



Volume 8, tahun 2023

ISSN (p): 2985-4903

ISSN (e): 2986-2477

PROSIDING

SEMINAR NASIONAL

TEKNIK ELEKTRO (SENTER VIII) 2023

UIN SUNAN GUNUNG DJATI BANDUNG

*“Named Data Networking (NDN), Pendekatan Baru untuk
Desain Arsitektur Internet Masa Depan”*



Co-Host



Supported By:



Forum Pendidikan Tinggi Teknik Elektro Indonesia

ID: 01

**Stasiun Pemantau Cuaca Berbasis Internet of Things
(Studi Kasus Kabupaten Bandung)**

*Internet Of Things Based Weather Monitoring Station
(Bandung Regency Case Study)*

Tunggul Arief Nugroho^{1*}, Sinung Suakanto², Yoyok Gamaliel³

^{1,3}Institut Teknologi Harapan Bangsa

Jl. Dipatiukur 80-84 Bandung, Indonesia

²Universitas Telkom

Jl. Telekomunikasi Terusan Buah Batu Indonesia 40257, Bandung, Indonesia

tunggul@ithb.ac.id.^{1*}, sinung@telkomuniversity.ac.id², yoyok@ithb.ac.id³

Abstrak - Perubahan iklim terjadi dengan cepat ditandai dengan kenaikan suhu ekstrim di beberapa tempat di dunia. Selain itu pertumbuhan penduduk yang naik secara signifikan dalam 10 tahun terakhir. Perubahan iklim dan lonjakan jumlah penduduk menjadikan ketahanan pangan mengalami tekanan. Pertanian Presisi merupakan salah satu solusi untuk mengatasi perubahan iklim. Cuaca dan iklim juga berpengaruh terhadap prediksi waktu tanam, sehingga alat untuk memantau cuaca dalam rentang waktu yang lama sangat bermanfaat untuk prediksi waktu tanam. Solusi yang diusulkan adalah pengembangan stasiun cuaca berbasis Internet of Things. Sebuah stasiun cuaca akan memonitor perubahan iklim mikro di suatu daerah dan mengirimkannya secara periodik setiap 10 detik ke server. Hasil dari parameter cuaca ini akan dianalisa lebih lanjut yang hasilnya bisa digunakan untuk melakukan penjadwalan pertanian secara presisi dalam situasi perubahan iklim. Terdapat beberapa parameter lahan dan cuaca yang perlu dipantau untuk membantu petani dalam intensifikasi lahan Sistem Pemantau Cuaca berbasis IoT adalah sistem yang dirancang untuk memantau cuaca secara otomatis. Parameter cuaca seperti : Temperature, Humidity, Barometric Pressure, Altitude dibaca dengan sensor BME-280 dan, UV Light IntensityIndex menggunakan sensor VEML-6070 dan BH1750. Sedangkan kecepatan, arah angin dan curah hujan digunakan dengan sensor khusus untuk keperluan tersebut. Parameter cuaca dikirimkan secara periodik setiap 10 detik ke server. Perangkat diuji coba di BMKG untuk dilakukan kalibrasi dengan perangkat existing.

Kata Kunci: stasiun pemantau cuaca, internet of things, AWS, pemantau cuaca

Abstract – Climate change is happening rapidly marked by extreme temperature increases in several places in the world. In addition, population growth has increased significantly in the last 10 years. Climate change and a surge in population have put pressure on food security. Precision Agriculture is one solution to address climate change. A weather station will monitor changes in the microclimate in an area and send it periodically every 10 seconds to Google Drive. The results of these weather parameters will be further analyzed, the results of which can be used to make precise agricultural scheduling in climate change situations. There are several land and weather parameters that need to be monitored to assist farmers in land intensification. Weather and climate also affect the prediction of planting time, so a tool to monitor the weather over a long period of time is very useful for predicting planting time. IoT-based Weather Monitoring System is a system designed to monitor the weather automatically. Weather parameters such as: Temperature, Humidity, Barometric Pressure, Altitude are read with the BME-280 sensor and, UV Light IntensityIndex using the VEML-6070 and BH1750 sensors. Meanwhile Speed, Wind Direction and Rainfall are used with special sensors for this purpose. Weather parameters are sent periodically every 10 seconds to server. The equipment was tested at BMKG to be calibrated with existing equipment.

Keywords: weather station, internet of things, AWS, weather monitor

1. Pendahuluan

Perubahan Iklim dan pertumbuhan penduduk akan berdampak pada kebutuhan pangan yang melonjak. Indonesia merupakan negara agraris dan kepulauan yang diapit oleh samudra Hindia dan Samudra Pasifik. Mata pecarian yang terbesar adalah sebagai petani dan nelayan. Dari data Bappenas, jumlah penduduk Indonesia diproyeksikan bertambah menjadi 271,1 juta jiwa pada 2020 dan meningkat lagi menjadi 305,6 juta jiwa pada 2035.

Menurut *World Economic Forum* dalam laporannya di *The Global Risks Report 2022 17th Edition*, maka perubahan iklim merupakan risiko yang akan dihadapi dunia dalam 10 tahun ke depan [1]. Suhu udara di atas muka bumi juga cenderung mengalami kenaikan [2]. Karena isu iklim dan cuaca beserta data-datanya akan menjadi penting dan sangat berpengaruh dalam beberapa hal termasuk dalam pengambilan keputusan.

Untuk meningkatkan hasil pertanian, terdapat dua cara, yaitu ekstensifikasi dan intensifikasi. Ekstensifikasi pertanian saat ini menghadapi kendala akibat perebutan lahan antara keperluan industri dan perumahan. Intensifikasi pertanian juga dilakukan dengan bantuan teknologi informasi. Dalam hal ini pengetahuan akan pantauan cuaca/ iklim sangat berpengaruh terhadap hasil pertanian.

Sehingga perlu dilakukan langkah nyata dengan pendekatan teknologi dalam memaksimalkan hasil pertanian dalam menghadapi perubahan iklim. Iklim dan cuaca bisa di analisa dengan menggunakan satelit cuaca dan Stasiun Pemantau Cuaca atau AWS (*Automatic Weather Station*).

Informasi mengenai perubahan cuaca sangat penting untuk membantu petani dalam mengelola lahan pertanian secara modern [3]. Sistem pemantau cuaca remote merupakan perangkat yang didukung oleh teknologi sensor dan elektronika komunikasi. *Automatic Weather Station* yang diterapkan dalam pemantau cuaca remote memanfaatkan sistem informasi dan teknologi sebagai suatu sistem pengelolaan pertanian. Teknologi informasi dalam pemantau cuaca remote ini adalah dengan memanfaatkan sensor yang tersebar di seluruh lahan pertanian yang akan digarap dan data-data cuaca terkumpul di sebuah server [4].

Setelah data terkumpul di server maka dengan algoritma khusus data-data tersebut bisa diolah dan disebarkan ke pengguna dalam hal ini petani. Sehingga lahan pertanian bisa menghasilkan bahan pangan secara optimal.

Dalam penelitian ini pengumpulan data/server dilakukan dengan memanfaatkan Cloud yang dimiliki oleh Google salah satunya dengan memanfaatkan Google Sheets yang terdapat di Google Drive. Salah satu pendekatan ini dilakukan ini karena Google drive tersedia dengan kapasitas besar dan harga yang murah (dari mulai gratis hingga yang mode berbayar dengan harga terjangkau).

2. Metode Penelitian

Untuk mengembangkan penelitian ini maka dilakukan dalam beberapa tahap seperti yang digambarkan pada gambar sebagai berikut.



Gambar 1. Metode Penelitian

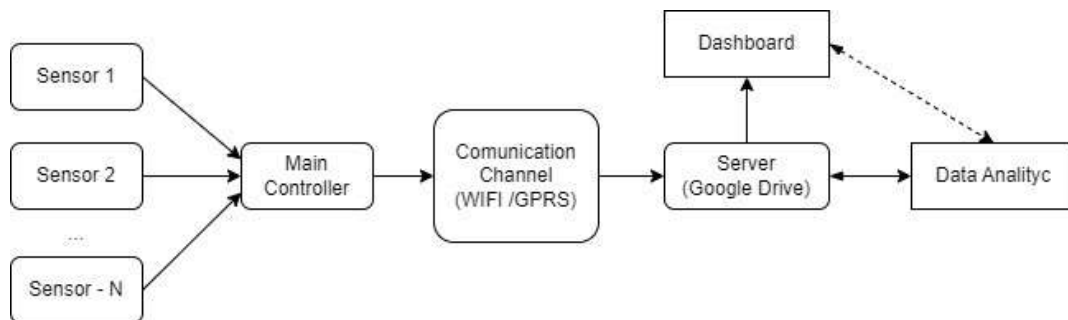
2.1. Identifikasi Kebutuhan

Pada tahap ini dilakukan dengan melakukan identifikasi kebutuhan. Untuk membangun sistem AWS terdapat perlu diperhatikan beberapa hal sebagai berikut:

- Mampu membaca sensor cuaca
- Mampu terhubung ke internet untuk mengirimkan data ke server
- Mudah dipasang
- Kokoh dan tahan terhadap perubahan cuaca
- Menggunakan sumber energy dari matahari atau angin
- Hemat daya

2.2. Analisa

Dari hasil identifikasi kebutuhan dan beberapa survey dari lapangan maka dapat dilakukan analisa dan mengembangkan sistem. Sistem yang akan dibangun dapat dilihat seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. Model Sistem AWS Berbasis IoT

Bagan Stasiun Pemantau Cuaca berbasis IoT yang diperlukan harus mampu melakukan pengukuran parameter cuaca sebagai berikut:

1. Sensor Monitoring
 - a. *Temperature*
 - b. *Humidity*

- c. *Barometric Pressure*
- d. *Wind Speed*
- e. *Wind Direction*
- f. *Rain Fall*

2. Main Controller

Digunakan untuk mengontrol seluruh sistem, yaitu mengambil data dari sensor dan mengirimkannya ke Communication Module untuk diteruskan ke Server

3. Komunikasi

Pengiriman data ke server dengan Jaringan seluler 4G

4. Server dan Database

Digunakan untuk menampung data yang tersimpan dengan aman dan nantinya akan diolah oleh ahli dalam bidang cuaca. Untuk server akan digunakan Google Drive dan Google Sheet sebagai salah satu tools yang mudah digunakan.

5. *Common Equipment*

Untuk beroperasi di remote area maka diperlukan catuan yang energy nya di panen dari lingkungan sekitar. Pemannen energy bisa bersumber dari Matahari dengan solar panel maupun kombinasi dengan sumber angin.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada bagian ini akan dijelaskan tentang hasil dari implementasi yang telah dilakukan.

3.1. Sensor yang digunakan

Sensor yang digunakan untuk mengukur parameter cuaca adalah sebagai berikut:

1. Temperature and Relative Humidity sensor

Sensor Temperature dan Relative Humidity menggunakan component dari Measurement Facilities dengan type HTU-21. Sensor ini mempunyai ketelitian cukup bagus , yaitu ± 0.30 C untuk Temperature dan $\pm 2\%$ untuk Relative Humidity. Selanjutnya sensor ini dipilih karena hanya memerlukan konsumsi daya yang rendah sekitar $500\mu A$.

2. *Barometric Pressure*

Type Sensor Pressure yang dipilih adalah BMP-280 keluaran BOSCH. Sensor ini mempunyai ketelitian $\sim \pm 1$ hPa. Selain itu sensor ini mempunyai teknik kompensasi Temperature supaya pengukuran Pressure lebih akurat.

Temperature Coefficient Compensation Equation Using the following temperature coefficient compensation equation will guarantee Relative Humidity accuracy given p.3, from $0^{\circ}C$ to $80^{\circ}C$:

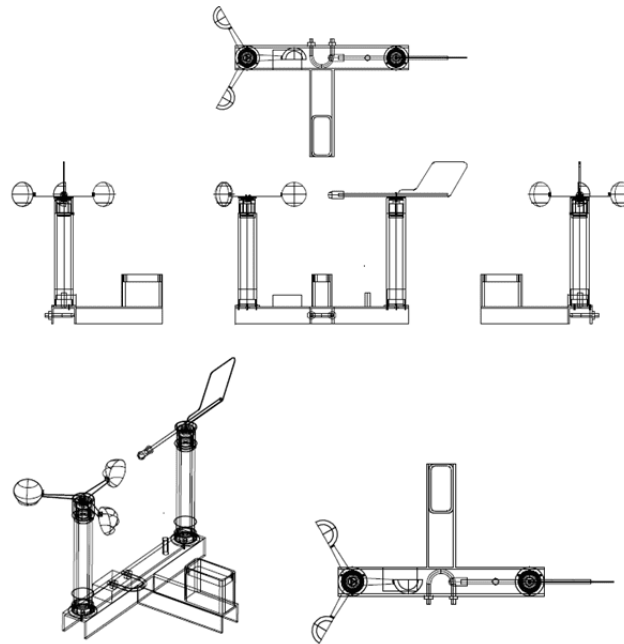
$$RH_{\text{compensated T}} = RH_{\text{actual T}} + (25 - T_{\text{actual}}) \times \text{CoeffTemp}$$

$RH_{\text{actual T}}$ Ambient humidity in %RH, computed from HTU21D(F) sensor
 T_{actual} Humidity cell temperature in $^{\circ}C$, computed from HTU21D(F) sensor
 CoeffTemp Temperature coefficient of the HTU21D(F) in %RH/ $^{\circ}C$

- 3. *Wind Speed*
- 4. *Wind Direction*
- 5. *Rain Fall*

3.2. Hasil Desain

Hasil Desain terkait dengan mekanik dari sistem AWS dapat dilihat seperti pada gambar di bawah ini.



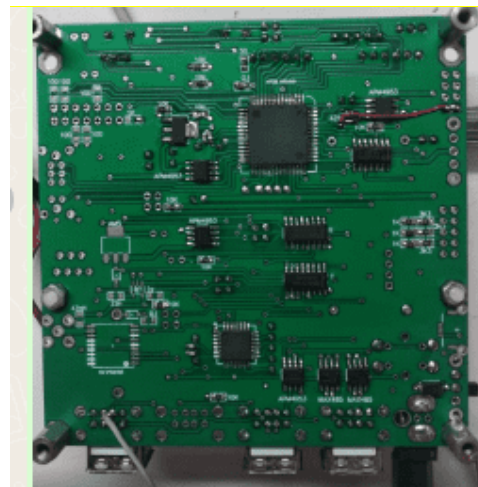
Gambar 3. Hasil Desain Mekanik

3.3. Hasil Implementasi

Bentuk tampilan dari perangkat yang dihasilkan dapat dilihat seperti pada gambar di bawah ini.

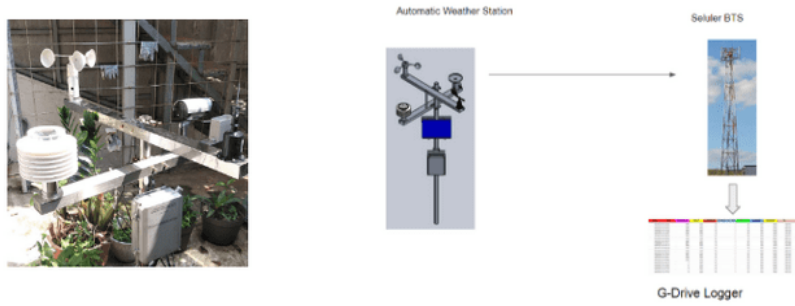


(a) Tampak Atas



(b) Tampak Bawah

Gambar 4. Hasil Implementasi Hardware Main Controller



Gambar 5. Hasil Implementasi Sistem AWS

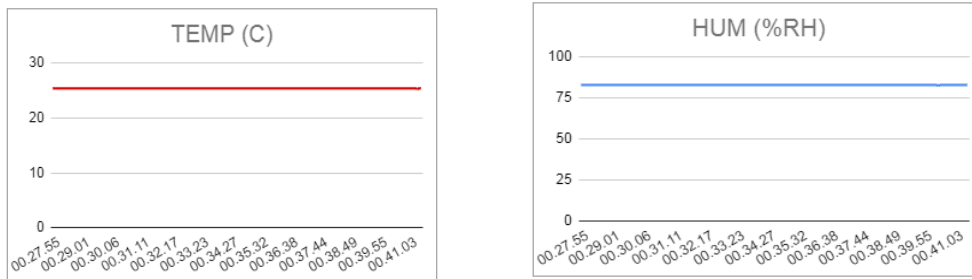
3.4. Hasil Pengukuran

Berikut salah satu sample data yang diambil pada Tanggal 11 April 2022 Pukul 17:41:32. Data-data yang dikirimkan akan disimpan ke dalam google drive dan google spreadsheet. Rata-rata waktu pengiriman yang dilakukan dari perangkat ke dalam server adalah 5-10 detik

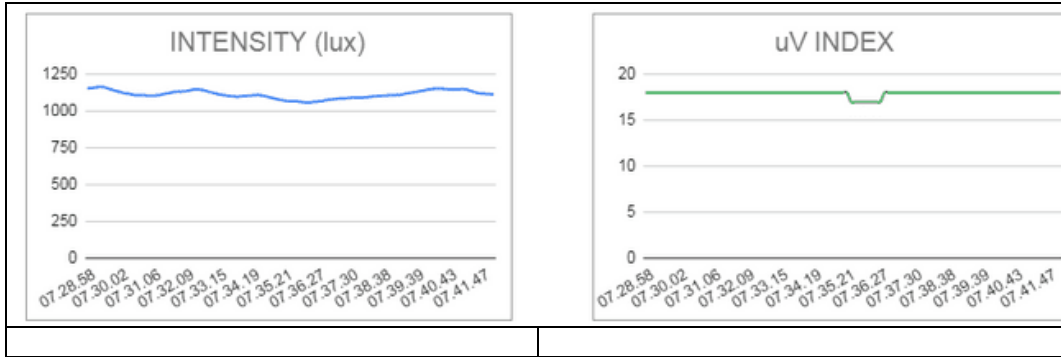
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
Time	SEQ	LAT	LONG	PULSE	WINDM	WSPD	WDX	WDIR	R PULSE	RVOL	RAINP	TEMP	HUM	P (hPa)	ALT	LUK	UVIDX	ISC									
4120322 00 00 14	558	-6.907216	107.62891	0	0	0	0	0	0	0	0	25.39	82.79	933.46	606.59	20	0	-0.8									
4120322 00 00 24	559	-6.907219	107.62891	0	0	0	0	0	0	0	0	25.39	82.81	933.48	606.39	20	0	-0.6									
4120322 00 00 32	560	-6.907219	107.62891	0	0	0	0	0	0	0	0	25.39	82.84	933.48	606.36	20	0	-0.6									
4120322 00 00 39	561	-6.907223	107.62889	0	0	0	0	0	0	0	0	25.39	82.86	933.49	606.3	20	0	-0.6									
4120322 00 00 47	562	-6.907225	107.62889	0	0	0	0	0	0	0	0	25.39	82.87	933.46	606.54	20	0	-0.7									
4120322 00 00 54	563	-6.907227	107.62889	0	0	0	0	0	0	0	0	25.39	82.86	933.49	606.32	20	0	-0.7									
4120322 00 01 04	564	-6.907233	107.62889	0	0	0	0	0	0	0	0	25.39	82.85	933.47	606.43	20	0	-0.6									
4120322 00 01 11	565	-6.907233	107.62889	0	0	0	0	0	0	0	0	25.38	82.82	933.49	606.31	20	0	-0.8									
4120322 00 01 21	566	-6.907229	107.62889	0	0	0	0	0	0	0	0	25.39	82.81	933.49	606.31	20	0	-0.6									
4120322 00 01 29	567	-6.907233	107.62888	0	0	0	0	0	0	0	0	25.38	82.81	933.47	606.49	20	0	-0.6									
4120322 00 01 37	568	-6.907232	107.62889	0	0	0	0	0	0	0	0	25.38	82.81	933.48	606.38	20	0	-0.8									
4120322 00 01 45	569	-6.907232	107.62889	0	0	0	0	0	0	0	0	25.39	82.81	933.5	606.19	20	0	-0.8									
4120322 00 01 54	570	-6.907229	107.62889	0	0	0	0	0	0	0	0	25.39	82.8	933.45	606.61	20	0	-0.7									
4120322 00 02 01	571	-6.907227	107.62889	0	0	0	0	0	0	0	0	25.38	82.8	933.45	606.68	20	0	-0.8									
4120322 00 02 10	572	-6.907222	107.62889	0	0	0	0	0	0	0	0	25.38	82.82	933.47	606.5	20	0	-0.8									
4120322 00 02 17	573	-6.907223	107.62889	0	0	0	0	0	0	0	0	25.38	82.85	933.47	606.45	20	0	-0.7									
4120322 00 02 25	574	-6.907225	107.62888	0	0	0	0	0	0	0	0	25.38	82.86	933.5	606.23	20	0	-0.5									
4120322 00 02 33	575	-6.907227	107.62888	0	0	0	0	0	0	0	0	25.38	82.88	933.49	606.27	20	0	-0.6									
4120322 00 02 41	576	-6.907223	107.62888	0	0	0	0	0	0	0	0	25.39	82.88	933.47	606.42	20	0	-0.6									
4120322 00 02 50	577	-6.907227	107.62888	0	0	0	0	0	0	0	0	25.39	82.88	933.48	606.4	20	0	-0.5									
4120322 00 02 58	578	-6.907225	107.62884	0	0	0	0	0	0	0	0	25.38	82.88	933.48	606.34	20	0	-0.8									
4120322 00 03 06	579	-6.907218	107.62884	0	0	0	0	0	0	0	0	25.37	82.88	933.46	606.57	20	0	-0.6									
4120322 00 03 14	580	-6.907215	107.62884	0	0	0	0	0	0	0	0	25.38	82.88	933.48	606.41	20	0	-0.7									
4120322 00 03 22	581	-6.907216	107.62884	0	0	0	0	0	0	0	0	25.38	82.88	933.47	606.42	20	0	-0.7									
4120322 00 03 29	582	-6.907216	107.62883	0	0	0	0	0	0	0	0	25.38	82.89	933.48	606.42	20	0	-0.6									
4120322 00 03 39	583	-6.907219	107.62883	0	0	0	0	0	0	0	0	25.38	82.89	933.48	606.35	20	0	-0.6									

Gambar 6. Contoh Hasil Pengukuran Data

Jika hasil tersebut diplot ke dalam grafik maka dapat ditampilkan salah satu bentuknya seperti pada gambar berikut ini.



