373-377.
- [16] M. B. Al-Sadi, L. Chen and R. J. Haddad, "Internet of Things Digital Forensic Investigation Using Open Source Gears," SoutheastCon 2018, 2018, pp. 1-5.
- [17] V. R. Kebande, N. M. Karie and H. S. Venter, "Cloud-Centric Framework for isolating Big data as forensic evidence from IoT infrastructures," 2017 1st International Conference on Next Generation Computing Applications (NextComp), 2017, pp. 54-60.
- [18] E. Al-Masri, Y. Bai and J. Li, "A Fog-Based Digital Forensics Investigation Framework for IoT Systems," 2018 IEEE International Conference on Smart Cloud (SmartCloud), 2018, pp. 196-201.
- [19] M. Hossain, Y. Karim and R. Hasan, "FIF-IoT: A Forensic Investigation Framework for IoT Using a Public Digital Ledger," 2018 IEEE International Congress on Internet of Things (ICIOT), 2018, pp. 33-40.
- [20] S. Sathwara, N. Dutta and E. Pricop, "IoT Forensic A digital investigation framework for IoT systems," 2018 10th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), 2018, pp. 1-4.
- [21] V. R. Kebande et al., "Towards an Integrated Digital Forensic Investigation Framework for an IoT-Based Ecosystem," 2018 IEEE International Conference on Smart Internet of Things (SmartIoT), 2018, pp. 93-98.

- [22] E. Nwafor and H. Olufowobi, "Towards an Interactive Visualization Framework for IoT Device Data Flow," 2019 IEEE International Conference on Big Data (Big Data), 2019, pp. 4175-4178.
- [23] M. J. Islam, M. Mahin, A. Khatun, B. C. Debnath and S. Kabir, "Digital Forensic Investigation Framework for Internet of Things (IoT): A Comprehensive Approach," 2019 1st International Conference on Advances in Science, Engineering and Robotics Technology (ICASERT), 2019, pp. 1-6.
- [24] Kebande, V. R., Mudau, P. P., Ikuesan, R. A., Venter, H. S., & Choo, K.-K. R. (2020). Holistic digital forensic readiness framework for IoT-enabled organizations. *Forensic Science International: Reports*, 2, 100117.
- [25] J. Liu, R. Sasaki and T. Uehara, "An Ontology-Based Framework for Medical IoT Forensic Evidence," 2023 IEEE 23rd International Conference on Software Quality, Reliability, and Security Companion (QRS-C), Chiang Mai, Thailand, 2023, pp. 863-864.
- [26] E. Oriwoh, D. Jazani, G. Epiphaniou and P. Sant, "Internet of Things Forensics: Challenges and approaches," 9th IEEE International Conference on Collaborative Computing: Networking, Applications and Worksharing, 2013, pp. 608-615.
- [27] M. Rasmi Al-Mousa, "Generic Proactive IoT Cybercrime Evidence Analysis Model for Digital Forensics," 2021 International Conference on Information Technology (ICIT), 2021, pp. 654-659.
- [28] E. Becker, M. Gupta and F. M. Awaysheh, "Analyzing Edge IoT Digital Forensics Tools: Cyber Attacks Reconstruction and Anti-Forensics Enhancements," 2023 IEEE Intl Conf on Dependable, Autonomic and Secure Computing, Intl Conf on Pervasive Intelligence and Computing, Intl Conf on Cloud and Big Data Computing, Intl Conf on Cyber Science and Technology Congress (DASC/PiCom/CBDCom/CyberSciTech), Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2023, pp. 0991-0998.
- [29] A. Aslam, S. M. Maher, L. Kanwal and M. A. Shah, "An Aspect of Internet of Things Security: Analysis of Digital Fingerprinting of Generic Twitter Sessions by Using Forensic Tool," 2019 25th International Conference on Automation and Computing (ICAC), Lancaster, UK, 2019, pp. 1-5.
- [30] N. Scheidt, M. Adda, L. Chateau and Y. E. Kutlu, "Forensic Tools for IoT Device Investigations in regards to Human Trafficking," 2021 IEEE International Conference on Smart Internet of Things (SmartIoT), 2021, pp. 1-7.
- [31] Wazuh Agent. [online] Available:<https://documentation.wazuh.com/current/installation-guide/wazuh-agent/index.html>
- [32] J. Makopa, A. Christopher, R. Shah and N. Mandela, "Internet of Things (IoT) Network Forensic Analysis Using the Raspberry Pi 4 Model B and Open-Source Tools," 2023 International Conference on Quantum Technologies, Communications, Computing, Hardware and Embedded Systems Security (iQ-CCHES), KOTTAYAM, India, 2023, pp. 1-7.
- [33] Z. Zhao et al., "CMD: Co-Analyzed IoT Malware Detection and Forensics via Network and Hardware Domains," in *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 23, no. 5, pp. 5589-5603, May 2024.
- [34] F. Palmese and A. E. C. Redondi, "Collecting Channel State Information in Wi-Fi Access Points for IoT Forensics," 2023 21st Mediterranean Communication and Computer Networking Conference (MedComNet), Island of Ponza, Italy, 2023, pp. 176-183.
- [35] E. Dragonas, C. Lambrinoudakis and M. Kotsis, "IoT Forensics: Investigating the Mobile App of Dahua Technology," 2023 IEEE International Conference on Cyber Security and Resilience (CSR), Venice, Italy, 2023, pp. 452-457.
- [36] Dahua Technology. [online] Available:<https://us.dahuasecurity.com/intelligent-safety-and-security-solutions/office-block-security-solution/>
- [37] Kirmani, M.S., & Banday, M.T. (2019). Digital Forensics in the Context of the Internet of Things. *Cryptographic Security Solutions for the Internet of Things*.

- [38] C. Riggs, J. Patel and K. Gagneja, "IoT Device Discovery for Incidence Response," 2019 Fifth Conference on Mobile and Secure Services (MobiSecServ), 2019, pp. 1-8,