Gambar 7. Contoh Bentuk Ploting untuk Temperatur dan Kelembabn



Gambar 8. Contoh Bentuk Ploting untuk Intensitas dan UV

4. Kesimpulan

Penelitian ini telah menghasilkan sebuah sistem yang dapat mengukur parameter-parameter cuaca seperti suhu, kecepatan angin, arah angin dan intensitas cahaya. Sistem juga telah mampu mengirimkan hasil dari pengukuran tersebut ke dalam sebuah server. Waktu yang dibutuhkan untuk mengiirrnkan data menggunakan Jaringan 4G adalah 5-10 detik

Beberapa hal yang perlu dikembangkan lebih lanjut adalah hal-hal lain seperti bagaimana alat ini dapat dikemas sehingga lebih kokoh dan lebih kuat. Selain itu dalam praktek untuk AWS yang digunakan dalam pertanian, maka sensor-sensor yang digunakan dapat digabungkan atau ditambahkan dari sensor-sensor yang lain yang khusus untuk pertanian.

Referensi

- [1] The Global Risks Report 2022 17th Edition
- [2] Wendy H. Wood¹ , Shawn J. Marshall¹ , Terri L. Whitehead¹ and Shannon E. Fargey², "Daily temperature records from a mesonet in the foothills of the Canadian Rocky Mountains", 2005-2010, Earth Syst. Sci. Data Discuss., <https://doi.org/10.5194/essd-2017-107> Open AccessEarth System Science Data Discussions Manuscript under review for journal Earth Syst. Sci. Data Discussion started: 21 September 2017
- [3] Winarso, Bambang,"Dinamika Pola Penguasaan Lahan Sawah di Wilayah Pedesaan di Indonesia", Jurnal Penelitian Pertanian Terapan Vol. 12 (3): 137-149 ISSN 1410-5020
- [4] Wireless Sensor Network and Monitoring of Crop Field Joshi P P1, Dr.Kanade S S2, Dr.Joshi S P3 IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE) e-ISSN: 2278-2834,p- ISSN: 2278-8735.Volume 12, Issue 1, Ver. II (Jan.-Feb. 2017), PP 23-28

ID: 03

Desain Stasiun Cuaca Otomatis Portabel Sebagai Peralatan Rekonfirmasi Saat Operasi Modifikasi Cuaca

Design of Portable Automatic Weather Station as A Reconfirmation Tool on Weather Modification Operation

Sugiarto^{1*}, Maulana Putra², Ahmad Furqon³, Fajar Giri Suseno⁴

^{1,2,3,4}Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, Jl. Angkasa I No.2 Kemayoran
Jakarta Pusat, DKI Jakarta 10610, (021)196
sugiarto@bmg.go.id^{1*}, maulana.putra@bmg.go.id², ahmad.furqon@bmg.go.id³,
fajar.suseno@bmg.go.id⁴

Abstrak – Teknologi modifikasi cuaca sering digunakan untuk meningkatkan intensitas curah hujan di suatu tempat (*rain enhancement*), atau dapat juga digunakan untuk kondisi sebaliknya (*rain recognition*). Contohnya, pemerintah Indonesia yang terus meningkatkan penggunaan teknologi modifikasi cuaca saat KTT G20 di Bali pada November 2022. Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) menggunakan teknologi tersebut untuk mencegah terjadinya cuaca ekstrem pada hari KTT tersebut pada saat pertemuan para pemimpin negara. Salah satu kendala dalam operasi modifikasi cuaca adalah kurangnya sistem observasi portabel yang mudah dipasang dan konfirmasi parameter meteorologi seperti hujan, visual, dan sambaran petir. Pada penelitian ini dirancang stasiun cuaca otomatis portabel yang mudah dipasang dan dilengkapi dengan sensor tambahan seperti sambaran petir untuk memastikan potensi awan hujan dan kamera untuk memandu proses penyemaian awan pada operasi modifikasi cuaca.

Kata Kunci: stasiun cuaca otomatis, modifikasi cuaca, sambaran petir, kamera

Abstract – Weather modification technology is often used to increase the intensity of rainfall somewhere (*rain enhancement*), or it can also be used for the opposite conditions (*rain reduction*). For example, the Indonesian government continues to increase the use of weather modification technology during the G20 Summit in Bali in November 2022. The Meteorology, Climatology, and Geophysics Agency (BMKG) uses this technology to prevent extreme weather from occurring on the day of the meeting of the country's leaders. One of the obstacles in weather modification operations is the lack of a portable observation system that is easy to install and the confirmation of meteorological parameters such as rain, visuals, and lightning strikes. In this study, a portable automatic weather station was designed that is easy to install and equipped with additional sensors such as lightning strikes to confirm the potential for rain clouds and a camera to guide the cloud seeding process during weather modification operations.

Keywords: automatic weather station, weather modification, lightning strike, camera

1. Pendahuluan

Teknologi Modifikasi Cuaca (TMC) merupakan suatu bentuk upaya manusia untuk memodifikasi cuaca dengan tujuan tertentu agar mendapatkan kondisi cuaca yang diinginkan. Tujuan dari modifikasi cuaca pada umumnya adalah untuk meningkatkan intensitas curah hujan di suatu tempat (*rain enhancement*) atau dapat juga digunakan untuk keadaan sebaliknya (*rain reduction*). Dalam konteks pemanasan global yang mengakibatkan perubahan iklim, TMC merupakan solusi yang dapat diandalkan dalam mengurangi kerugian yang dapat ditimbulkan oleh bencana yang disebabkan oleh faktor iklim dan cuaca.



Teknologi Modifikasi Cuaca telah banyak digunakan di Indonesia sejak tahun 1983 yang bertujuan untuk mengatasi kekurangan air di berbagai daerah. Penerapan modifikasi cuaca banyak dilakukan untuk pengisian bendungan atau waduk sebagai pembangkit listrik tenaga air, sumber irigasi, dan air tawar. Selain untuk mengatasi kekurangan air, modifikasi cuaca juga dilakukan untuk memadamkan kebakaran hutan yang biasa terjadi di Pulau Sumatera dan menghilangkan kabut asap pada musim kemarau [1].

Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika merupakan lembaga pemerintah yang mempunyai tugas di bidang pelayanan cuaca di Indonesia. Dalam mendukung pelaksanaan kegiatan yang memerlukan kondisi khusus, Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) mengoperasikan teknologi modifikasi cuaca (TMC). Penerapan teknologi modifikasi cuaca biasanya dilakukan bekerja sama dengan Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), TNI AU, Kementerian Perhubungan, dan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR).

Selama pelaksanaan TMC, kondisi cuaca diamati secara cermat dari berbagai sumber data antara lain pengamatan suhu permukaan di Pos Meteorologi (Posmet) yang juga berfungsi sebagai pos pengamatan pertumbuhan awan, pengamatan citra satelit di daerah sasaran, pengamatan dengan mobile radar, pengamatan sinoptik yang meliputi gradien angin dan suhu permukaan laut, serta pengamatan kondisi udara bagian atas (profil suhu) dengan data radiosonde [2].

Penerapan teknologi modifikasi cuaca memerlukan peralatan tersebut sebagai pendukung data untuk menjamin efektivitas operasional. Salah satu permasalahan operasi modifikasi cuaca adalah terbatasnya jumlah radar cuaca, radiosonde, dan alat pengukur hujan. Peralatan tersebut juga dipasang pada suatu titik tetap, sehingga pada saat akan dilakukan operasi modifikasi cuaca pada suatu titik tertentu, tidak terdapat peralatan pendukung yang dapat digunakan untuk observasi pada lokasi tersebut. Pada penelitian ini akan dirancang stasiun cuaca otomatis portabel yang dilengkapi dengan kamera sebagai konfirmasi ulang visual dan sensor petir untuk mendukung penerapan operasional teknologi modifikasi cuaca.

2. Teori dan Metode

Penelitian ini dilakukan dengan perancangan perangkat keras dan analisis kinerja selama operasi modifikasi cuaca. Proses perancangan perangkat keras memperhatikan pemilihan sensor, *data logger*, dan catu daya. Analisis kinerja data dilakukan dengan membandingkan data AWS dan radar cuaca.

2.1. Teknologi Modifikasi Cuaca

Teknologi Modifikasi Cuaca untuk meningkatkan curah hujan merupakan teknologi yang sudah banyak digunakan di seluruh dunia, salah satunya adalah dengan penyemaian awan. Bahan semai yang digunakan merupakan bahan higroskopis yang dimasukkan ke dalam awan kumululus dengan tujuan untuk memicu tumbukan dan penggabungan sehingga mempercepat terjadinya hujan sekaligus meningkatkan curah hujan. Penyemaian dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan menggunakan pesawat terbang, atau dengan menggunakan menara yang dipasang di tempat yang banyak awan [3]. Proses penyemaian awan berhubungan dengan data radar cuaca dan juga informasi petir. Pemanfaatan radar sebagai alat pemantauan jenis dan keberadaan awan dalam kegiatan penyemaian awan sangatlah penting. Data radar dan alat pengukur hujan akan diintegrasikan untuk mendapatkan kombinasi data mengenai potensi penyemaian dan hasil penyemaian awan [4].

Terdapat hipotesis yang menyatakan bahwa cloud seeding ada kaitannya dengan terjadinya petir yang dihasilkan dari beberapa gugus awan kumulonimbus yang diunggulkan [5][6]. Inilah yang disebut dengan fenomena elektrifikasi petir di atmosfer. Pada proses elektrifikasi, amonia yang dihasilkan dari reaksi bahan penyemaian ini akan bereaksi dengan H₂O yang selanjutnya

akan membentuk amonium (NH₄). Jadi peningkatan konsentrasi NH₄ menandakan banyak terjadi petir, artinya menandakan banyak awan kumulonimbus. Peningkatan populasi awan kumulonimbus pada periode peningkatan hujan diduga ada kaitannya dengan modifikasi cuaca [7].

Selain data radar cuaca, hujan, dan petir, salah satu aspek terpenting dalam operasi modifikasi cuaca adalah visibilitas visual. Pesawat terbang digunakan untuk menaburkan NaCl yang digunakan untuk penyemaian awan. Rute penerbangan yang tepat akan menentukan keberhasilan penyemaian awan yang dituju. Data visual dari lokasi dilakukannya kegiatan modifikasi cuaca akan sangat mendukung proses penentuan titik tabur material penyemaian awan dari pesawat.

2.2. Stasiun Cuaca Portabel

Automatic Weather Station (AWS) merupakan stasiun cuaca yang dirancang secara otomatis untuk mengukur dan mencatat parameter meteorologi secara otomatis. AWS terdiri dari beberapa komponen yaitu sensor, *data logger*, sistem komunikasi, sistem catu daya, display, dan peralatan pendukung lainnya. AWS pada umumnya bersifat permanen dan memerlukan lahan yang luas sehingga tidak dapat dipindahkan ke tempat lain. Untuk kebutuhan tertentu, AWS dirakit secara ringkas, ekonomis, dan praktis, serta dapat dirakit dengan cepat. AWS dalam bentuk praktis dan modular disebut AWS portabel.

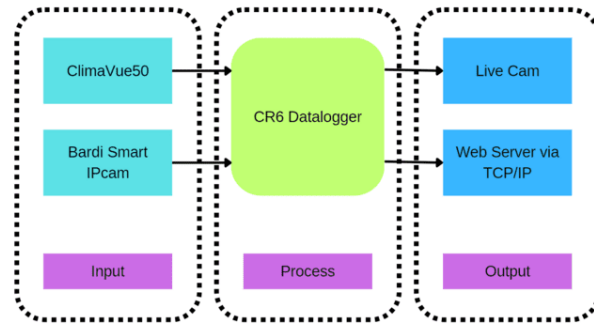
3. Desain Portable Weather Station

Pada penelitian ini dirancang 2 set AWS portabel sesuai dengan lokasi KTT G20 di Bali, Indonesia. Sistem yang diterapkan pada penelitian ini mengacu pada kebutuhan teknis meteorologi.

Tabel 1. Spesifikasi sistem.

No	Variable	Range	Resolution
1	Temperature	-50 – +60°C	0.1°C
2	Relative Humidity	0 – 100%	0.1%
5	Air Pressure	500 – 1100 mb	0.1 mb
6	Wind Speed	0 – 30 m/s	0.01 ms ⁻¹
7	Wind Direction	0 – 359°	1°
9	Solar Radiation	0-1750 w/m ²	1 w/m ²
10	Lightning	0 to 65,535 strikes	1 strike
11	Precipitation	0 to 400 mm/h	0.017 mm
12	Visual	130° Visible Angle	Lens 3.0 mm

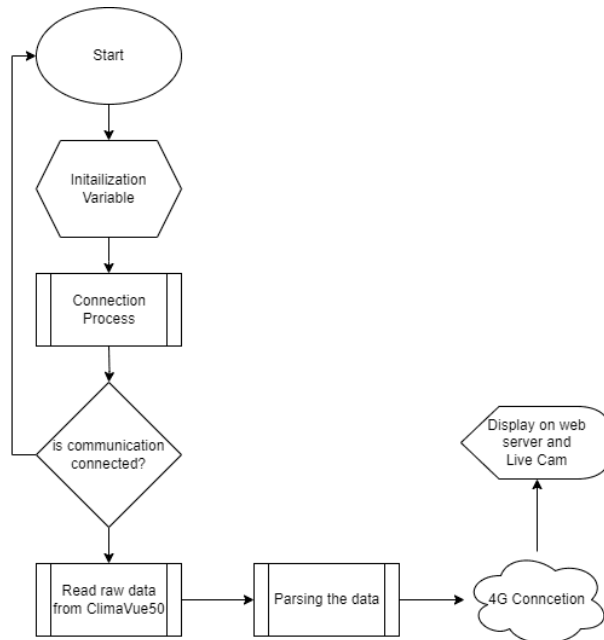
Perangkat keras terdiri dari input atau masukan, proses, dan keluaran. Di sisi input terdapat sensor meteorologi dan catu daya. Prosesnya akan berjalan di *data logger*. Berikut ini adalah diagram blok perancangan perangkat keras.



Gambar 1. Blok diagram sistem

Gambar 1 menunjukkan diagram blok sistem. Inputnya terdiri dari sensor kompak ClimaVue50, dan sistem Bardi Static IP Camera Outdoor. ClimaVue50 adalah sensor meteorologi lengkap yang menggunakan SDI-12 untuk melaporkan suhu udara, kelembapan relatif, tekanan barometrik, angin, radiasi matahari, curah hujan, dan sambaran petir (waktu dan jarak). Sensor tidak memiliki bagian yang bergerak dan hanya mengkonsumsi sedikit daya. Pengolahan datanya menggunakan *data logger* CR6. Data keluaran meteorologi akan dikirim ke *server web* AWS Rekayasa berbasis TCP/IP, sedangkan kamera tampak ditampilkan menggunakan fitur kamera langsung di *browser*.

Alur kerja pada perancangan sistem dimulai dari konfigurasi sensor. Sensor terhubung ke *data logger* melalui antarmuka SDI-12. Kemudian data yang dibaca dari sensor akan diteruskan untuk diurai dan disimpan di *data logger*. *Data logger* nantinya akan mengirimkan data ke *web server* dan *live cam* menggunakan modem 4G. Gambar 2 dibawah merupakan *flowchart* perancangan sistem.



Gambar 2. Alur kerja sistem

4. Hasil

Pada bagian ini akan dibahas implementasi hasil desain dan uji operasional sistem pada KTT G20 di Bali. Pengujian dilakukan secara serentak terhadap data-data pendukung operasi modifikasi cuaca pada acara KTT G20.

4.1. Instalasi

Setelah sistem dirancang, dua unit *Automatic Weather Station* portable dirakit dan dipasang pada tripod yang berlokasi di Taman Budaya Garuda Wisnu Kencana dan Hotel Apurva Kempinski.



Gambar 3. Sistem yang telah terpasang

Gambar 3 menunjukkan sistem yang telah terpasang di Taman Budaya Garuda Wisnu Kencana sebagai salah satu lokasi yang akan dijadikan lokasi penyelenggaraan rangkaian acara KTT G20, dimana pastinya terdapat awan yang berpotensi turun hujan. diunggulkan sebelum tiba di lokasi tersebut. Sensor ClimaVue50 dan Bardi static IP *Camera Outdoor* dipasang di bagian atas dudukan tripod.

4.2. Uji Fungsi *Web server Dashboard*

Metode yang digunakan dalam pengujian *dashboard web server* adalah dengan melihat apakah desain *website* dapat menampilkan data pengukuran yang telah diupload ke *database*. Pengujian *web server* menggunakan aplikasi *browser* yang diinstal pada PC. Pada tampilan awal *web server*, pengguna akan diarahkan ke halaman *login* untuk dapat mengakses konten yang ada di *web server*. Berikut tampilan *login dashboard web server*. Gambar berikut merupakan tampilan *home* dari *dashboard*.



Gambar 4. Tampilan *web server dashboard*

4.3. Tampilan *Realtime*

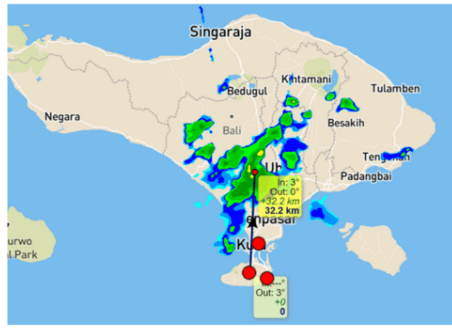
Hasil tampilan visual yang diperoleh dari Bardi Static IP *Camera Outdoor* menunjukkan bahwa sistem kamera dapat bekerja pada kondisi siang dan malam hari yang memungkinkan untuk memantau pergerakan awan di tempat dilakukannya operasi modifikasi cuaca. Gambar 5 dibawah menunjukkan tampilan kamera pada kondisi siang dan malam.



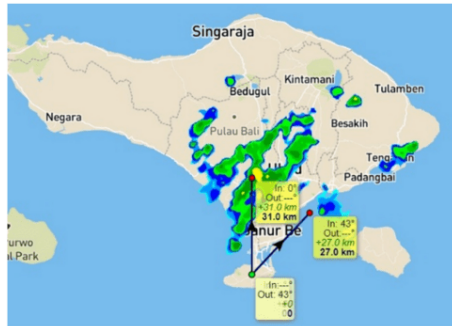
Gambar 5. Gambar visual awan secara *realtime*

4.4. Data Petir

Data petir yang dihasilkan dari AWS portabel dibandingkan dengan data gambar CMAX dari radar cuaca. Citra CMAX digunakan untuk melihat reflektivitas maksimum suatu awan presipitasi yang mempunyai peluang terjadinya petir. Gambar 6 di bawah menunjukkan contoh citra radar CMAX pada tanggal 14 November 2023 dengan rentang waktu 05:09 UTC hingga 05:15 UTC.



a) CMAX 14/11/2023 05:15 AM



b) CMAX 14/11/2023 05:09-05:10 AM

Gambar 6. Citra radar cuaca dan titik sambaran petir

Gambar 6 menunjukkan adanya potensi awan dengan reflektifitas tinggi yang terdeteksi radar pada pukul 05:09 UTC hingga 05:15 UTC. Dengan menggambar garis lurus, maka pada pukul 05:09 UTC terdapat potensi sambaran petir pada jarak 31 km, pada pukul 05:10 UTC pada jarak 27 km, dan pada pukul 05:15 UTC pada jarak 32 km.

Tabel 2. Event sambaran petir yang terekam data logger CR6

No	Date	Range	Strike Count
1	11/14/2022, 5:09:00 AM	31 km	1
2	11/14/2022 5:10:00 AM	27 km	1
2	11/14/2022 5:15:00 AM	20 km	1

Tabel 2 yaitu data mentah yang diperoleh dari datalogger CR6 menunjukkan data yang identik dengan data radar cuaca, dimana pada pukul 05:09 UTC terjadi peristiwa sambaran petir pada jarak 31 km dan pada pukul 05:10 UTC pada jarak 27 km. Namun pada pukul 05:15 WIB, hantaman terekam pada jarak 20 km, sedangkan radar cuaca mengindikasikan potensi presipitasi awan pada jarak 32 km.

5. Kesimpulan

Stasiun cuaca otomatis portabel untuk konfirmasi ulang operasi modifikasi cuaca telah berhasil dirancang. Sistem dapat mengirimkan data meteorologi yang diperlukan untuk operasi modifikasi cuaca seperti nilai curah hujan, arah dan kecepatan angin, suhu udara, kelembaban udara, tekanan

udara, dan sambaran petir ke web server. Data visual juga dapat beroperasi dengan baik pada siang dan malam hari sebagai data pendukung penyemaian awan dari pesawat. Hasil pengolahan sampel data sambaran petir menunjukkan nilai yang identik antara reflektivitas radar cuaca dengan sambaran petir yang terekam di sistem. Dengan dirancangnya sistem ini diharapkan dapat meningkatkan efektivitas operasi modifikasi cuaca.

Referensi

- [1] S. Bahri, H. Aditya, F. H. Widodo, and T. H. Seto, "Weather Modification Activities in Indonesia".
- [2] D. Syaifullah, "Potensi Atmosfer Dalam Pembentukan Awan Konvektif Pada Pelaksanaan Teknologi Modifikasi Cuaca di DAS Kotopanjang dan DAS Singkarak 2010," *J. Sains Teknol. Modif. Cuaca*, vol. 12, no. 1, pp. 9–16, Jun. 2011, doi: 10.29122/JSTMC.V12I1.2185.
- [3] F. Renggono, "Analisis Kemunculan Awan Hujan Berdasarkan Jenisnya untuk Mendukung Kegiatan Modifikasi Cuaca," *J. Sains dan Teknol. Modif. Cuaca*, vol. 16, no. 2, pp. 83–89, 2015.
- [4] R. List, "Weather modification—A scenario for the future," *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, vol. 85, no. 1, pp. 51–64, 2004.
- [5] L. J. Battan, "Cloud seeding and cloud-to-ground lightning," *J. Appl. Meteorol.*, pp. 102–104, 1967.
- [6] R. G. Baughman, D. M. Fuquay, and P. W. Mielke Jr, "Statistical analyses of a randomized lightning modification experiment," *J. Appl. Meteorol. Climatol.*, vol. 15, no. 7, pp. 790–794, 1976.
- [7] M. Husni and S. Nuryanto, "Kajian kualitas air hujan buatan dan kaitannya dengan peningkatan curah hujan," *J. Sains Teknol. Modif. Cuaca*, vol. 1, no. 2, pp. 179–186, 2000.

ID: 07

Sistem Kendali Kursi Pintar Menggunakan Arduino Dengan Konstanta Keterlambatan Gerak Robot

Arduino-Based Smart Chair Control System With Robot Movement Delay Constant

Muhammad Alfado^{1*}, Annisa Firasanti², Putra Wisnu Agung Sucipto³

^{1,2,3} Universitas Islam 45 Bekasi

alfadoilham@gmail.com^{1*}, annisa_firasanti@unismabekasi.ac.id², wisnu@unismabekasi.ac.id³

Abstrak – Kursi pintar merupakan perangkat robotika yang digunakan untuk membantu orang yang mempunyai masalah berjalan, khususnya bagi orang yang mengalami cedera, orang terluka dan lansia. Pengendalian kursi pintar dilakukan secara nirkabel menggunakan smartphone berbasis android menggunakan fitur bluetooth yang ada didalamnya. Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah mengendalikan kendali robot kursi dalam mencari solusi mempercepat gerak robot menuju jarak 1 meter sejak detik ke 0 sampai dengan robot di posisi 1 meter. Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai perilaku konstanta keterlambatan gerak robot berdasarkan rata – rata delay pada saat sebelum dan sesudah diterapkan terhadap nilai PWM kecepatan pelan yang diberikan kepada robot kursi. Hasil uji sistem diperoleh rise time 0.981 detik dan settling time lebih baik dimana 1.09 detik sudah mencapai steady state dibanding sebelum diterapkan perilaku konstanta keterlambatan gerak robot diperoleh rise time 3.0015 detik dan settling time 3.335 detik untuk mencapai steady state, selisih waktu rata- rata bergerak lebih cepat 2.245 detik dengan presentase 67.316%.

Kata Kunci: Kursi Pintar, Bluetooth Electronics, PWM, Bluetooth.

Abstract – Smart chairs are robotic devices that are used to help people who have walking problems, especially people who have injuries, injured people and the elderly. Smart chair control is carried out wirelessly using an Android-based smartphone using the built-in Bluetooth feature. The goal to be achieved in this research is to control the control of the chair robot in finding a solution to accelerate the robot's movement to a distance of 1 meter from the 0th second until the robot is in the 1 meter position. The test was carried out by comparing the behavior value of the robot's movement delay constant based on the average delay before and after it was applied to the slow speed PWM value given to the chair robot. The system test results obtained a rise time of 0.981 seconds and a better settling time where 1.09 seconds had reached steady state compared to before the robot movement delay constant behavior was applied, the rise time was 3.0015 seconds and settling time was 3.335 seconds to reach steady state, the difference in average moving time was greater. fast 2,245 seconds with a percentage of 67,316%.

Keywords: Smart Chair, Bluetooth Electronics, PWM, Bluetooth.

1. Pendahuluan

Pertambahan usia pada diri manusia sudah pasti terjadi. Hal ini juga berpengaruh terhadap kerentanan tulang dan kinerja tubuh manusia seiring berjalannya waktu[1]. Gejala kerentanan tulang yang terjadi mengakibatkan adanya masalah di usia lanjut seperti kualitas hidup lansia menurun dengan gejala tidak dapat berjalan. Contoh dampak lain yang terjadi saat kinerja tubuh lansia semakin meunurun pada saat bertambahnya usia adalah *syndrome geriatri*. *Syndrome geriatri* merupakan gejala dari masalah kesehatan yang sering terjadi pada orang lanjut usia akibat



proses penuaan yang berakibat pada kualitas hidup menurun yang ditandai dengan gangguan keseimbangan dan terjatuh yang mengakibatkan cedera atau terluka[2].

Perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan saat ini mengalami pertumbuhan yang sangat pesat dari waktu ke waktu. Salah satu dari perkembangan teknologi tersebut adalah *robotika*. Pengertian robot secara umum merupakan gabungan dari kinerja mekanik, elektronik, dan pemrograman sesuai kebutuhan. Robot memiliki perilaku dan keahlian yang bermacam-macam. Kemampuan tersebut tidak terlepas dari konsep gerak motor pada robot dan *algoritma* yang ditanam didalamnya[3][4].

Penulis mencoba membuat suatu alat pengendalian yang dapat menggerakkan robot beroda berupa kursi pintar yang dapat dikendalikan dengan menggunakan *smarthphone* berbasis android. Kursi pintar merupakan perangkat robotika yang digunakan untuk membantu orang yang mempunyai masalah berjalan, khususnya bagi orang yang mengalami cedera, orang terluka dan manula[5][6].

Pengendalian kursi pintar dilakukan secara nirkabel menggunakan *smartphone* berbasis android menggunakan fitur *bluetooth* yang ada didalamnya. *Smartphone* android digunakan sebagai *remote control* untuk mengoperasikan kendali kursi pintar[4][7][8][9][10]. Digunakan aplikasi *Bluetooth Electronics* sebagai *remote* pengoperasian sistem ini[11]. Pengguna dapat mengendalikan kursi pintar sesuai perintah seperti bergerak maju, mundur, berhenti, bergerak ke kiri, dan bergerak ke kanan[12][13]. Perangkat pengendali dari keseluruhan sistem adalah mikrokontroler berupa *Arduino Mega 2560*. Modul *bluetooth*, Motor DC dihubungkan ke mikrokontroler. Data yang diterima modul *bluetooth* dari *smarthphone* android akan dikirimkan sebagai input ke kontroler yang akan menggerakkan motor dc.

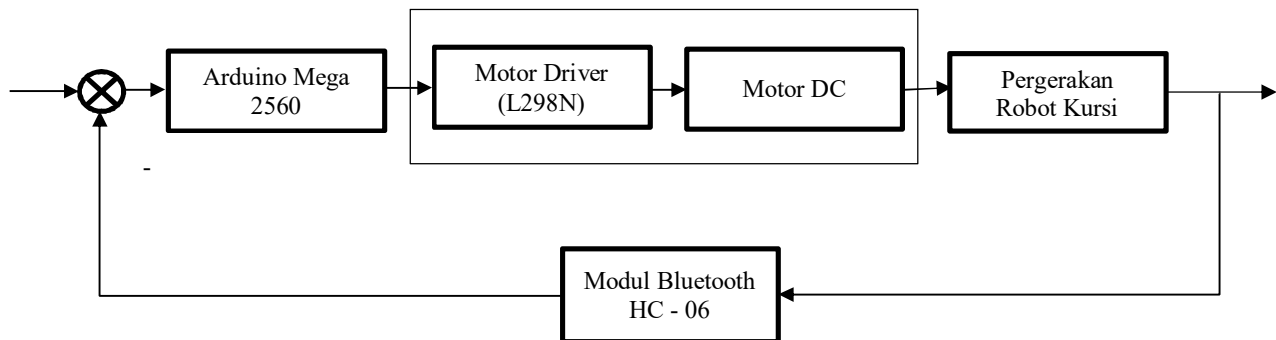
Bluetooth Electronics adalah aplikasi untuk *smarthphone* berbasis android yang dirancang sederhana dengan opsi atur tombol dengan desain dan fungsi yang diperlukan. Setelah koneksi dibuat maka aplikasi akan menampilkan status terhubung yang akan menjalankan aplikasi dan kemudian menggerakkan motor dc sesuai perintah yang dijalankan oleh pengguna[13].

Dalam penelitian sistem kendali kursi pintar dengan menggunakan media *bluetooth* sebagai penghubung sistem, akan dibandingkan hasil pengamatan jarak perilaku konstan keterlambatan gerak robot untuk mengetahui solusi mempercepat gerak robot menuju jarak 1 meter.

2. Metode Penelitian

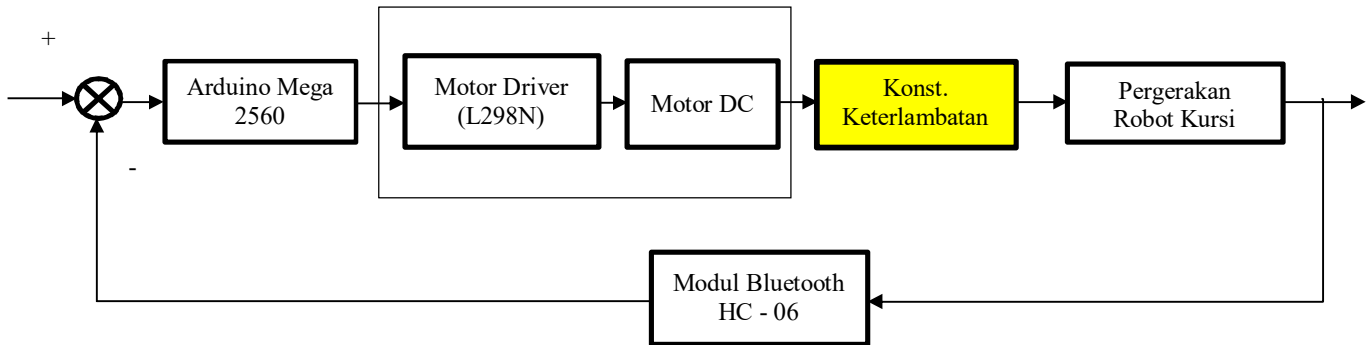
2.1. Perancangan Perangkat Lunak

Dalam merancang perangkat lunak sistem kendali robot kursi, langkah awal yang dilakukan adalah membuat diagram alir. Hal ini dibuat untuk memudahkan proses analisa kesalahan sistem.. Gambar 1 dan Gambar 2 menunjukkan blok diagram sistem kendali robot kursi sebelum dan sesudah penerapan konstanta keterlambatan gerak robot.



Gambar 1. Diagram Alir Robot Kursi Sebelum Perilaku Konstanta Keterlambatan Gerak Robot

Gambar 1 merupakan diagram alir robot kursi sebelum perilaku konstanta keterlambatan gerak robot diterapkan. Arduino Mega 2560 bertindak sebagai kontroler. Data dari Arduino berupa besaran PWM dikirim ke motor driver L298N kemudian diproses untuk menggerakkan motor DC. Hasil keluaran berupa pergerakan robot kursi. Module *bluetooth* bekerja untuk menghasilkan nilai pembacaan sebagai nilai umpan balik (*feedback*).



Gambar 2. Diagram Alir Robot Kursi Sebelum Perilaku Konstanta Ketertambatan Gerak Robot

Gambar 2 merupakan diagram alir robot kursi sesudah perilaku konstanta keterlambatan diterapkan. Mikrokontroler Arduino Mega 2560 berfungsi sebagai otak yang mengendalikan sistem mengirimkan perintah berupa nilai PWM untuk menggerakkan Motor DC dengan hasil keluaran berupa pergerakan robot kursi. Perbedaan gambar 1 dan gambar 2 terletak pada terdapatnya konstanta keterlambatan gerak robot yang berfungsi untuk menjadi solusi mempercepat pergerakan robot menuju jarak 1 meter.

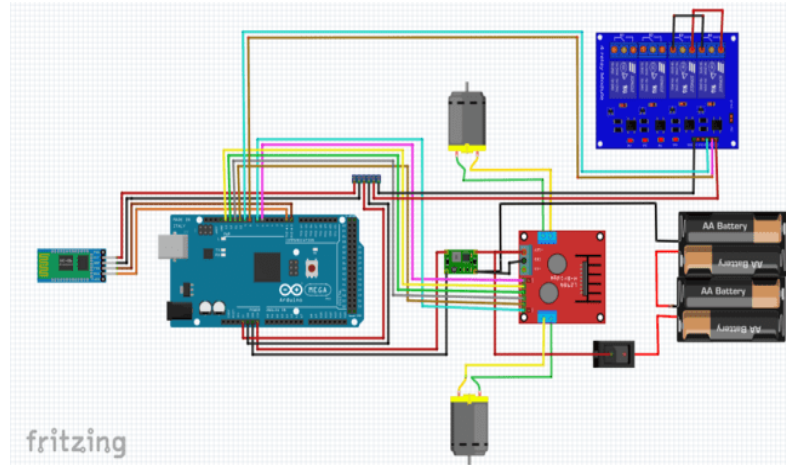
Berdasarkan blok diagram pada gambar 1 dan 2 sebelum diterapkan dan sesudah diterapkan perilaku konstanta keterlambatan gerak robot. Nilai masukan (*Set Point*) berupa jarak, pada penelitian ini penulis mengatur nilai *set point* yaitu 1 meter. Maka didapat persamaan seperti persamaan 1.

$$PWM \text{ Kecepatan Motor} = \text{Konstanta Keterlambatan} \times PWM \text{ Kecepatan Pelan} \quad (1)$$

Berdasarkan persamaan 1 hasil dari keluaran sistem kendali berupa waktu jarak tempuh dalam satuan detik guna mengetahui apakah penerapan konstanta keterlambatan pada alat dapat menjadi solusi mempercepat robot menuju jarak 1 meter. Module *bluetooth* bekerja untuk menghasilkan nilai pembacaan sebagai nilai umpan balik (*feedback*).

2.2. Perancangan Rangkaian Elektrik

Pada perancangan sistem kendali terdapat beberapa komponen dan sebuah komponen mikrokontroller yang menjadi otak pengendali sistem. Maka diperlukan sistem elektronika untuk uji sistem pengendali robot kursi. Gambar 3 merupakan skema rangkaian elektrik sistem pengendali robot kursi.



Gambar 3. Rangkaian Pengendali Kursi Pintar Dengan Kontrol Bluetooth

Sebelum mengembangkan sistem kendali pada robot kursi yang harus diperhatikan salah satunya adalah *power supply*. Mikrokontroler merupakan salah satu komponen elektronika yang membutuhkan *power supply* arus searah DC (*Direct Current*) yang stabil agar dapat bekerja dengan baik. Pada rangkaian kendali robot kursi membutuhkan tegangan sebesar 12 volt. Rangkaian *power supply* berupa baterai sebesar 3.7 volt sebanyak 4 buah. Baterai terhubung dengan komponen *Switch* sebagai penghubung dan pemutus tegangan dari baterai yang kemudian masuk ke mikrokontroler berupa Arduino Mega 2560. Tegangan ini kemudian diturunkan melalui penurun tegangan (*stepdown*) menjadi 5 volt DC yang menghasilkan tegangan sebesar 5 volt. Mikrokontroler Arduino Mega 2560 berfungsi sebagai otak yang mengendalikan sistem.

Sementara itu, penggunaan 1 buah *Driver Motor* dilakukan sebagai pengendali 2 motor DC. Jenis *Driver Motor* yang digunakan adalah *Driver Motor* L298N. Penggunaan 1 buah modul *Relay* dilakukan sebagai pengendali *Linear Actuator* (Motor Hidrolik). Jenis modul *relay* yang digunakan adalah modul modul *relay* 4 chanel 5 volt. Kemudian untuk input menggunakan Modul Bluetooth HC-06. Modul Bluetooth digunakan untuk komunikasi serial *wireless* (tanpa kabel) yang menghubungkan rangkaian pengendali robot kursi dengan smartphone berbasis android melalui komunikasi serial *Bluetooth*. Rangkaian keseluruhan kendali robot kursi terdiri dari komponen-komponen elektronika baik berupa *input* atau *output* yang dibutuhkan oleh mikrokontroler agar dapat berfungsi dengan baik.

3. Hasil dan Pembahasan



Gambar 4. Bentuk Dari Robot Kursi

Pengujian pertama dilakukan dengan menekan tombol yang ada pada aplikasi berdasarkan pergerakan robot kursi. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nominal waktu keterlambatan (*delay*) gerak robot jarak 1 meter. Data hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian *Delay* Gerak Robot

No.	Pengujian Ke-			Rata- Rata
	1	2	3	
1	0.26	0.22	0.28	0.253

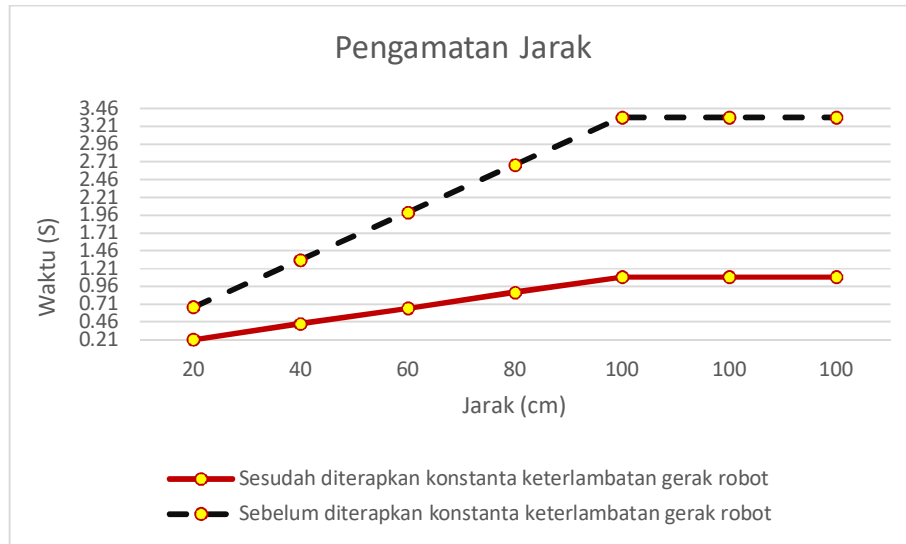
Pada pengujian nominal waktu keterlambatan dengan PWM konstan (tabel 1) mendapatkan rata – rata waktu yang menunjukkan gerak 1 meter adanya keterlambatan sebesar 0.253 detik. Dari hasil pengujian *delay* gerak robot kemudian dicari hasil berupa nilai konstanta keterlambatan gerak pada robot kursi yang diukur berdasarkan nilai rata – rata *delay* sampai jarak 1 meter. Berdasarkan persamaan 1 untuk menentukan waktu pengamatan jarak dengan konstanta keterlambatan adalah 0.00253 detik dan nilai PWM kecepatan pelan konstan sebesar 130, maka didapat nilai PWM baru berupa nilai kecepatan motor dalam satuan detik. Data hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Pengamatan Jarak Sebelum dan Sesudah Perilaku Konstanta Keterlambatan Gerak Robot Berdasarkan Rata – Rata *Delay*

No.	Jarak (cm)	Waktu (S)	
		Sebelum	Sesudah
1	0	0	0
2	20	0.667	0.21
3	40	1.3334	0.438
4	60	2.001	0.65
5	80	2.6668	0.877
6	100	3.335	1.09

Berdasarkan tabel 2 nilai *settling time* dengan menggunakan konstanta keterlambatan yang sudah diterapkan dikalikan dengan besaran PWM kecepatan pelan menunjukkan hasil yang lebih baik, dimana pada 1.09 detik sudah mencapai *steady state* dibanding sebelum diterapkan perilaku konstanta keterlambatan gerak robot yang membutuhkan waktu 3.335 detik untuk mencapai *steady state*. *Rise Time* adalah posisi ketika 90% dari *setting* perilaku konstanta keterlambatan gerak robot tercapai. Dalam hal ini *setting* perilaku menggunakan besaran PWM kecepatan pelan konstan sebesar 130. Diperoleh *rise time* 0.981 perilaku konstanta keterlambatan gerak robot lebih cepat ketika sudah diterapkan dibanding sebelum diterapkan diperoleh *rise time* 3.0015 detik. *Settling time* adalah waktu yang diperlukan oleh sistem untuk mencapai *steady state*. Untuk *settling time*, dari tabel terlihat bahwa pengamatan jarak sesudah perilaku konstanta keterlambatan gerak robot diterapkan membutuhkan waktu lebih sedikit atau lebih cepat dibandingkan dengan data pada saat sebelum diterapkan.

Maka dapat disimpulkan bahwa nilai *PWM Kecepatan Motor* dengan menggunakan konstanta keterlambatan yang sudah diterapkan lebih cepat setelah dikalikan dengan PWM kecepatan pelan dan lebih baik dibanding sebelum diterapkan perilaku konstanta keterlambatan gerak robot. Grafik hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Pengamatan Jarak Sebelum Dan Sesudah Diterapkan Perilaku Konstanta Keterlambatan Gerak Robot

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian, maka dapat diambil 3 kesimpulan. Pertama jarak maksimum koneksi *bluetooth* robot kursi dengan *smartphone* berbasis android adalah 19.1 meter. Kedua nilai konstanta keterlambatan gerak robot adalah 0.00253 detik. Ketiga benar bahwa dengan diterapkan perilaku konstanta keterlambatan gerak robot bergerak lebih cepat 2.245 detik dengan selisih sebesar 67.316 %. Hal ini berdasarkan pengujian perilaku konstanta keterlambatan gerak robot berdasarkan rata – rata *delay* sesudah diterapkan pada robot. Performa ketika sebelum diterapkan dan sesudah diterapkan perilaku konstanta keterlambatan gerak robot, lebih bagus setelah diterapkan. Dilihat berdasarkan nilai *settling time* dan *rise time*. Diperoleh *rise time* 0.981 detik dan *settling time* lebih baik dimana 1.09 detik sudah mencapai *steady state* dibanding sebelum diterapkan perilaku konstanta keterlambatan gerak robot diperoleh *rise time* 3.0015 detik dan *settling time* 3.335 detik untuk mencapai *steady state*.

Untuk kedepannya penelitian ini masih dapat dikembangkan pengembangan sistem kendali robot kursi dapat dikendalikan secara otomatis dengan koneksi Wi-Fi. Penyempurnaan pada *Linear Actuator* agar lebih optimal dengan menggunakan baterai LiPo *series* agar kecepatan motor DC menjadi lebih stabil. Penambahan sistem pengereman dan sensor *ping* pada setiap sisi robot kursi agar dapat berhenti (otomatis) sebelum terbentur.

Referensi

- [1] S. Y. Kurniawan, A. B. Setiawan, and W. Dirgantara, “Kursi Roda Otomatis Berbasis IoT (Internet Of Things) Menggunakan Metode PID (Proportional Integral Derivative Controller),” vol. 5, no. 1, pp. 9–14, 2020.
- [2] J. I. Husada, “JURNAL IMPLEMENTA HUSADA Jurnal.umsu.ac.id/index.php/JIH 145,” vol. 2, no. 2, pp. 195–207, 2021.
- [3] S. Pramono, “Pengendalian Robot Beroda Berbasis Arduino Uno R3 Menggunakan Koneksi Bluetooth,” *J. Inform. SIMANTIK*, vol. 1, no. 1, pp. 12–18, 2016.
- [4] P. Prasetyawan, Y. Ferdianto, S. Ahdan, and F. Trisnawati, “Pengendali Lengan Robot Dengan Mikrokontroler Arduino Berbasis Smartphone,” vol. 7, no. 2, pp. 104–109, 2018.

- [5] D. Ferdiansyah and A. Susanto, "Rancang Bangun Prototype Kursi Roda Menggunakan Arduino R3 Berbasis Android," *GATOTKACA J. (Teknik Sipil, Inform. Mesin dan Arsitektur)*, vol. 1, no. 2, pp. 140–149, 2020, doi: 10.37638/gatotkaca.v1i2.86.
- [6] P. Vidiyanti D, G. Juan, K. Kamaliah, and R. Jannah, "Smart Wheelchair Prototype Based Android As A Tool For People With Disabilities," 2020, doi: 10.4108/eai.23-11-2019.2298338.
- [7] M. Suhu and M. K. Sandaran, "Teknik Komputer Unikom , Bandung".
- [8] A. Suwarno, "Pengendali Robot Arm Menggunakan Smartphone Android," *J. GERBANG, Vol. 9 No. 2 AGUSTUS 2019 PENGENDALI*, vol. 9, no. 2, pp. 61–75, 2019.
- [9] D. Hutagalung, Jhonson Efendi, "SATIN – Sains dan Teknologi Informasi Sistem Pengendali Robot Pemotong Rumput dengan Perintah Suara Berbasis Android Jhonson Efendi Hutagalung," vol. 5, no. 1, 2019.
- [10] CASBEE Technical Manual, "No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析Title," pp. 1–6, 2014.
- [11] F. Z. Rachman and N. Yanti, "Robot Penjejak Ruangan Dengan Sensor Ultrasonik," *Jtt*, vol. 4, no. 2, pp. 114–119, 2016, [Online]. Available: <http://jurnal.poltekba.ac.id/index.php/jtt/article/view/173/121>
- [12] J. Martin, "Desain dan Pembuatan Kontrol Kecepatan Kursi Roda Dengan Menggunakan Metode PID," *Telcomatics*, vol. 1, no. 1, pp. 30–39, 2016, [Online]. Available: <https://journal.uib.ac.id/index.php/telcomatics/article/view/185%0Ahttps://journal.uib.ac.id/index.php/telcomatics/article/download/185/241>
- [13] J. Sitompul, S. Hutauruk, and S. S. P. Siahaan, "Membuat Ruangan Bebas Covid 19 Dengan Robot Disinfektan Dibawah Kendali Smartphone," vol. 3, no. 2, pp. 73–83, 2022.

Prototipe Jemuran Pakaian Otomatis Berbasis *Internet of Things* (IoT)

Internet of Things (IoT) Based Automatic Clothesline Prototype

Muhammad Farhan^{1*}, Sarwin², Andi Hasad³, M. Amin Bakri⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Islam “45” Bekasi, Jl Cut Meutia No.83
Bekasi Timur, Kota Bekasi, 17113

muhammadfarhan194504@gmail.com^{1*}, 0301sarwin@gmail.com², andi_hasad@unismabekasi.ac.id³,
muhammad.aminbakri@gmail.com⁴

Abstrak – Pemanasan global baru-baru ini telah menyebabkan perubahan musim. Musim yang tidak stabil membuat perkiraan cuaca menjadi sulit diprediksi. Kondisi ini menjadi masalah bagi masyarakat yang sedang menjemur pakaian, terutama pada saat penghuni rumah sedang bepergian kemudian cuaca menjadi tidak baik atau turunnya hujan. Dalam mengatasi masalah tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang sebuah perangkat jemuran pakaian otomatis berbasis IoT yang mampu mengendalikan atap dan kipas pada jemuran berdasarkan tingkat kecerahan cahaya, tetesan air dan tingkat kelembaban. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu perancangan alat, perakitan alat dan pengujian alat. Hasil dari penelitian ini, telah berhasil dirancang alat prototipe jemuran pakaian otomatis dan dapat memonitoring sensor menggunakan aplikasi Blynk. Kesimpulan dalam penelitian alat ini menggunakan tiga kondisi yaitu hujan, mendung dan lembab. Sensor yang digunakan untuk mendeteksi tiga kondisi tersebut menggunakan sensor Raindrop, sensor LDR dan sensor DHT11. Alat ini dapat bekerja dengan membuka atap, menutup atap, menyalakan kipas dan mematikan kipas. Komponen mekanik tersebut menggunakan motor servo dan kipas DC 5V. Pengujian pada motor servo saat membuka atap jemuran membutuhkan waktu 0,96 detik dan saat menutup atap jemuran membutuhkan waktu 1,01 detik, kemudian pengujian dari kipas DC pada saat menyala membutuhkan waktu 0,81 detik dan pada saat kipas mati waktu yang didapat 0,83 detik. Berdasarkan nilai error yang di dapat pada komponen sensor DHT11 mendapatkan nilai error terendah 12,85% dan dengan nilai error terbesar 17,39%.

Kata Kunci: Jemuran Otomatis, IoT, NodeMCU, Motor Servo, Kipas DC.

Abstract – The recent global warming has caused the change of seasons. Unstable seasons make weather forecasts difficult to predict. This condition is a problem for people who are drying clothes, especially when the occupants of the house are traveling and then the weather becomes bad or it rains. In overcoming this problem, this study aims to design an IoT-based automatic clothesline device that is able to control the roof and fans on the clothesline based on the level of light brightness, water droplets and humidity levels. The methods used in this research are tool design, tool assembly and tool testing. The results of this study, have successfully designed a prototype tool for automatic clothesline and can monitor sensors using the Blynk application. The conclusion in this research tool uses three conditions, namely rain, cloudy and humid. The sensors used to detect these three conditions are Raindrop sensors, LDR sensors and DHT11 sensors. This tool can work by opening the roof, closing the roof, turning on the fan and turning off the fan. The mechanical components use a servo motor and a 5V DC fan. Testing on the servo motor when opening the clothesline roof takes 0.96 seconds and when closing the clothesline roof takes 1.01 seconds, then testing the DC fan when it is on takes 0.81 seconds and when the fan is off it takes 0.83 seconds. Based on the error value obtained on the DHT11 sensor component, it gets the lowest error value of 12.85% and with the largest error value of 17.39%.

Keywords: Automatic Clothesline, IoT, NodeMCU, Servo Motor, DC Fan



1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi yang pesat baru-baru ini telah memicu kemajuan teknologi baru. Seiring dengan peningkatan tuntutan pekerjaan kegiatan di luar rumah, pekerjaan rumah sering kali terlupakan. Hal ini dapat mengakibatkan rumah menjadi tidak terawat dan menimbulkan kekhawatiran, terutama ketika harus menjemur pakaian, yang notabene merupakan kegiatan yang diperlukan hampir oleh semua orang. Saat musim hujan tiba, banyak orang merasa khawatir saat mereka harus menjemur pakaian mereka. Kekhawatiran semakin meningkat jika pemilik rumah harus meninggalkan rumah atau berada di luar rumah saat pakaian harus dijemur[1][2].

Pemanasan global yang terjadi belakangan ini telah mengakibatkan fluktuasi cuaca yang tidak stabil, menghadirkan tantangan dalam perkiraan cuaca yang semakin sulit. Situasi ini menjadi masalah ketika hujan tiba dan pemilik rumah tidak ada di dekatnya. Untuk mengatasi kendala ini, diperlukan suatu perangkat yang mampu memantau jemuran agar pakaian tetap kering saat hujan turun dan secara otomatis mendeteksi tingkat kekeringan pakaian terkait dengan cahaya matahari, tetesan hujan, dan tingkat kelembaban pada pakaian[3][4].

Untuk mengatasi masalah tersebut dibuatlah sebuah rancangan yang dapat memonitoring jemuran pakaian secara otomatis hal ini dapat mempermudah pengguna untuk dapat melakukan banyak hal tanpa perlu memikirkan soal pakaian terkena tetesan air hujan[5][6]. Salah satu langkah yang dapat digunakan untuk membuat rancangan sebuah alat memonitoring jemuran pakaian otomatis yaitu menggunakan sensor LDR untuk mendeteksi cahaya terang, maka sistem jemuran pakaian otomatis akan aktif dan atap jemuran pun terbuka.[7].

Oleh karena itu perlu dilakukan pengecekan pengadaan suhu pakaian secara berkala serta mengantisipasi jika ada perubahan terhadap suhu dan kelembaban pakaian dengan pengadaan pengering atau kipas[8].

Masalah yang menjadi perhatian ketika seseorang meninggalkan rumah dalam keadaan yang tak berpenghuni adalah keamanan pada saat menjemur pakaian, yang ditakutkan ketika meninggalkan rumah dan terjadi hujan maka pakaian akan otomatis terkena air hujan[9].

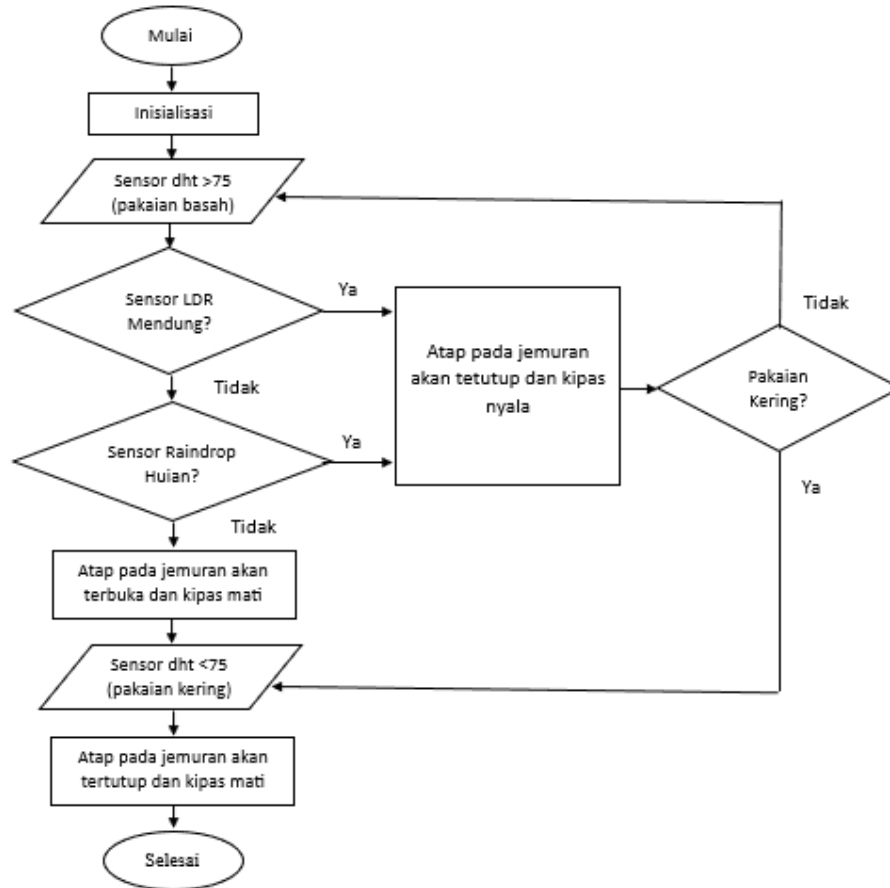
Proses pengiriman data ke web server dioperasikan secara online dengan kata lain memerlukan jaringan internet[10].

Sehingga penulis melakukan penelitian dengan judul “PROTOTIPE JEMURAN PAKAIAN OTOMATIS BERBASIS *INTERNET OF THINGS IOT*”. jemuran otomatis ini berfungsi ketika dalam keadaan cuaca hujan atau mendung. Alat ini akan bekerja dengan bagian atap tertutup agar pakaian terhindar dari tetesan air hujan kemudian kipas otomatis akan menyala. Ketika hujan telah berhenti maka pada bagian atap jemuran pakaian secara otomatis akan kembali terbuka kemudian kipas otomatis akan mati dan jika pakaian telah kering maka secara otomatis jemuran pakaian akan tertutup kembali kemudian kipas tidak akan menyala.

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah merancang sebuah perangkat jemuran pakaian otomatis berbasis *IoT* yang mampu mengendalikan atap dan kipas pada jemuran berdasarkan tingkat kecerahan cahaya, tetesan air dan tingkat kelembaban.

2. Metode Penelitian

Dalam metode penelitian ini dilakukan beberapa tahap, mulai dari studi literatur sampai penyusunan laporan. Berikutnya adalah langkah-langkah tahap metode penelitian dapat dilihat pada flowchart dibawah ini.

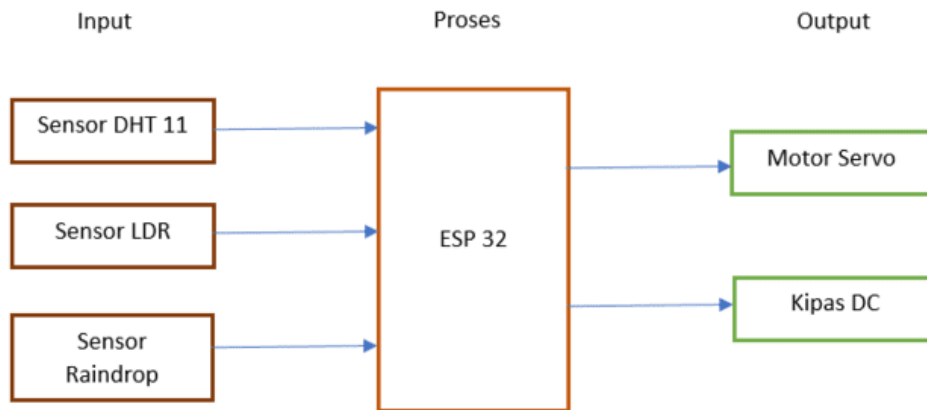


Gambar 1. Flowchart Cara Kerja Prototipe Jemuran Pakaian Otomatis.

Tahapan awal adalah inialisasi nilai resistansi pada sensor yang akan dikirim ke ESP32 kemudian program akan berjalan sesuai sistem yang ingin direncanakan. Ketika sensor DHT11 mendeteksi kondisi pada pakaian lembap, sedangkan tidak ada hujan dan sensor *LDR* mendeteksi cuaca terang maka sistem jemuran pakaian otomatis akan aktif. Selanjutnya atap pada jemuran pakaian otomatis akan terbuka dan kipas *DC* akan mati, kemudian alat pada prototipe mulai menjemur pakaian. Pada saat kondisi sedang gerimis dan mendung kemudian sensor *Raindrop* mendeteksi adanya tetesan air maka alat akan bekerja, kipas *DC* akan menyala kemudian atap pada jemuran pakaian otomatis akan tertutup untuk mengamankan pakaian agar tidak terkena tetesan air hujan. Setelah hujan berhenti, kemudian pakaian masih lembap dan tidak mendung. Maka motor servo otomatis kembali membuka atap pada jemuran dan kipas *DC* mati. Ketika sensor DHT11 mendeteksi kelembapan pada pakaian kering, maka kipas *DC* mati dan atap pada jemuran otomatis akan menutup untuk mengamankan pakaian.

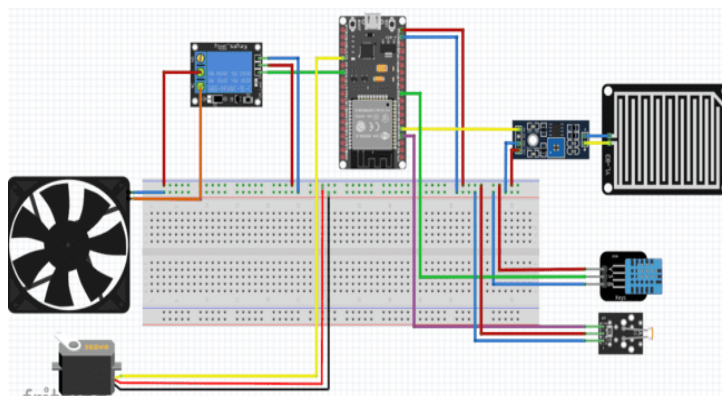
2.1. Perancangan *Hardware*

Dalam perancangan *hardware* tersebut menggunakan Blok diagram sistem, supaya menggambarkan sistem yang dibuat agar lebih mudah dipahami. Secara umum sistem ini terdiri dari beberapa bagian yang dapat ditunjukkan dengan blok diagram sistem, dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. Blok Diagram Sistem.

Dalam blok diagram sistem di atas dapat dilihat bahwa terdapat tiga bagian diantaranya adalah *input*, *proses* dan *output*. Pada komponen jemuran pakaian otomatis memiliki tiga buah sensor *input* pada tahap pertama sensor DHT11 akan mendeteksi kelembaban pada pakaian, kemudian pada tahap kedua yaitu sensor *LDR* (*Light Dependent Resistor*) akan mendeteksi cahaya terang maupun gelap dan tahap ketiga yaitu sensor *Raindrop* yang akan mendeteksi turunnya hujan. Dalam proses sistem pada ketiga tahapan sensor tersebut akan diproses ke ESP32 sebagai mikrokontroler, kemudian program akan diproses untuk mengendalikan dua komponen pada *output* yang pertama yaitu motor servo berfungsi sebagai mekanik untuk menggerakkan atap pada jemuran dan yang kedua kipas *DC* 5V berfungsi sebagai mengeringkan pakaian saat atap pada jemuran tertutup. Berikut adalah instalasi jemuran pakaian otomatis dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3. Instalasi prototipe Jemuran Pakaian Otomatis.

Gambar 3 adalah pemasangan instalasi pada prototipe jemuran pakaian otomatis yang dilakukan dengan menghubungkan beberapa komponen *input* dan *output* menggunakan kabel jumper ke pin mikrokontroler ESP32. Berikut adalah tabel koneksi pin yang digunakan pada komponen *input* dan *output* ke pin mikrokontroler ESP32.

Tabel 1 Pin ESP32 yang Terhubung dengan *Input/Output*

No pin	Fungsi Pin	Komponen Interkoneksi
D2	Analog & Digital <i>Input/Output</i>	Motor Servo
D4	Analog & Digital <i>Input/Output</i>	Kipas DC 5 Volt
D26	Analog & Digital <i>Input/Output</i>	Sensor DHT11
D34	Analog & Digital <i>Input/Output</i>	Sensor LDR
D35	Analog & Digital <i>Input/Output</i>	Sensor <i>Raindrop</i>
GND	<i>Grounding</i>	<i>Grounding</i> Semua Komponen
VIN	Sumber Tegangan 5Volt	Sumber Tegangan Semua Komponen

2.2. Perancangan *Software*

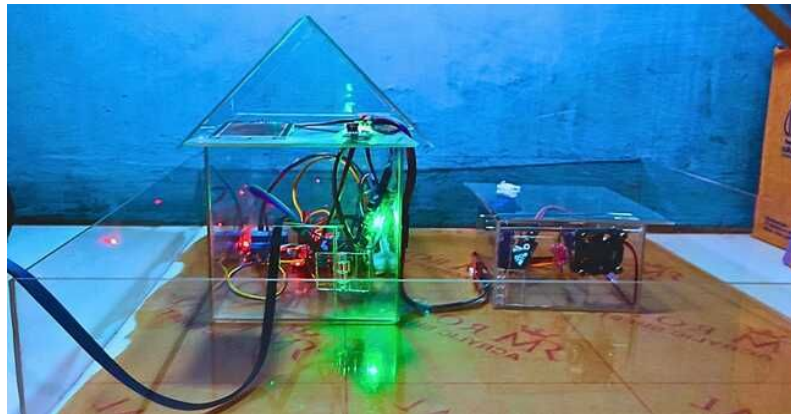
Dalam perancangan *software* pada jemuran pakaian otomatis ini menggunakan dua aplikasi yaitu aplikasi Arduino IDE sebagai pemrograman mikrokontroler ESP32 yang mengatur logika pada *Input* maupun *output hardware* dan aplikasi *Blynk* sebagai *monitoring* jemuran pakaian otomatis berbasis *IoT*.

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil perancangan pada prototipe terdiri dari dua bagian, yaitu perakitan perangkat *hardware* dan perangkat *software*. Perangkat *hardware* mencakup konstruksi kerangka prototipe dan penghubungan rangkaian elektrik peralatan dengan mikrokontroler. Sementara itu, perangkat *software* melibatkan pemrograman mikrokontroler yang bertanggung jawab untuk mengendalikan seluruh perangkat *hardware*.

3.1. Hasil Perakitan *Hardware*

Hasil perakitan berhasil dirancang sebuah alat prototipe jemuran pakaian otomatis berbasis *Internet of Things (IoT)*. Prototipe ini telah dirancang dengan baik dan berfungsi dengan baik, dapat dilihat hasil perakitan prototipe pada gambar 4.



Gambar 4. Hasil Perakitan *Hardware*.

Sistem pada rangkaian elektrik dari jemuran pakaian otomatis terdapat lima komponen perangkat keras yang digunakan yaitu mikrokontroler ESP32, Relay, sensor *Raindrop*, sensor *LDR*, sensor DHT 11, Kipas DC 5V dan Motor Servo. Mikrokontroler Esp 32 berfungsi sebagai

pusat pengolahan data nilai resistansi dari semua sensor, kemudian nilai resistansi dari sensor akan dikirim menuju aplikasi *Blynk* melalui mikrokontroler ESP32 untuk memantau sensor pada prototipe jemuran pakaian otomatis.

3.2. Pengujian Input (Sensor)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kondisi cuaca maupun kelembapan pada pakaian. Pengujian berdasarkan pada sensor akan mendeteksi objek dari intensitas cahaya, mendeteksi adanya tetesan air dan mendeteksi kelembapan. Tujuan dari pengujian kondisi cuaca ini adalah untuk memastikan sensor *LDR* dan sensor *Raindrop* dapat bekerja. Berikut hasil pengujian nilai resistansi sensor yang ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2 Pengujian Nilai Analog Sensor

Sensor	Nilai Analog Sensor	Hasil Deteksi Alat	Hasil Pengamatan
Sensor DHT11	> 75	Pakaian Basah	Pakaian Basah
Senser DHT11	< 75	Pakaian Kering	Pakaian Kering
Sensor <i>Raindrop</i>	> 4000	Tidak Hujan	Tidak Hujan
Sensor <i>Raindrop</i>	< 4000	Hujan	Hujan
Sensor <i>LDR</i>	> 2200	Cuaca Mendung	Cuaca Mendung
Sensor <i>LDR</i>	< 2200	Cuaca Terang	Cuaca Terang

Setelah dilakukan proses pengujian nilai analog pada sensor, maka diperoleh hasil nilai dari sensor tersebut dapat disimpulkan bahwa ketiga sensor tersebut dapat digunakan.

3.3. Pengujian Sensor DHT11

Setelah sistem berhasil dirakit, maka dilakukan pengujian terhadap sensor DHT11 dan bandingkan dengan alat *moisture meter* yang telah di uji, ditunjukkan pada tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3 Perbandingan Alat *Moisture Meter* Dengan Sensor *DHT11*

No	Sensor DHT11	<i>Moisture Meter</i>	Selisih	Error (%)
1	82	70	12	17,14
2	79	68	11	16,17
3	81	69	12	17,39
4	79	70	9	12,85
5	77	66	11	16,66
6	78	68	10	14,70
7	76	65	11	16,92
Rata-rata	78,85	68	10,85	15,97

Tabel 3 berisi data sensor DHT11 dan pengukuran kelembapan tanah (*Moisture Meter*) untuk tujuh pengamatan yang berbeda. Sensor DHT11 memberikan pembacaan rata-rata suhu sekitar 78,85 dan tingkat kelembapan sekitar 68. Selisih antara pembacaan sensor DHT11 dan *Moisture Meter* berkisar antara 9 hingga 12, dengan rata-rata selisih sekitar 10,85. Selain itu, terdapat error sekitar 15,97% dalam pembacaan sensor DHT11 dibandingkan dengan *Moisture Meter*.

3.4. Pengujian Sensor Raindrop

Berikut adalah pengujian terhadap sensor *raindrop*, ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4 Pengujian Sensor *Raindrop*

No	Nilai Resistansi Sensor <i>Raindrop</i>	Dideteksi	Pengamatan	Keterangan
1	2394	Hujan	Hujan	Berhasil
2	2183	Hujan	Hujan	Berhasil
3	4091	Tidak Hujan	Tidak Hujan	Berhasil
4	4156	Tidak Hujan	Tidak Hujan	Berhasil

Dalam pengujian sensor *Raindrop* pada 4 sampel yang telah diuji tersebut, sensor dapat mendeteksi tetesan air dan sensor dapat bekerja dengan baik.

3.5. Pengujian Sensor *LDR*

Berikut adalah pengujian terhadap sensor *LDR*, ditunjukkan pada tabel 5.

Tabel 5 Pengujian sensor *LDR*

No	Nilai Resistansi Sensor <i>LDR</i>	Dideteksi	Pengamatan	Keterangan
1	1874	Cuaca Terang	Cuaca Terang	Berhasil
2	1618	Cuaca Terang	Cuaca Terang	Berhasil
3	2280	Cuaca Mendung	Cuaca Mendung	Berhasil
4	2317	Cuaca Mendung	Cuaca Mendung	Berhasil

Dalam pengujian sensor *LDR* diatas dapat disimpulkan bahwa sensor dapat mendeteksi resistansi cahaya dan sensor dapat bekerja dengan baik.

3.6. Pengujian Mekanik (Output)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui cara kerja *output* dari kipas *DC* dan motor servo pada atap jemuran pakaian, ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 6. Cara Kerja Jemuran Pakaian Otomatis

No	Sensor DHT11	Sensor <i>LDR</i>	Sensor <i>Raindrop</i>	Motor Servo	Kipas <i>DC</i> 5V
1	Lembab	Tidak Mendung	Tidak Hujan	ON	OFF
2	Lembab	Mendung	Hujan	OFF	ON
3	Lembab	Tidak Mendung	Hujan	OFF	ON
4	Lembab	Mendung	Tidak Hujan	OFF	ON
5	Kering	Tidak Mendung	Tidak Hujan	OFF	OFF
6	Kering	Mendung	Hujan	OFF	OFF
7	Kering	Tidak Mendung	Hujan	OFF	OFF
8	Kering	Mendung	Tidak Hujan	OFF	OFF

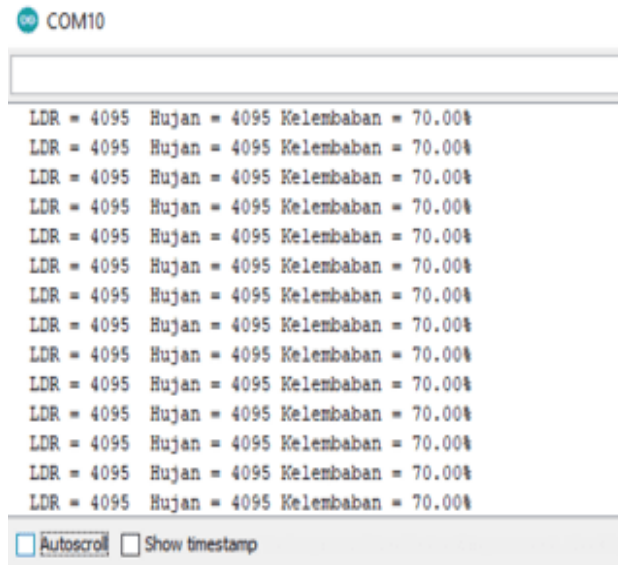
Setelah dilakukan proses pengujian dari cara kerja motor servo dan kipas *DC*. Bahwa kedua *output* tersebut dapat bekerja sesuai program yang diinginkan. Selanjutnya pengujian waktu yang didapat pada saat membuka atap jemuran pakaian dan kipas menyala maupun mati, ditunjukkan pada tabel 7.

Tabel 7 Pengujian Waktu pada Komponen *Output*

No	Komponen	Kondisi	Detik
1	Motor Servo	On (180°)	0,96
2	Motor Servo	Off (0°)	1,01
3	Kipas <i>DC</i> 5V	Off	0,83
4	Kipas <i>DC</i> 5V	On	0,81

3.7. Hasil Perancangan *Software*

Dalam pengujian *software* menggunakan dua aplikasi yaitu aplikasi Arduino IDE dan aplikasi *Blynk*. Pengujian *monitoring* ini dapat dilihat pada serial monitor dari aplikasi Arduino IDE dan tampilan *devices* pada aplikasi *Blynk*. kemudian memastikan nilai resistansi sensor pada aplikasi *Blynk* sesuai dengan serial monitor yang terdapat pada aplikasi Arduino IDE. Berikut adalah gambar *monitor* pada serial Arduino dan *devices* pada aplikasi *Blynk*.



Gambar 5. Serial Monitor Pada Arduino IDE



Gambar 6. Devices Monitoring Pada Blynk.

Setelah melakukan pengujian pada alat jemuran pakaian otomatis telah berhasil bekerja dengan baik. Berikut kinerja alat pada jemuran pakaian otomatis yaitu pengujian sensor DHT11, pengujian kerja mekanik dan *monitoring* jemuran pakaian otomatis.

1. Pengujian yang telah dilakukan pada sensor DHT11 memiliki nilai *error* terendah 12,85% dan nilai *error* terbesar 17,39%.
2. Dalam pengujian kerja mekanik pada jemuran pakaian otomatis yang terdapat dari motor servo telah berhasil membuka dan menutup atap pada jemuran pakaian secara otomatis dan komponen pada kipas DC dapat bekerja sesuai program yang diinginkan. Berdasarkan pengujian waktu yang didapat pada saat membuka atap yaitu 0,96 detik dan pada saat kipas DC menyala membutuhkan waktu 0,81 detik.

Berdasarkan *pengujian monitoring* jemuran pakaian otomatis pada serial monitor Arduino IDE, komponen sensor yang digunakan pada alat tidak ada masalah yang ditemukan pada pembacaan nilai resistansi dan aplikasi pada *Blynk* berhasil menerima data nilai resistansi sensor yang dikirim melalui mikrokontroler ESP32, sehingga aplikasi *Blynk* dapat *memonitoring* nilai resistansi sensor tersebut.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan pada penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa kinerja dari sistem kendali atap jemuran pakaian otomatis berbasis *Internet of Things* telah berhasil dirancang dengan baik. Alat ini menggunakan tiga kondisi yaitu hujan, mendung dan lembab. Sensor yang digunakan untuk mendeteksi tiga kondisi tersebut yaitu menggunakan sensor *Raindrop*, sensor *LDR* dan sensor DHT11. Alat ini dapat bekerja dengan membuka atap, menutup atap, menyalakan kipas dan mematikan kipas. Komponen mekanik tersebut menggunakan motor servo dan kipas DC 5V. Pengujian pada motor servo saat membuka atap jemuran membutuhkan waktu 0,96 detik dan saat menutup atap jemuran membutuhkan waktu 1,01 detik, kemudian pengujian dari kipas DC pada saat menyala membutuhkan waktu 0,81 detik dan pada saat kipas mati waktu yang didapat 0,83 detik. Berdasarkan nilai *error* yang didapat pada komponen sensor DHT11 mendapatkan nilai *error* terendah 12,85% dan dengan nilai *error* terbesar 17,39%. Dalam pengujian sensor *Raindrop* dan sensor *LDR* yang telah diuji tersebut, dapat mendeteksi dengan baik.

Referensi

- [1] Fahri R. Ichtiar Dwi, F. Trias Pontia W, dan Bomo Wibowo Sanjaya, "RANCANG BANGUN PROTOTYPE ALAT PENJEMUR PAKAIAN BERBASIS INTERNET OF THINGS (IoT)," *Jurnal Teknik Elektro Untan*, 2019.
- [2] S. Bustommy dan Bosar Panjaitan. S.Si. M.Kom, "RANCANG BANGUN JEMURAN OTOMATIS MENGGUNAKAN ARDUINO UNO DAN MIKROKONTROLER," *Jurnal Satya Informatika*, vol. 6, no. 1, hlm. 1–9, 2021.
- [3] M. Syarmuji, Ir. Sumpena MM, dan Ir. Raden Muh Sultoni, "SISTEM JEMURAN OTOMATIS BERBASIS ARDUINO," *Jurnal Teknologi Industri*, vol. 11, no. 1, 2022.
- [4] Y. Hendrian, Yusuf Pribadi Yudatama, dan Violetta Surya Pratama, "Jemuran Otomatis Menggunakan Sensor LDR, Sensor Hujan Dan Sensor Kelembaban Berbasis Arduino Uno," *Jurnal Teknik Komputer AMIK BSI*, vol. 6, no.1, 2020.
- [5] M. Artiyasa, A. Nita Rostini, dan A. Pradifta Junfithrana, "APLIKASI SMART HOME NODE MCU IOT UNTUK BLYNK," *Jurnal Rekayasa Teknologi Nusa Putra*, vol. 7, no.1, no. 1, hlm. 1–7, 2020.
- [6] A. Sanaris dan I. Suharjo, "Prototype Alat Kendali Otomatis Penjemur Pakaian Menggunakan NodeMCU ESP32 Dan Telegram Bot Berbasis Internet of Things (IOT)," *Jembatan Merah No. 84C*, vol. vol.1, no.1, 2020.

- [7] D. Aribowo, Gigih Priyogi, dan Saeful Islam, “APLIKASI SENSOR LDR (LIGHT DEPENDENT RESISTOR) UNTUK EFISIENSI ENERGI PADA LAMPU PENERANGAN JALAN UMUM,” *Jurnal PROSISKO*, vol. 9, no.1, 2022.
- [8] A. Y. Rangan, Amelia Yusnita, dan Muhammad Awaludin, “Sistem Monitoring berbasis Internet of things pada Suhu dan Kelembaban Udara di Laboratorium Kimia XYZ,” *Jurnal E-Komtek (Elektro-Komputer-Teknik)*, vol. 4, no. 2, hlm. 168–183, Des 2020.
- [9] R. Ramdan, L. Lasmadi, dan P. Setiawan, “Sistem Pengendali On-Off Lampu dan Motor Servo sebagai Penggerak Gerendel Pintu Berbasis Internet Of Things (IoT),” *AVITEC*, vol. 4, no. 2, hlm. 211, Agu 2022.
- [10] A. Tri Putra dan J. Hamka Air Tawar, “Penggunaan Aplikasi Ubidots untuk Sistem Kontrol dan Monitoring pada Gudang Gula Berbasis Arduino UNO,” vol. 2, no. 1, 2021.
- [11] Y. Novriandry, Dedi Triyanto, dan Suhardi, “PROTOTYPE SISTEM MONITORING DAN PENGISIAN TOKEN LISTRIK PRABAYAR MENGGUNAKAN ARDUINO UNO BERBASIS WEBSITE,” *Coding Jurnal Komputer dan Aplikasi*, vol. 8, no. 3, no. 3, hlm. 61–72, Okt 2020.

Alat Monitoring Kualitas Air Berbasis IoT Secara Real Time

IoT-based Real-time Water Quality Monitoring Equipment

Ade Pirmansyah^{1*}, Moch Zaelani², Annisa Firasanti³, Seta Samsiana⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Islam 45 Bekasi, Jl. Cut Meutia No.83
Bekasi Timur, Kota Bekasi, 17113

Adepirman427@gmail.com^{1*}, mochezaelanii717@gmail.com², annisa.firasanti@unismabekasi.ac.id³,
seta@unismabekasi.ac.id⁴

Abstrak – Manusia dan air tidak dapat dipisahkan, dapat dilihat dari banyaknya sisa-sisa peradaban kuno yang ditemukan di tepi sungai. Air sangat berpengaruh terhadap berbagai aspek kehidupan manusia, mulai dari kebutuhan air minum, sanitasi, fasilitas kesehatan, perikanan dan kelautan, irigasi pertanian, hingga dunia industri. Sehingga monitoring kualitas air adalah kebutuhan yang tidak dapat dielakkan. Selama ini monitoring kualitas air kebanyakan dilakukan secara manual: seseorang mendatangi lokasi air, kemudian mengambil sample air, lalu membawanya ke laboratorium. Atau membawa alat ukur dan mencelupkannya ke dalam air lalu dilihat nilainya. Masalahnya terkadang air yang diukur berada di tempat yang jauh atau sulit dijangkau. Kelemahan lain adalah pengukuran tidak bisa secara terus menerus, atau real-time. Data pengukuran juga hanya dicatat manual. Oleh karena itu, kami membuat sebuah alat yang portabel, user-friendly, sederhana, terjangkau namun akurat dalam memantau kondisi air, Alat ini dilengkapi dengan 3 sensor sehingga pengguna dapat menyesuaikannya dengan kebutuhan mereka. Dengan alat ini, semua orang dapat memantau kondisi air melalui smartphone mereka tanpa harus mengeluarkan banyak waktu dan biaya.

Kata Kunci: *Monitoring, Air, Telegram, Web.*

Abstract - Humans and water is inseparable, as many remains of ancient civilizations found on the river banks. Water greatly influences various aspects of human life, starting from the need for drinking water, sanitation, health facilities, fisheries and maritime affairs, agricultural irrigation, to the industrial world. So monitoring water quality is an unavoidable necessity. So far, most water quality monitoring has been done manually: someone visit the location of the water, then takes a water sample, then takes it to the laboratory. Or bring a measuring instrument and dip it in the water and then see the value. The problem is sometimes the water that is measured is in a place that is far away or difficult to reach. Another drawback is that measurement cannot be continuous, or real-time. Measurement data is also only recorded manually. Therefore, our team created a tool that is portable, user-friendly, simple, affordable yet accurate in monitoring water conditions. This tool is equipped with 3 sensors so that users can adapt it to their needs. With this tool, everyone can monitor water conditions through their smartphones without having to spend a lot of time and money.

Keywords: *Monitoring, Water, Telegram, Web.*

1. Pendahuluan

Air merupakan zat yang paling penting dalam kehidupan setelah udara. Tiga per empat bagian tubuh manusia terdiri dari air. Manusia tidak dapat bertahan hidup lebih dari 4-5 hari tanpa minum air. Air juga merupakan zat yang paling parah akibat pencemaran. Penyakit-penyakit yang menyerang manusia dapat ditularkan dan disebarkan melalui air. Penyakit-penyakit tersebut merupakan akibat semakin tingginya kadar pencemar yang memasuki air.[1]

Kualitas air yang dapat dikatakan baik berdasarkan tiga kelompok parameter utama, yaitu parameter fisika, kimia dan biologi. Apabila ketiga faktor tersebut baik, maka air yang digunakan dapat menunjang kehidupan organisme yang dipelihara. Parameter fisika yang dimaksud adalah: suhu, kedalaman, kecerahan, TDS, TSS, dll.[2] [8]

Monitoring kualitas air adalah sebuah metode pengambilan sampel air secara berkala untuk menganalisa kondisi air sungai dan karakteristiknya. Monitoring ini biasanya merupakan monitoring sumber air tawar seperti air dari sungai, danau, aliran air, kolam, waduk, air tanah permukaan, sumur, air di gua, dan lahan basah.[3] Monitoring ini dilakukan dimana untuk meyakinkan bahwa sumber air tersebut aman untuk dikonsumsi dan dapat digunakan untuk keperluan manusia dan hewan. Peraturan yang dibuat oleh Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 416 tahun 1990 telah menetapkan bahwa kualitas air yang baik untuk digunakan pada keperluan sehari-hari[4][6].

Pada beberapa sektor kehidupan seperti perternakan ikan, hidroponik, konservasi Daerah Aliran Sungai, atau industri, kualitas air adalah hal yang sangat penting sehingga harus selalu dipertahankan agar berada pada kondisi tertentu. Misalnya pada tambak ikan, air tambak perlu dijaga agar tetap pada suhu dan pH tertentu agar kualitas ikan terjaga dengan baik. Atau pada pertanian hidroponik, air nutrisi yang mengalir pada pipa harus selalu dijaga agar berada di nilai ppm (*part per million*) tertentu agar tanaman dapat tumbuh dengan baik[7][8].

Namun terkadang proses ini rumit, kurang akurat, dan memakan waktu serta tenaga. Misalnya pada industri kertas yang menghasilkan limbah bubuk kertas atau Daerah Aliran Sungai, objek cair yang harus dimonitor terletak di lokasi yang tidak mudah dijangkau. Sehingga jika ingin mengetahui kondisi cairan tersebut, dibutuhkan proses dan waktu yang relatif tinggi. Ditambah lagi hasil monitoring cairan tidak bisa bersifat *real-time*[9] [8] [10].

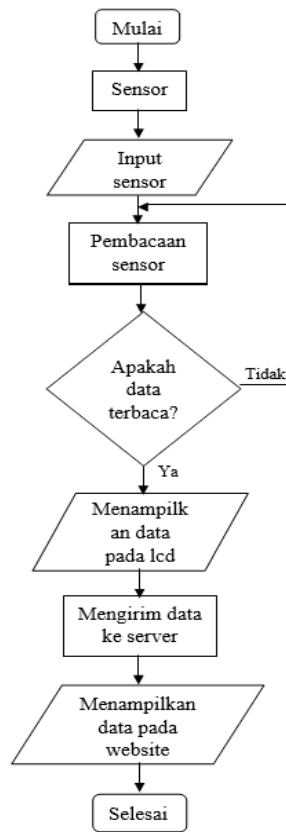
Beberapa penelitian serupa telah dikembangkan sebelumnya, salah satunya [11] yang membuat alat pemantauan kualitas air kolam dengan 4 parameter yaitu kejernihan air, suhu, pH, dan oksigen terlarut. Kemudian ada ARASI untuk memantau air pada tambak gurami dengan parameter kekeruhan, pH dan suhu[12]. Dari luar negeri, ada brand Libelium asal Spanyol yang telah membuat alat monitoring air dengan aplikasi dan suku cadang yang mumpuni, dengan 5 slot sensor yang bisa diatur sesuai kebutuhan[13].

Pada alat pemantau air kolam, parameter yang digunakan sudah cukup lengkap namun karena nilai standar parameter yang digunakan sudah di set pada nilai khusus untuk air kolam, alat ini tidak bisa digunakan untuk keperluan lain. Selain itu, alat ini tidak dilengkapi dengan aplikasi untuk *interface* dengan pengguna. Sama halnya dengan ARASI, nilai standar parameter yang digunakan sudah di set khusus untuk tambak ikan gurami sehingga alat ini tidak bisa digunakan secara universal. Libelium adalah produk yang dikembangkan secara profesional oleh perusahaan besar, dengan fitur dan aplikasi yang sudah mumpuni, namun produk ini belum beredar di Indonesia dan harganya relatif tinggi. Oleh karena itu, penelitian ini membuat sebuah alat yang mampu memantau kualitas air untuk segala keperluan dengan harga yang terjangkau dan juga dengan *interface* yang mudah dipahami pengguna.

2. Metode Penelitian

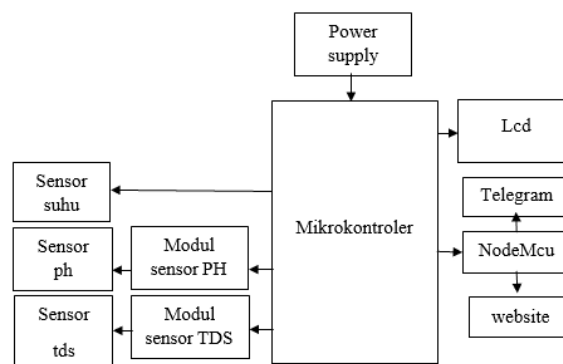
2.1. Flowchart Monitoring

Rancang bangun alat monitoring suhu, ppm dan pH pada Air berbasis Internet of Things (IoT) ini membentuk suatu sistem monitoring suhu dan pH dan ppm yang dapat diakses selama terdapat koneksi internet. Sistem ini dirancang menggunakan tiga buah sensor yaitu sensor suhu, sensor ppm dan sensor pH sebagai pengukur kualitas air. Data yang didapatkan dari ketiga sensor tersebut akan dikirim ke server dengan modul WiFi yang terdapat di dalam nodemcu sehingga data dapat diakses menggunakan website dan dapat di kontrol set poin untuk pemberitahuan berupa notifikasi hasil pembacaan sensor pada smartphone dan PC/laptop.



Gambar 1. Flowchart Monitoring

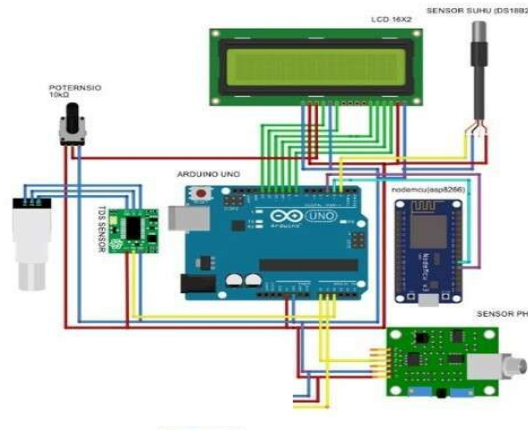
2.2. Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)



Gambar 2. Perangkat Keras

Secara garis besar, tahap pembuatan alat dibagi menjadi beberapa bagian yaitu.

1. Tahap perangkaian antara Arduino, LCD, dan I2C. Diagram perangkaian terdapat



Gambar 3. Skema rangkaian monitoring

2.3. Perancangan Perangkat Lunak

Pengendali utama pada prototipe monitoring kualitas air ini menggunakan Arduino uno yang dihubungkan dengan NodeMCU yang digunakan untuk mengatur kerja sensor serta mengatur proses pengiriman data dari hasil pembacaansensor ke server. Arduino membutuhkan perangkat lunak (software) seperti ArduinoIDE, visual studio code yang diperlukan untuk mengintegrasikan Bahasa C/C++, atau Bahasa pemrograman lain untuk di masukan ke dalam mikrokontroler.

Agar prototipe IOT dapat di akses menggunakan aplikasi pada smartphonemaka diperlukan internet di dalam NodeMCU berpungsi sebagai jalur untuk mengirim data hasil pembacaan sensor ke server. Pada rancang bangun alat monitoring berbasis internet of things menggunakan Arduino dan NodeMCU data yang dikirim tersebut akan di simpan ke dalam database. Kemudian data yang tersimpan akan di tampilkan di website interface dan juga dapat menetapkan standar bawah dan atas nilai dari cairan. Jika terjadi perubahan maka alat akan mengirimkan sinyal peringatan ke *smartphone* pengguna sehingga pengguna dapatmenindaklanjuti sesuai dengan perlakuan yang dibutuhkan.

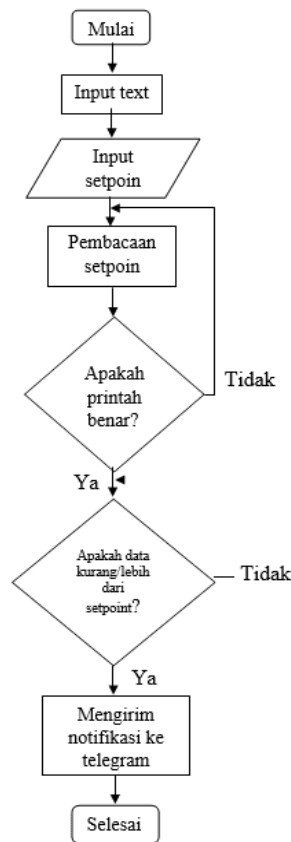
a. Pengujian Sensor

Pada alat ini, terdapat tiga jenis sensor yang digunakan yaitu suhu, salinitas, pH. Untuk sensor suhu, pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap termometer. Untuk sensor pH, pengujian sensor dilakukan dengan membandingkan pembacaan sensor dengan pH meter, dimana terdapat tiga larutan pH yang diuji yang berasal dari larutan asam, normal dan basa. Sensor yang digunakan untuk mengukur salinitas air adalah sensor TDS, dan sama halnya seperti skenario pengujian yang lain, sensor ini diuji dengan membandingkan hasil pembacaan sensor dengan TDS meter dalam satuan ppm (*part per million*).

b. Pengujian Jarak

Sedangkan pada pengujian jarak bertujuan untuk mengetahui seberapa jauh esp8266 dapat terhubung ke internet. Pengujian jarak dilakukan dengan interval 1-23 meter sesuai dengan *data sheet* alat.

c. Pengujian Telegram



Gambar 4. Skenario pengujian aplikasi telegram

Pengujian aplikasi telegram dilakukan dengan cara menguji apakah chatbot merespon dengan baik, dan menguji apakah saat nilai terukur dari sensor berada di luar interval nilai yang diijinkan akan terdapat notifikasi ke *user*. Skenarionya adalah dengan membuat kondisi yang abnormal dibandingkan dengan nilai interval yang telah ditetapkan. Contohnya, untuk sensor suhu, pengguna memasukkan nilai batas atas sebesar 36°C. Kemudian disiapkan sebuah cairan yang sangat panas yang suhunya melebihi batas tersebut, kemudian dilihat apakah benar ada notifikasi yang masuk ke telegram pengguna.

3. Hasil dan Pembahasan

Gambar 5 merupakan tampilan akhir sistem monitoring kualitas air yang telah digabungkan dari beberapa komponen mulai dari ESP8266 sebagai pusat sistem mikrokontroler, sensor suhu DS18B20 sebagai input sensor suhu, sensor pH PH4502C sensor sebagai input sensor pH, sensor TDS SEN0244, lcd I2C, kabel jumper, dan adaptor 5V sebagai pemasok daya. Semua dikemas di dalam sebuah *casing* agar rapi dan mudah dibawa kemanapun.



Gambar 5. Perakitan alat monitoring air

3.1. Perancangan Software

3.1.1. Perancangan website monitoring thingspeak

Pada beranda thingspeak terdapat 6 menu yang digunakan. Yang pertama adalah “Device” untuk melihat dashboard secara private yang terhubung antara website dengan mikrokontroller, kedua adalah “Dashboard” untuk menampilkan monitoring dari sensor yang terhubung dengan mikrokontroller secara publik. Menu ketiga berfungsi untuk mengatur channel, menu ke 4 berfungsi untuk berbagi data, menu ke 5 berfungsi untuk mendapatkan API dari website monitoring dan menu terakhir berfungsi untuk import/export data dari sensor-sensor yang digunakan.



Gambar 6. Tampilan menu dashboard thingspeak (a) kondisi awal saat belum dilakukan pengukuran dan (b) setelah dilakukan pengukuran

Setelah alat terhubung dengan jaringan internet selanjutnya untuk menampilkan data dari hasil monitoring dapat di lihat di bagian menu Dashboard. Data yang ditampilkan berupa nilai pH, nilai TDS, dan nilai suhu yang ditampilkan adalah grafik perubahan pembacaan pada sensor seperti yang disajikan pada Gambar 6.b.

3.1.2. Perancangan notifikasi telegram

Software yang digunakan untuk penelitian ini adalah telegram, aplikasi ini berfungsi untuk memberikan notifikasi ketika nilai pembacaan sensor itu berada di luar batas nilai yang telah ditentukan. Hasil pembuatan *chatbot* dan notifikasi peringatan dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil dari pembuatan bot

Setelah bot selesai di buat kemudian bot sudah siap di gunakan dengan cara *click button start* pada chat bot telegtam.

4. Hasil Pengujian Alat

4.1. Pengujian Sensor

Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa alat bekerja dengan baik. Pengukuran dilakukan masing-masing 20 kali dengan mencelupkannya ke dalam cairan yang sesuai dengan jenis pengujian. Akurasi alat dilakukan dengan membandingkan antara hasil pengukuran sensor dengan alat ukur lain.

Pada tahap ini, sebelum melakukan pengujian prototipe secara keseluruhan dilakukan sebuah pengujian terhadap komponen-komponen alat dan bahan yang digunakan terlebih dahulu. Pengujian dilakukan untuk mengetahui fungsi pada masing-masing komponen dan apakah komponen tersebut dapat beroperasi dengan baik dan benar. Adapun pengujian-pengujian tersebut adalah sebagai berikut.

Keasaman (pH)

Tabel 1. Hasil Pengukuran Akurasi Sensor Suhu

Nomor	Hasil Pengukuran		Error (%)
	Alat (°C)	Thermometer (°C)	
1	27,9	27	3,3
2	28,0	27	3,7
3	27,9	28	3,6
4	27,9	28	3,5
5	27,7	28	1,0
6	27,8	28	0,7
7	27,7	28	1,0
8	27,8	28	0,7
9	27,9	28	0,3
10	27,9	28	0,3
11	29,1	29	2,5
12	29,4	29	1,4
13	28,9	29	0,35
14	28,7	28	2,5

Nomor	Hasil Pengukuran		Error (%)
	Alat (°C)	Thermometer (°C)	
15	29,4	29	1,4
16	28,2	28	0,7
17	28,8	29	0,68
18	29,1	29	3,1
19	29,5	30	1,6
20	28,9	29	0,34
Rata-rata			1,42

Keasaman (pH)

Sensor pH menghitung jumlah hydrogen yang terlarut dalam air. Pengujian sensor pH dilakukan dengan tiga jenis bubuk pH yang dilarutkan ke dalam air yaitu 4,01 untuk pH asam, 6,86 untuk pH normal dan 9,18 untuk pH basa.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Akurasi Sensor pH

Nomor	Hasil Pengukuran			Error (%)		
	4,01	6,86	9,18	Asam	Normal	Basa
1	4,4	6,6	9,3	9,7	3,7	1,3
2	4,1	6,6	8,9	2,2	3,7	3
3	3,5	6,5	9,1	12	5,2	0,8
4	3,6	6,6	8,5	10,2	3,7	7,4
5	3,7	6,4	9,1	7,7	6,7	0,8
6	3,9	7,1	9,0	2,7	3,4	0,1
7	3,8	6,3	9,6	5,2	8,1	4,5
8	3,2	6,6	9,1	20	3,6	0,8
9	3,7	6,5	9,2	7,7	5,2	0,2
10	3,6	6,2	8,9	10,2	9,6	3
11	3,4	6,1	9,1	15,2	11	0,87
12	3,2	6,3	9,2	20	8,1	0,2
13	3,6	6,4	9,4	10	6,7	2,3
14	4,4	6,6	9,9	9,7	3,7	7,8
15	4,2	6,9	8,4	4,7	0,5	8,4
16	4,2	7,2	8,8	4,7	4,9	4,1
17	3,2	6,4	8,7	20	6,7	5,2
18	3,9	6,5	8,6	2,7	5,2	6,3
19	3,8	6,7	8,9	5,2	2,3	3
20	4,1	6,7	9,1	2,2	2,3	0,87
Rata-rata				9,1	5,2	3

Salinitas (ppm)

Sensor salinitas menunjukkan banyaknya mineral yang terkandung dalam air dengan satuan ppm (*part per million*). Semakin tinggi kandungan mineral dalam air, semakin tinggi nilai ppm-nya. Misalnya untuk air minum, standarnya berkisar antara 100 sampai 150 ppm.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Akurasi Sensor Salinitas

Nomor	Hasil pengukuran sensor (ppm)	Error (%)
1	1163,4	16,3
2	1157,1	15,7
3	1170,0	17
4	1158,4	15,5
5	1159,2	15,9
6	1112,4	11
7	1159,2	19,8
8	1164,1	16,4
9	1168,1	16,7
10	1155,0	15,1
11	1154,1	8,5
12	1144,4	10,2
13	1145,5	11,5
14	1165,1	15,1
15	1152,1	14,2
16	1148,0	14,8
17	1151,4	15,1
18	1145,2	14,2
19	1167,1	13,4
20	1144,9	14,1
Rata-rata		13,6

5. Kesimpulan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat ini memiliki kemampuan yang memadai dalam memantau kualitas air berbasis prinsip Internet-of-Things. Data uji coba menyoroti bahwa parameter suhu memiliki tingkat kesalahan rata-rata terendah yaitu 1.2%, menandakan akurasi yang baik dalam pengukuran suhu. Di sisi lain, parameter ppm menunjukkan tingkat kesalahan rata-rata tertinggi dengan nilai sebesar 13.6%. Parameter pH, dengan nilai kesalahan rata-rata sekitar 9.1%, juga memberikan hasil yang memuaskan. Alat ini juga menunjukkan kemampuan konektivitas WiFi yang solid dengan jarak maksimal mencapai 19 meter dari *access point*. Selain itu, aplikasi Telegram yang terintegrasi berhasil mengirimkan notifikasi saat nilai sensor melewati ambang batas yang telah ditentukan, meningkatkan tingkat responsivitas. Aplikasi ThingSpeak juga memberikan kemudahan dalam mengakses data sensor, baik secara publik maupun privat, melalui peramban web, meningkatkan aksesibilitas dan manfaat dari alat ini. Dengan demikian, alat ini menjanjikan solusi yang efektif dan canggih untuk pemantauan kualitas air berbasis IoT.

Referensi

- [1]. R. Wandrivel, N. Suharti, and Y. Lestari, "Kualitas Air Minum Yang Diproduksi Depot Air Minum Isi Ulang Di Kecamatan Bungus Padang Berdasarkan Persyaratan Mikrobiologi," *J. Kesehat. Andalas*, vol. 1, no. 3, pp. 129–133, 2012, doi: 10.25077/jka.v1i3.84.
- [2]. A. R. Scabra and D. N. Setyowati, "Peningkatan Mutu Kualitas Air Untuk Pembudidayaan Ikan Air Tawar Di Desa Gegerung Kabupaten Lombok Barat," *Abdi Insa.*, vol. 6, no. 2, p. 261, 2019, doi: 10.29303/abdiinsani.v6i2.243.
- [3]. K. Yagna Sai Surya, T. Geetha Rani, and B. K. Tripathy, "Social Distance Monitoring and Face Mask Detection Using Deep Learning," *Smart Innov. Syst. Technol.*, vol. 281, no.

- December, pp. 461–476, 2022, doi: 10.1007/978-981-16-9447-9_36.
- [4]. T. D. Hendrawati, N. Maulana, and A. R. Al Tahtawi, “Sistem Pemantauan Kualitas Air untuk Sungai di Kawasan Industri Berbasis WSN dan IoT,” *JTERA (Jurnal Teknol. Rekayasa)*, vol. 4, no. 2, p. 283, 2019, doi: 10.31544/jtera.v4.i2.2019.283-292.
- [5]. A. Tujuan *et al.*, “UJI PARAMETER AIR MINUM DALAM KEMASAN(AMDK) DI KOTA SURABAYA M . Deril dan Novirina . H Program Studi Teknik Lingkungan , Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Pembangunan Nasional ‘ Veteran ’ Jatim Keywords : Bottled Drinking Water , Quali,” vol. 6, no. 1, pp. 1–6, 2010.
- [6]. Sds S. J. Sokop, D. J. Mamahit, M. Eng, S. R. U. A. Sompie,) Mahasiswa, and) Pembimbing, “Trainer Periferal Antarmuka Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno,” *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 5, no. 3, p. 14, 2016.
- [7]. E. E. Barus, R. K. Pingak, and A. C. Louk, “OTOMATISASI SISTEM KONTROL pH DAN INFORMASI SUHU PADA AKUARIUM MENGGUNAKAN ARDUINO UNO DAN RASPBERRY PI 3,” *J. Fis. Sains dan Apl.*, vol. 3, no. 2, pp. 117–125, 2018, doi: 10.35508/fisa.v3i2.612.
- [8]. G. C. Putri, P. Yushananta, P. Kesehatan, K. Tanjungkarang, and B. Lampung, “RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING KEKERUHAN DAN TDS BERBASIS INTERNET OF THINGS PROTOTYPE OF TURBIDITY AND TDS MONITORING SYSTEM BASED,” vol. 18, no. 4, 2022, doi: 10.19184/ikesma.v.
- [9]. A. D. Pangestu, F. Ardianto, and B. Alfaresi, “Sistem Monitoring Beban Listrik Berbasis Arduino Nodemcu Esp8266,” *J. Ampere*, vol. 4, no. 1, p. 187, 2019, doi: 10.31851/ampere.v4i1.2745.
- [10]. J. M. S. Waworundeng and O. Lengkong, “Sistem Monitoring dan Notifikasi Kualitas Udara dalam Ruangan dengan Platform IoT,” *CogITo Smart J.*, vol. 4, no. 1, pp. 94–103, 2018, doi: 10.31154/cogito.v4i1.105.94- 103.
- [11]. Bhawiyuga, A., & Yahya, W. (2019). Sistem monitoring kualitas air kolam budidaya menggunakan jaringan sensor nirkabel berbasis protokol lora. *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 6(1), 99-106.
- [12]. Prayoga, S. A., Nugroho, I. W., & Nugraha, A. S. (2021). ARASI: Alat Monitoring Kualitas Air Berbasis IoT sebagai Parameter Air yang Layak Digunakan pada Kolam Ikan Gurami Kelompok Mina Langgeng di Dusun Greges, Desa Donotirto, Kretek, Kab. Bantul, DIY.
- [13]. <https://www.libelium.com/iot-products/libelium-one/>

Solar Tracking Sistem Berbasis Internet of Things

Solar Tracking System Based on Internet of Things

Margiono¹, Burhannudin Yusuf Habibie², Setyo Supratno³, Sugeng⁴

¹Program Studi Teknik Elektro, Universitas Islam 45 Bekasi, Jl. Cut Meutia No.83
Bekasi Timur, Kota Bekasi, 17113

Margiono233@gmail.com¹, burhannudinyusufhabibie@gmail.com², setyo@unismabekasi.ac.id³,
sugeng@unismabekasi.ac.id⁴

Abstrak – Listrik pada saat ini termasuk kebutuhan primer bagi setiap manusia. Selain itu listrik juga memiliki peran dalam berbagai bidang seperti pembangunan, kesehatan dan teknologi. Kebutuhan masyarakat Indonesia akan energi listrik saat ini semakin tinggi, hal ini seiring dengan penambahan jumlah penduduk dan juga kemajuan teknologi. Pemanfaatan sinar matahari yang bisa dirubah dari energi matahari menjadi listrik menggunakan panel surya, benda yang menempel pada panel surya bersifat tetap atau Fixed. Akibatnya cahaya surya yang diterima kurang optimal. Hal ini disebabkan karena saat matahari terbit, posisi panel tidak tegak lurus terhadap sinar matahari. Panel matahari perlu digerakkan. Penelitian ini dilakukan untuk menciptakan sebuah alat yang dapat mengikuti arah datangnya sinar matahari sekaligus dapat memonitoring output tegangan dan arus pada panel surya secara mudah. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu perancangan alat, perakitan alat dan pengujian alat. Hasil dari penelitian ini, telah berhasil dirancang alat solar Tracking berbasis internet of things. Kesimpulan dalam penelitian ini adalah alat ini bekerja berdasarkan energi matahari. Sensor LDR digunakan sebagai pendeteksi datangnya sinar matahari. Alat ini dapat bekerja dengan mengikuti pergerakan sinar matahari. Komponen mekanik alat ini menggunakan motor servo sebagai penggerak. Pengujian pada motor servo memiliki rentang 1-6 derajat dengan posisi datangnya cahaya. NodeMCU pada alat ini bekerja dengan sangat baik dalam mengirimkan data menuju ThingSpeak. Kemudian pengujian solar Tracking mendapatkan nilai efisiensi sebesar 0,89%.

Kata Kunci: State Machine, Sistem Kontrol, Lab View.

Abstract – Electricity at this time includes a primary need for every human being. In addition, electricity also has a role in various fields such as development, health, and technology. The need for the Indonesian people for electrical energy is currently getting higher, this is in line with the increase in population and also technological advances. Utilization of sunlight that can be converted from solar energy into electricity using solar panels, objects attached to solar panels are fixed or Fixed. As a result, the sunlight received is less than optimal. This is because when the sun rises, the position of the panel is not perpendicular to the sun. The solar panels need to be moved. This research was conducted to create a tool that can follow the direction of the sun's rays while also being able to easily monitor the output voltage and current on a solar panel. The methods used in this research are tool design, tool assembly and tool testing. The results of this study, have successfully designed a solar tracking tool based on the internet of things. The conclusion in this study is that this tool works based on solar energy. The LDR sensor is used as a detector for the arrival of sunlight. This tool can work by following the movement of sunlight. The mechanical component of this tool uses a servo motor as the driving force. Testing on the servo motor has a range of 1-6 degrees with the position of the light. NodeMCU on this tool works very well in sending data to ThingSpeak. Then the solar tracking test gets an efficiency value of 0.89%.

Keywords: Solar Tracking, Servo Motors, NodeMCU, ThingSpeak

1. Pendahuluan

Listrik kini merupakan kebutuhan utama bagi semua individu, dan juga memainkan peran penting dalam berbagai sektor seperti pembangunan, kesehatan, dan teknologi. Permintaan akan pasokan listrik di Indonesia terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dan kemajuan teknologi. Salah satu cara untuk memenuhi kebutuhan listrik adalah dengan menggunakan sumber energi terbarukan atau alternatif, seperti mengkonversi energi matahari menjadi listrik melalui sel surya, yang sering disebut sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Sumber energi alternatif ini berasal dari sinar matahari, yang merupakan sumber energi terbesar di Bumi dan ramah lingkungan.[1],[2].

Pemanfaatan potensi melimpahnya energi matahari di Indonesia adalah suatu keharusan untuk mendukung proyek elektrifikasi dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil yang akan semakin langka seiring berjalannya waktu. Sebagai solusi pengganti energi fosil, energi terbarukan yang bersumber dari matahari menjadi opsi yang sangat menjanjikan. Pada masa sekarang, listrik telah menjadi suatu kebutuhan esensial bagi masyarakat Indonesia[3]. Dikarenakan Indonesia berada di iklim tropis dengan tingkat sinar matahari yang tinggi, ini menciptakan peluang besar untuk menghasilkan energi dengan potensi yang besar, mencapai isolasi harian rata-rata sekitar 4,5 hingga 4,8 KWh/m² / hari[4]. Aspek ekonomi memainkan peran yang signifikan dalam mempengaruhi minat masyarakat dalam mengadopsi sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) [5]. Penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dianggap sebagai teknologi yang ramah lingkungan karena tidak menghasilkan polusi seperti yang terjadi pada pembangkit listrik berbahan bakar fosil [6]. Sinar matahari dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik melalui penggunaan panel surya, yang terdiri dari sekumpulan sel surya yang berperan mengonversi energi dari matahari menjadi energi listrik. Pemanfaatan energi surya sebagai sumber listrik dapat dicapai dengan menggunakan panel fotovoltaik atau dengan mengkonsentrasikan sinar matahari.[7]. Sebagai contoh, penggunaan sehari-hari dari panel surya mencakup penggunaannya untuk mengaktifkan lampu jalan, penerangan taman, lampu lalu lintas, dan sejenisnya. Namun, perlu diingat bahwa kelemahan penggunaan panel surya sebagai sumber energi terbarukan sering kali terletak pada penggunaan sistem yang bersifat statis atau konvensional. Dalam sistem tersebut, objek-objek yang terpasang pada panel surya bersifat tetap atau tidak dapat bergerak. [8]. Hal ini mengakibatkan penangkapan sinar matahari yang kurang efisien. Untuk memaksimalkan penggunaan energi matahari, perlu ada sistem yang memungkinkan panel surya selalu menghadap ke arah matahari, sehingga semakin banyak sinar matahari yang diterima oleh panel surya, semakin besar produksi daya listrik yang dihasilkan. Sebelumnya, penelitian telah menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan dalam hasil keluaran tegangan dan arus antara panel surya yang menggunakan sistem pelacakan matahari (solar tracking) dan yang tidak, dengan pengukuran masih dilakukan secara manual.

Untuk dapat memantau hasil keluaran tegangan dan arus yang diperlukan oleh panel surya, diperlukan penerapan teknologi Internet of Things (IoT). Teknologi ini telah banyak digunakan dalam berbagai penelitian sebelumnya dengan tujuan mempermudah kebutuhan manusia, termasuk pemantauan tangki. Dalam sebuah penelitian, peneliti merancang sistem pemantauan tangki di SPBU dengan memanfaatkan komponen seperti ESP8266, sensor aliran, dan sensor ultrasonik. Aplikasi antarmuka yang digunakan dalam sistem ini adalah Virtuino dan ThingSpeak, yang memiliki kemampuan untuk memberikan informasi secara waktu nyata kepada pengguna, memungkinkan pemantauan yang terus menerus tanpa perlu melakukan pemeriksaan langsung di lapangan. [10].

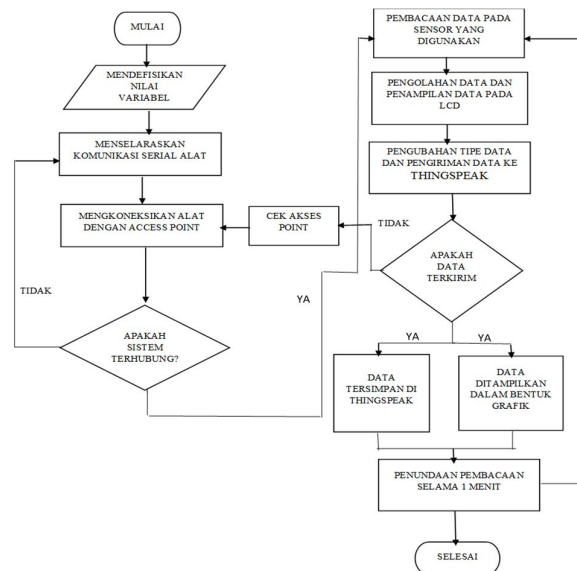
Pada penelitian ini mencoba untuk menciptakan sebuah alat yang dapat memonitoring *output* tegangan dan arus pada panel surya secara mudah. Oleh karena itu maka dibutuhkan alat yang dapat mengumpulkan dan mengirimkan data dari solar panel menuju ke internet. Berdasarkan kebutuhan tersebut maka penulis menciptakan *Solar Tracking* Sistem berbasis *Internet of things*.

2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini, Objek yang akan diteliti berfokus pada panel surya. Dari objek penelitian yang akan diuji nantinya dilakukan beberapa penambahan komponen pada panel surya diantaranya sensor *LDR* untuk mendeteksi cahaya, sensor *INA 219* untuk membaca tegangan dan arus. Lalu *Board* arduino dan *ESP* ditambahkan untuk mengolah dan mengirimkan data menuju server *ThingSpeak* kemudian *LCD 20x4 I2C* digunakan untuk menampilkan tegangan beban dari panel surya dimana hasil yg ditampilkan pada *LCD* nilainya sama seperti tampilan yang ada pada server.

2.1. Perancangan Software

Perancangan ini bertujuan untuk mengumpulkan data, menyimpan data dan mengirimkan data menuju *database* supaya dapat diakses oleh pengguna atau User.



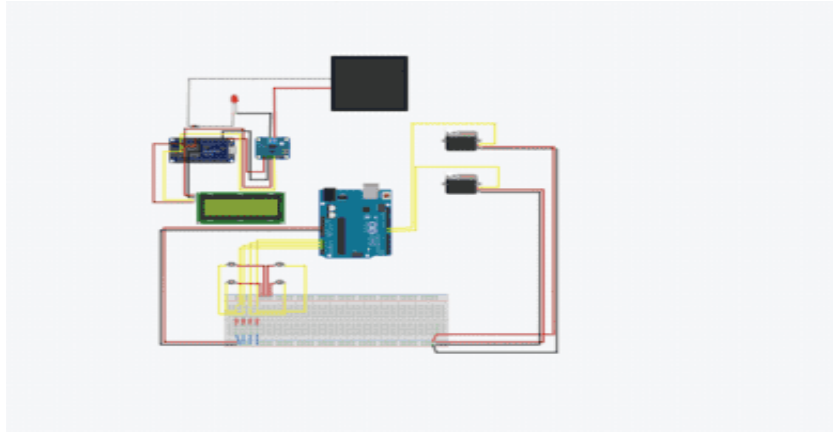
Gambar 1. Flowchart Perancangan Software

Pada gambar 1 menunjukan flowchart, terdapat flowchart monitoring arus, tegangan, dan daya pada panel surya menggunakan teknologi IoT. Dalam alur ini NodeMcu berfungsi sebagai Board yang akan mengolah dan mengirim data menuju server ThingSpeak. Dimana proses pembacaan sensor tegangan dan arus (INA219) yang telah diolah datanya oleh NodeMCU akan diteruskan datanya menuju server ThingSpeak. Dimana pada dashboard ThingSpeak hasil baca sensor disajikan dalam bentuk grafik dan dapat diakses oleh pengguna (user). Dapat dijelaskan pada gambar 1 setelah menentukan nilai variabel pada NodeMCU selanjutnya dilakukan penyesuaian terhadap wireless yang akan digunakan oleh NodeMCU untuk kemudian NodeMCU akan dihubungkan menuju thingspeak dengan kode akses point, setelah sistem terhubung data sensor akan terbaca dan diolah untuk kemudian ditampilkan datanya pada LCD dan akan dikirim menuju thingspeak, apabila data telah sukses terkirim menuju thingspeak maka data akan tersimpan didalam thingspeak dan penyajian data akan ditampilkan dalam bentuk grafik.

2.2. Perakitan Alat

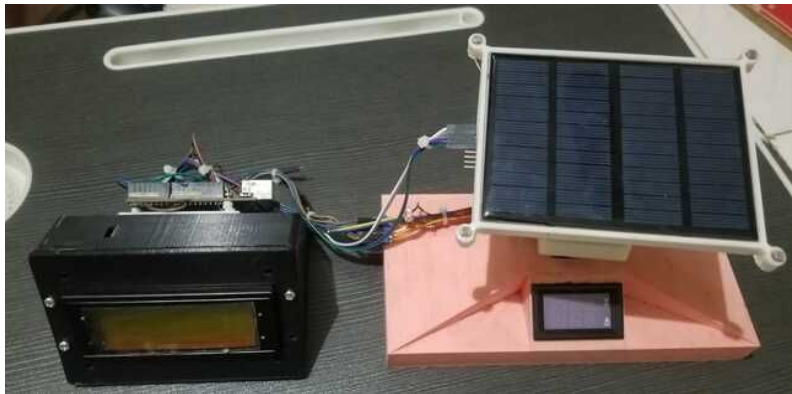
Pada penelitian ini perakitan untuk perangkat keras solar Tracking dilakukan pemasangan 4 buah sensor *LDR* pada panel surya . Cahaya yang diterima sensor *LDR* akan diolah datanya oleh arduino, Sudut dengan nilai baca sensor terbesar dapat diasumsikan sebagai sudut arah datangnya matahari. Sehingga servo pada solar Tracking akan bergerak menuju sudut tersebut. Komponen yang disusun dalam rangkaian elektronik sebagaimana skema rangkaian pada gambar 3 yang

terdiri dari Sensor *LDR*, Sensor *INA 219*, *Arduino uno*, *NodeMCU ESP 8266*, *Motor Servo* Dan *LCD I2C 20x4*. Tampilan schematic *solar Tracking* sistem berbasis *internet of things* ditampilkan pada gambar 2.



Gambar 2 Schematic *Solar Tracking*

Hasil realisasi alat berdasarkan rancangan *hardware* pada gambar 2 diatas dapat dilihat pada gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3 *Solar Tracking*

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Pengujian Sudut

Pengujian awal *solar Tracking* ialah dengan membandingkan keakuratan posisi servo terhadap posisi sudut datangnya cahaya, pengujian ini dilakukan dengan mengukur sudut vertikal dari *solar Tracking* dan dengan menggunakan busur dan Pengujian sudut *solar Tracking* disajikan pada tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1 Perbandingan sudut.

Sudut Datangnya cahaya (Derajat)	Sudut Vertikal <i>Solar Tracking</i> (Derajat)	Akurasi
50	53	3
65	69	4
79	81	2
96	95	1
111	109	2
125	122	3
140	134	6
155	150	5

3.2. Perbandingan Output Tegangan dan Arus Pada Solar Panel

Langkah selanjutnya adalah menguji perbandingan hasil *output* tegangan dan arus antara solar panel yang menggunakan *solar Tracking* dengan solar panel yang tidak menggunakan *solar Tracking*. Pengukuran ini dilakukan guna mengetahui efisiensi *solar Tracking*. Hasil perbandingan tersebut dapat dilihat pada tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2 Perbandingan *output*.

Waktu	(Mili Volt)		(Mili Ampere)		(Mili Watt)	
	<i>Tracking</i>	<i>Fixed</i>	<i>Tracking</i>	<i>Fixed</i>	<i>Tracking</i>	<i>Fixed</i>
08,00	0,83	0,80	34,40	20,40	28,55	16,32
09,00	0,81	0,78	83,50	70,10	67,63	54,67
10,00	0,84	0,82	103,3	101	86,77	82,82
11,00	0,94	0,90	107,8	105,7	101,3	95,13
12,00	0,98	0,89	113,3	108,6	111,0	96,65
13,00	0,87	0,86	121,1	115	105,3	98,90
14,00	0,82	0,84	103,7	107,7	85,03	90,46
15,00	0,80	0,82	29,7	28,4	23,76	23,28
	Rata-Rata				76,61	69,77

Berdasarkan hasil pengukuran yang telah dilakukan didapatkan nilai rata-rata daya panel surya menggunakan *solar Tracking* adalah sebesar 76,61 mW . sedangkan rata-rata daya panel surya yang tidak menggunakan *solar Tracking* adalah sebesar 69,77 mW. Dari hasil pengukuran rata-rata *output* daya listrik pada tabel diatas, maka sistem yang paling optimal mendapatkan *output* daya adalah dengan menggunakan *solar Tracking*. Dimana terdapat perbandingan hasil

nilai rata-rata sebesar 6,84 mW. Jika perolehan rata-rata daya yang dihasilkan dengan menggunakan *solar Tracking* sebesar 76,61 mW, maka dapat dihitung persentase daya yang dihasilkan menggunakan *solar Tracking* menggunakan persamaan berikut:

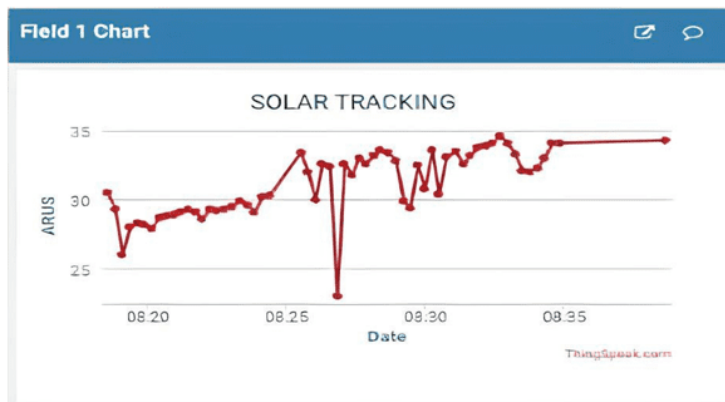
$$\frac{\bar{x} \text{ Menggunakan Solar Tracking} - \bar{x} \text{ Tidak Menggunakan Solar Tracking}}{\text{Menggunakan Solar Tracking}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\frac{6,84}{76,61} \times 100\% = 0,89\%$$

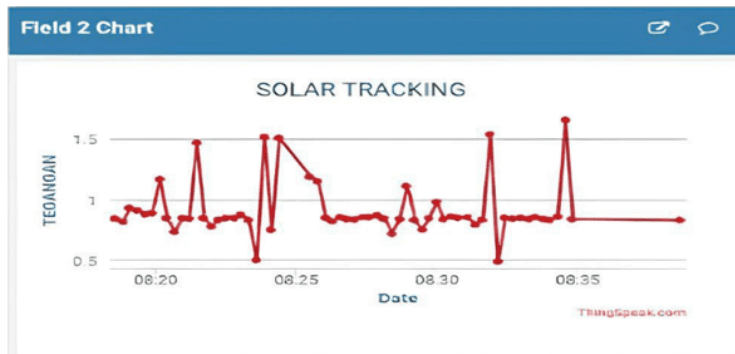
Berdasarkan hasil perhitungan dari persamaan 1, maka daya yang dihasilkan panel surya menggunakan *solar Tracking* sistem berbasis *internet of things* pada panel surya ini adalah sebesar 76,61 mW. Nilai efisiensi ini menunjukkan bahwa penggunaan *Solar Tracking* sudah memberikan keuntungan sebesar 0,89%. Tetapi walaupun daya rata-rata yang dihasilkan lebih besar daya keluaran sel surya tidak dapat digunakan secara langsung sebagai suplai *solar Tracking*. Hal ini dikarenakan pada saat-saat tertentu kebutuhan daya sistem *solar Tracking* lebih besar daripada nilai daya yang dihasilkan oleh sel surya.

3.3. Pengujian Performa Pengiriman Data Menuju Database ThingSpeak

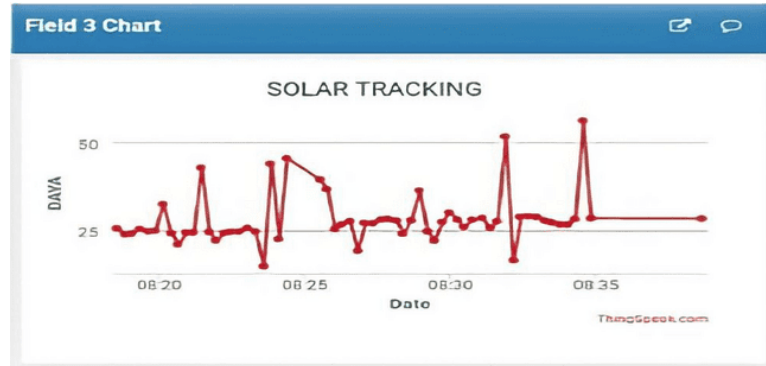
Sistem *monitoring* berbasis IoT pada *solar Tracking* menggunakan ThingSpeak sebagai platform IoT, dimana NodeMCU mengirimkan data dari sensor menuju ThingSpeak untuk disimpan kedalam *database*. *Database* akan mencatatkan waktu dari banyaknya fitur yang terdapat pada platform ThingSpeak maka untuk basis data sistem pemantauan menggunakan visualisasi data dengan grafik yang menampilkan *output* tegangan dan daya pada solar tracking.



Gambar 4 Grafik output arus pada ThingSpeak.



Gambar 5 Grafik output tegangan pada ThingSpeak.



Gambar 7 Grafik output daya pada ThingSpeak

Berdasarkan gambar diatas dapat dijelaskan bahwa tampilan grafik yang disajikan pada menu *Dashboard ThingSpeak* berupa grafik yang berisi keterangan waktu pengambilan data dan besaran angka *output* tegangan dan arus yang dihasilkan *solar* panel.

Pada pengujian ini data yang dikirim menyesuaikan output dari *solar* panel yang dibaca oleh sensor, kemudian data disimpan oleh *database ThingSpeak* dan *dashBoard* akan menampilkan grafik sesuai parameter pengukuran yang telah ditentukan.

3.4. Pembahasan

Pada pengujian yang telah dilakukan pada servo, hasil pengukuran pada tabel 1 menunjukkan bahwa selisih yang didapatkan antara pengukuran datangnya cahaya yang diukur menggunakan busur dengan pengukuran sudut servo memakai serial monitor hasilnya tidak berbeda jauh, rentang selisih perbandingan sudut antara 1-6. Pengujian sudut dilakukan antara sudut 50 derajat sampai 150 derajat serta keluaran tegangan dan arus dari solar panel yang diuji baik pada posisi tetap dan menggunakan *solar Tracking*. Hasil pengukuran pada tabel 2 berdasarkan pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa *output* panel surya yang menggunakan *solar Tracking* lebih besar. Penggunaan *solar Tracking* pada solar panel memberikan *output* daya lebih besar 6,84 mW dibandingkan solar panel yang diletakan pada posisi tetap.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dengan melakukan beberapa tahapan pengujian yang merujuk pada rumusan masalah, pembacaan sudut servo terhadap sudut datangnya sinar cahaya didapatkan hasil yang cukup baik, selisih perbandingan yang didapatkan tidak terlalu jauh yaitu rentang 1-6 derajat, sehingga *solar Tracking* dapat menerima cahaya dengan optimal. *Solar Tracking* dalam penelitian ini telah berhasil mendapatkan nilai tegangan dan arus lebih besar pada panel surya dibandingkan dengan panel surya tetap. Dari hasil pengukuran rata-rata *output* daya yang paling optimal adalah panel surya dengan menggunakan *solar tracking* persentase efisiensi yang didapatkan *solar Tracking* sebesar 0,89 %. Pengiriman data menuju *database ThingSpeak* dari hasil pengujian, *monitoring* dapat bekerja dengan baik dalam menampilkan nilai parameter berupa grafik pada *DashBoard ThingSpeak*.

Referensi

- [1] B. Winardi, A. Nugroho, and E. Dolphina, "Perencanaan Dan Analisis Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpusat Untuk Desa Mandiri," *Jurnal Tekno*, vol. 16, no. 2, pp. 1–11, 2019, doi: 10.33557/jtekno.v16i1.603.
- [2] D. Hadidjaja, "Peningkatan efisiensi biaya listrik angkringan dengan plts ramah lingkungan," vol. 6, pp. 1844–1852, 2023.

- [3] M. T. Setiawan, I. Winarno, and B. Y. Dewantara, "Implementasi Internet Of Things Dalam Rancang Bangun Sistem Monitoring Pada Solar Cell Berbasis Web," *JEECOM Journal of Electrical Engineering and Computer*, vol. 3, no. 1, pp. 34–38, 2021, doi: 10.33650/jeeecom.v3i1.1981.
- [4] A. Rahayuningtyas, "Studi Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Skala Rumah Sederhana Di Daerah Pedesaan Sebagai Pembangkit Listrik Alternatif Untuk Mendukung Program Ramah Lingkungan Dan Energi Terbarukan," *Prosiding ANaPP Sains, Teknologi, dan Kesehatan*, pp. 223–230, 2014.
- [5] M. Frastuti and Royda, "Faktor Ekonomi yang Mempengaruhi Minat Konsumen Untuk Menggunakan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap di Kota Palembang," *BISEI: Jurnal Bisnis dan Ekonomi Islam*, vol. 5, no. 02, pp. 49–60, 2020, doi: 10.33752/bisei.v5i02.1122.
- [6] A. Fauzi, M. Facta, and S. Sudjadi, "Perencanaan Maximum Power Point Tracking (Mppt) Dengan Metode Perturb and Observe Pada Panel Surya," *Transient*, vol. 7, no. 4, p. 918, 2019, doi: 10.14710/transient.7.4.918-924.
- [7] A. S. Syahab, H. C. Romadhon, and M. L. Hakim, "Rancang Bangun Solar Tracker Otomatis Pada Pengisian Energi Panel Surya Bebas Internet of Things," *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*, vol. 6, no. 2, pp. 21–29, 2019, doi: 10.36754/jmkg.v6i2.120.
- [8] M. Asri and Serwin, "Rancang Bangun Solar Tracking System Untuk Optimalisasi Output Daya Pada Panel Surya," *Jurnal INSTEK*, vol. 4, no. 1, pp. 11–19, 2019.
- [9] K. W. Fauzi, T. Arfianto, and N. Taryana, "Perancangan dan Realisasi Solar Tracking System untuk Peningkatan Efisiensi Panel Surya Menggunakan Arduino Uno," *TELKA*, vol. 4, no. 1, pp. 64–75, 2018.
- [10] E. Sorongan, Q. Hidayati, and K. Priyono, "ThingSpeak sebagai Sistem Monitoring Tangki SPBU Berbasis Internet of Things," *JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa)*, vol. 3, no. 2, p. 219, 2018, doi: 10.31544/jtera.v3.i2.2018.219-224.

**Pengujian Minyak Transformator Dengan Uji Tegangan Tembus Pada
Main Transformator GT 1.2 PT PLN Indonesia Power Cilegon PGU**

*Transformer Oil Testing With Breakdown Voltage Test On Main
Transformer GT 1.2 PT PLN Indonesia Cilegon PGU*

Nurmiati Pasra(*)¹, Dindaryana Firmansyah², Kartika Tresya Mauriraya³, Alex Fernandes⁴

^{1,2,3}Prodi Teknologi Listrik, Fakultas Ketenaga Listrikan dan Energi Terbarukan.

⁴Prodi Teknik Elektro, Fakultas Ketenaga Listrikan dan Energi Terbarukan.

Jln. Lingkar Luar Barat, Duri Kosambi, Jakarta Barat

Institut Teknologi PLN

nurmiati@itpln.ac.id, dindaryanafs05@gmail.com, kartika@itpln.ac.id, alex.fernandes@itpln.ac.id

Abstrak – Permasalahan gangguan pada pendistribusian tenaga listrik, sering terjadi gangguan khususnya pada transformator. Transformator beroperasi terus menerus, sehingga sering terjadi kegagalan isolasi pada minyak transformator, yang disebabkan penurunan nilai tegangan tembus. Kegagalan isolasi dapat menyebabkan penurunan kekuatan dielektrik, tegangan lebih atau penuaan isolasi. Pengujian dilakukan sebelum pelaksanaan pemeliharaan, pengujian dengan menggunakan alat uji Oil Tester untuk menguji tegangan tembus. Berdasarkan standar IEC 60296 dan IEC 60411, nilai tegangan tembus > 40 kV / 2,5 mm. Makin besar nilai tegangan tembus maka minyak transformator makin bagus dan makin layak digunakan. Pengujian nilai tegangan tembus, didapatkan nilai rata-rata tegangan tembus pada posisi pengujian transformator pada main tank top sebesar 80,2 kV/2,5 mm, main tank bottom sebesar 80,2 kV/2,5 mm dan tap changer sebesar 80,1 kV/2,5 mm. Pada saat nilai tegangan tembus < 40 kV / 2,5 mm, diperlukan pemeliharaan menyeluruh baik pada pengecekan atau perawatan. Pada saat tegangan tembus dibawa standar, dapat menyebabkan isolator tidak sanggup menghadapi tekanan diantara elektroda sehingga isolator berubah menjadi konduktor.

Kata kunci: Transformator, minyak transformator, tegangan tembus

Abstract – The problem of interference in the distribution of electric power, there are often disturbances, especially in transformers. The transformer operates continuously, so there is often an insulation failure in the transformer oil, which is caused by a decrease in the value of the breakdown voltage. Failure of insulation can lead to decreased dielectric strength, overvoltage or aging of insulation. Testing is carried out before maintenance, testing using Oil Tester test equipment to test the breakdown stress. Based on IEC 60296 and IEC 60411 standards, the breakdown voltage value > 40 kV/2,5 mm. The greater the value of the penetrating voltage, the better the transformer oil and the more feasible it is to use. Testing the penetrating value, the average value of the penetrating voltage at the transformer test position on the main tank top was 80,2 kV/2,5 mm, the main tank bottom was 80,2 kV/2,5 mm and the tap changer was 80,1 kV/2,5 mm. When the breakdown voltage value < 40 kV / 2,5 mm, thorough maintenance is required either on checking or maintenance. When the breakdown voltage is brought to standard, it can cause the insulator to be unable to face the pressure between the electrodes so that the insulator turns into a conductor.

Keywords: Transformer, transformer oil, breakdown voltage

1. Pendahuluan

Umur sebuah transformator menandakan kualitas sebuah transformator dapat bekerja dengan tingkat efisiensi yang baik, umur transformator merupakan kemampuan kinerja transformator dalam beroperasi. Dalam mengatasi sisa umur pada transformator, harus memperhatikan hal-hal



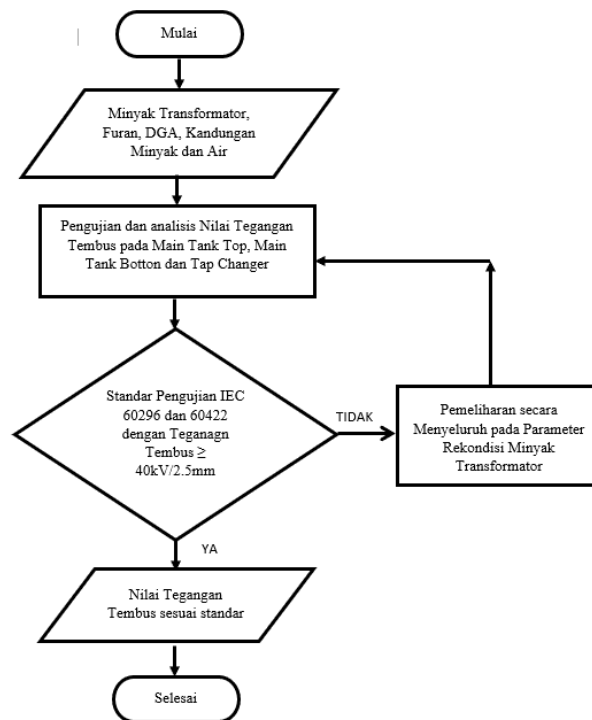
apa saja yang mempengaruhi sisa umur transformator berkurang. Analisa pengaruh pembebanan terhadap pengurangan umur pada transformator, dipengaruhi pada besar laju penuaan thermal terhadap temperatur panas [2-4, 8].

Pada pendistribusi tenaga listrik, sering terjadi gangguan, salah satunya pada transformator dimana transformator ini beroperasi secara terus menerus dengan beban yang semakin meningkat. Kegagalan pada transformator sering terjadi pada kegagalan isolasi minyak transformator, yang diakibatkannya oleh penurunan tegangan tembus. Pada isolasi minyak transformator harus mempunyai kemampuan / kapasitas dalam menghadapi tegangan tembus pada pendinginan minyak transformator dan meredam panas yang dihasilkan. Dapat dikatakan minyak transformator sanggup melakukan perlindungan terhadap transformator dari kerusakan-kerusakan. Minyak transformator adalah isolasi cair yang digunakan sebagai isolasi pendingin pada transformator, harus meningkatkan nilai tegangan tembus agar semakin baik pada kualitas isolasinya. Besaran kandungan air yang terlalu tinggi dapat menurunkan tegangan tembus dan mengganggu isolasi kertas transformator. Hal yang bisa ditimbulkan, dapat mempengaruhi perubahan warna minyak pada transformator tersebut. Dengan melakukan pemeliharaan yang baik dan terjadwal, dapat mengatasi masalah umur transformator. Pelaksanaan pemeliharaan pada minyak transformator, agar dapat mengetahui kelayakan minyak pada transformator [1].

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PT PLN Indonesia Power Cilegon PGU pada transformator GT. 1.2. Pada penelitian ini, metode pengumpulan data dengan melakukan pengujian tegangan tembus dengan menggunakan alat *Oil Tester*, dengan posisi pengamatan pada transformator di bagian *main tank top, main tank bottom dan tap changer*. Hasil pengujian berdasarkan standar IEC 60296 dan IEC 60422 dengan nilai tegangan tembus > 40 kV/2,5 mm [11].

2.1. Metode Pengujian Tegangan Tembus



Gambar 1. Alur Pengujian Tegangan Tembus

Urutan alur penelitian pengujian tegangan tembus dapat dilihat pada Gambar 1, peralatan yang digunakan pengujian yakni *oil tester* dapat dilihat pada Gambar 2 dan standar yang digunakan pada Tabel 1.



Gambar 2. Alat *Oil Tester* [11]

Tabel 1. Data Standar Minyak Transformator
Batasan Nilai Tegangan Tembus berdasarkan standar IEC 60296 dan IEC 60422 [11]

Minyak Baru Setelah Dimasukkan Dalam Transformator Baru		
< 72.5 kV	72 - 170 kV	>170 kV
Min. 55 kV	Min. 60 kV	Min. 60 kV

Minyak Bekas			
	< 72.5 kV	72.5 - 170 kV	> 170 kV
Good	> 40 kV	> 50 kV	> 60 kV
Fair	30 - 40 kV	40 - 50 kV	50 - 60 kV
Poor	< 30 kV	< 40 kV	< 50 kV

2.2. Metode Analisa Data

2.2.1. Perhitungan Tegangan Tembus

Melakukan perhitungan tegangan tembus berdasarkan pengujian minyak transformator untuk melihat kondisi minyak transformator dalam keadaan baik dan dapat beroperasi, sebagai berikut:

$$v_b \text{ rata-rata} = \frac{U_i}{N} \tag{1}$$

Keterangan :

v_b = Nilai Tegangan Tembus rata-rata (kV/2,5 mm)

U_i = Nilai Tegangan Tembus (kV)

N = Banyaknya Pengujian

2.2.2. Perhitungan Kekuatan Dielektrik

Melakukan perhitungan kekuatan dielektrik, untuk mengetahui kemampuan suatu material untuk bisa menahan tegangan tinggi tanpa berakibat terjadinya kegagalan dielektrik.

$$E = \frac{v_s}{d} \tag{2}$$

Keterangan :

- E = Kekuatan Dielektrik (kV/mm)
- v_s = Tegangan tembusantara dua buah elektroda (kV)
- d = Jarak antara Elektroda (mm)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Pengujian Pada Minyak Transformator

Data hasil penelitian Penelitian ini dilakukan dengan melakukan pengujian langsung pada minyak transformator pada PT. PLN (Persero) Indonesia Power Cilegon PGU.

Tabel 2. Pengujian Tegangan Tembus pada Minyak Transformator

<i>Test</i>	<i>Main Tank TOP Oil (kV/2,5mm)</i>	<i>Main Tank BOTTOM Oil (kV/2,5mm)</i>	<i>Tap Changer Oil (kV/2,5mm)</i>
1	80,2	80,1	80,1
2	80,1	80,2	80,2
3	80,1	80,2	80,2
4	80,2	80,1	80,2
5	80,2	80,3	80,1
6	80,2	80,1	80,1

Pengujian suhu pada posisi pengujian pada *Main tank top*, *Main tank bottom* dan *Tap changer*, setelah dilakuakn pengujian selama 6 (enam) kali mendapatkan hasil yang sama, dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 3. Pengujian Suhu

Pengujian	Suhu (°C)		
	<i>Bottom</i>	<i>Top</i>	<i>Changer</i>
1 sd 6	33	33	45

3.2. Perhitungan Tegangan Tembus Pada Minyak Transformator

Berdasarkan data pada Tabel 2 dan Persamaan 1 maka dapat dilakukan perhitungan nilai tegangan tembus rata-rata pada posisi pengukuran di *Main tank top*, *Main tank bottom* dan *Tap changer* pada transformator, sedangkan dan Persamaan 2 digunakan untuk mengukur kekuatan dielektrik minyak transformator

Perhitungan pada posisi *Main tank top*. yakni

a. Nilai tegangan tembus rata-rata (Persamaan 1), yakni :

$$v_b \text{ rata-rata} = \frac{U_i}{N}$$

$$v_b \text{ rata-rata} = \frac{U_1 + U_2 + U_3 + U_4 + U_5 + U_6}{6}$$

$$v_b \text{ rata-rata} = \frac{80,2 + 80,1 + 80,1 + 80,2 + 80,2 + 80,2}{6}$$

$$v_b \text{ rata-rata} = \frac{481}{6} = 80,167 = 80,2 \text{ kV} / 2,5 \text{ mm}$$

b. Nilai kekuatan Dielektrik (Persamaan 2), yakni :

$$E = \frac{v_s}{d}$$

$$E = \frac{80,2 \text{ kV}}{2,5 \text{ mm}}$$

$$E = 32,08 \text{ kV}$$

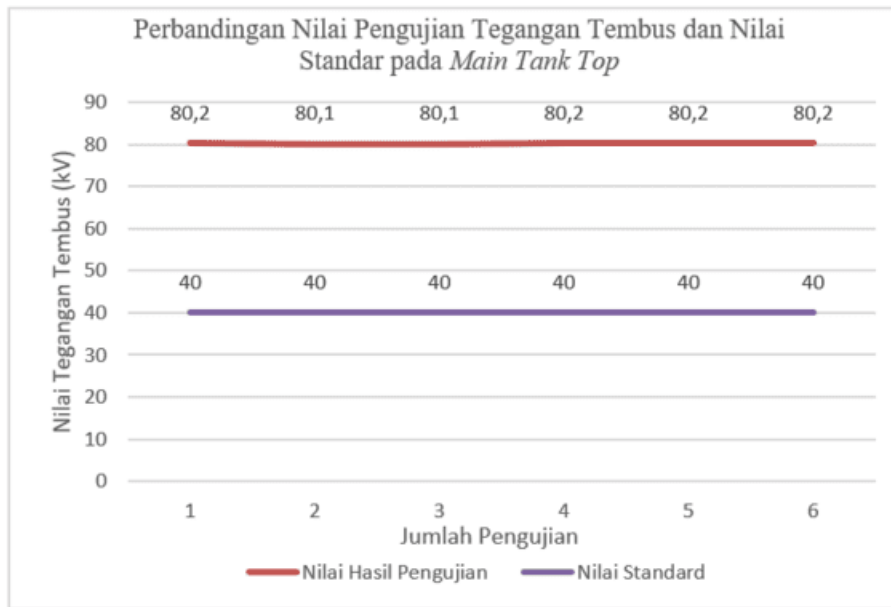
Tabel 4. Nilai Tegangan Tembus rata-rata dan Nilai Kekuatan Dielektrik

Posisi Pengujian pada Transformator	Tegangan Tembus Rata-Rata (kV/mm)	Kekuatan Dielektrik (kV/mm)
<i>Main Tank TOP</i>	80,2	32,08
<i>Main Tank Bottom</i>	80,2	32,08
<i>Tap Changer</i>	80,15	32,04
Rata-rata	80,167	32,065

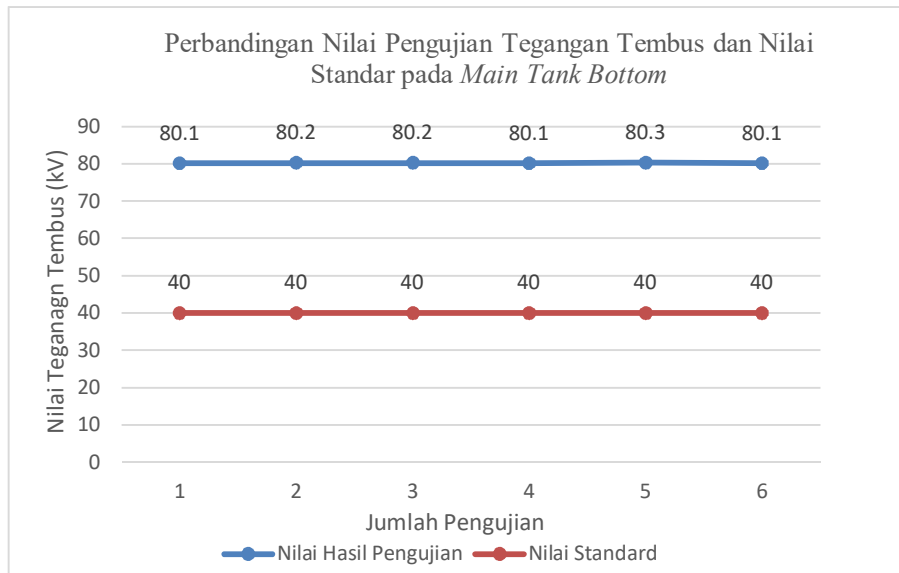
3.3. Analisis Pembahasan Pengujian Tegangan Tembus

Berdasarkan hasil pemeliharaan dengan melakukan pengujian tegangan tembus minyak transformator, posisi pengujian *main tank top*, *main tank bottom* dan *tap changer* pada transformator dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 4. Dimana dilakukan pengujian sebanyak 6 (enam) kali, nilai rata-rata tegangan tembus pengujian *main tank top* 80,167 kV/2,5 mm, *main tank bottom* 80,167 kV/2,5 mm dan *tap changer* 80,150 kV/2,5 mm. Hal ini menunjukkan bahwa nilai hasil pengujian memenuhi standar IEC 60296 dan IEC 60422 dengan nilai tegangan tembus > 40 kV/2,5 mm. Menunjukkan minyak transformator dalam keadaan baik dan transformator dapat beroperasi dengan normal dan baik.

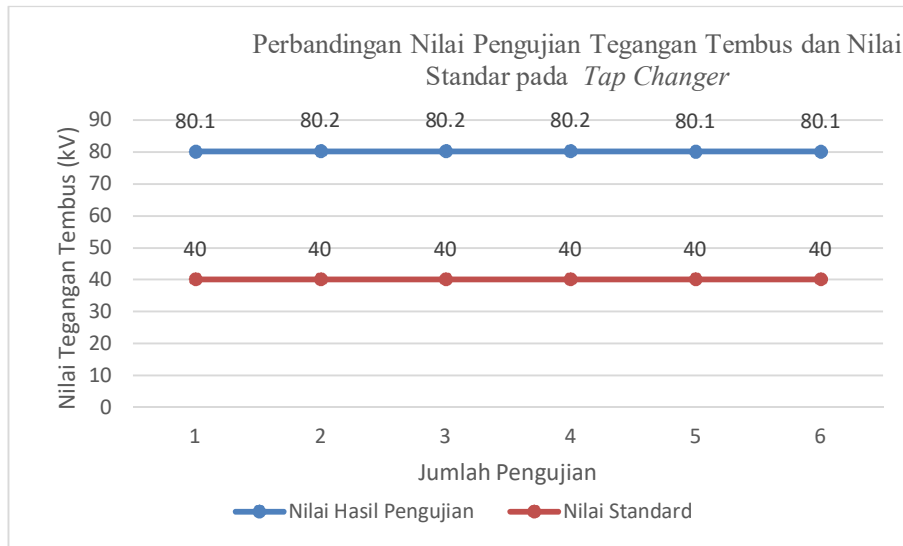
Hasil pengujian berdasarkan Tabel 2, dapat dilihat pada Gambar 3 pada posisi *Main tank top*, Gambar 4 pada *Main tank bottom* dan Gambar 5 pada *Tap changer*.



Gambar 3. Grafik Hasil Pengujian Tegangan Tembus Minyak Transformator pada Posisi Main Tank Top Transformator

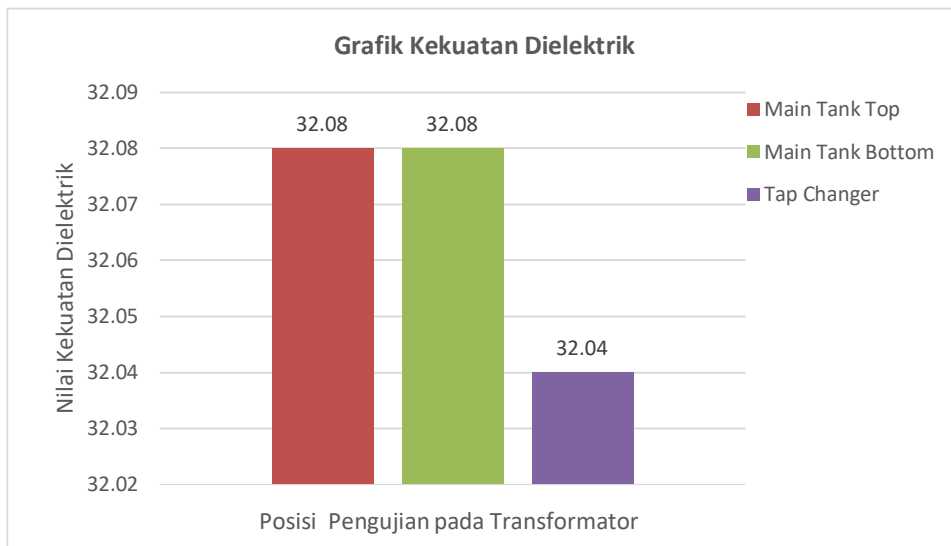


Gambar 4. Grafik Hasil Pengujian Tegangan Tembus Minyak Transformator pada Posisi Main Tank Bottom Transformator



Gambar 5. Grafik Hasil Pengujian Tegangan Tembus Minyak Transformator pada Posisi Tap Changer Transformator

Hasil perhitungan rata-rata tegangan tembus dan kekuatan dielektrik pada Tabel 4 dan pengukuran nilai suhu pada Tabel 3 serta perbandingan nilai kekuatan dielektro terhadap posisi pengujian pada Gambar 6, pada saat nilai tegangan tembus turun, akan berpengaruh turunnya suhu sekitar. Hal ini menyebabkan nilai kekuatan dielektrik juga turun, keadaan ini bisa mengakibatkan kemampuan untuk menahan tegangan tinggi turun yang berdampak bisa terjadi kegagalan dielektrik.



Gambar 6. Nilai Kekuatan Dielektrik terhadap posisi Pengujian pada Transformator

4. Kesimpulan

Pengujian tegangan tembus pada minyak transformator berdasarkan standar IEC 60296 dan ICE 60422 harus > 40 kV/2,5 mm. Pengujian pada posisi *Main tank top*, *Main*

tank bottom dan *Tap changer* pada transformator didapatkan nilai rata-rata tegangan tembus pada *Main tank top* sebesar 80,2 kV/2,5 mm, *Main tank bottom* sebesar 80,2 kV/2,5 mm dan *Tap changer* sebesar 80,1 kV/2,5 mm. Nilai tegangan tembus memenuhi standar IEC, kondisi minyak transformator masih dalam keadaan baik.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada PT (Persero) Indonesia Power Cilegon PGU dan Institut Teknologi PLN, yang telah memberi dukungan yang membantu pelaksanaan penelitian dan penulisan artikel ini dengan baik.

Referensi

- [1] Rosyidi. N, dkk, (2021), Pengujian Tegangan Tembus Pada Minyak Transformator, *Jurnal Sinusoida*, Vol. XXIII, No. 2, Desember 2021, Hal 20 sd 32, e-ISSN 2722 - 0222.
- [2] Nugroho. ,kk, (2019), Perhitungan Perkiraan Umur Transformator Akibat Pengaruh Pembebanan dan Suhu Lingkungan, *Jurnal Riset Rekayasa Elektro*, Vol. 1, No.1, Juni 2019, Hal. 11~16, P-ISSN: 2685 - 4341 E-ISSN: 2685 – 5313
- [3] Maruf, dkk, (2021), Analisis Pengaruh Pembebanan dan Temperatur Terhadap Susut Umur Transformator Tenaga 60 MVA Unit 1 dan 2 di GI 150 kV Kalisari, *Edu Elektriika Journal*, Vol. 10, No. 1, ,Januari – Juli 2021, ,E-ISSN 2723-5602
- [4] Dendi, dkk, (2021), Analisa Pengaruh Pembebanan Terhadap Susut Umur Transformator Daya 150 Kv Di PLTGU Keramasan Palembang, *Jurnal Teknik*, Vol. 9, No. 1, hal 28 – 42, E-ISSN : 2686-5416
- [5] Muttaqim, dkk, (2015), Analisis Pengaruh Pembebanan Dan Usia Pakai Terhadap Karakteristik dan Estimasi Litefime Minyak Isolasi Transformator,’, *Jurnal Transient*, Vol.4, No. 4, Desember 2015, hal 1064-1071, ISSN: 2302-9927
- [6] Sodilesmana, dkk, (2021), Analisis Pembebanan dan Ketidakseimbangan Beban pada Penentuan Susut Umur Transformator Distribusi, *Journal of Electronic and Electrical Power Application*
- [7] Gultom. dkk, (2022), Analisa Perkiraan Umur Transformator di Gardu Induk Paniki Berdasarkan Pengaruh Pembebanan, jurusan Teknik Elektron, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulagi
- [8] Azhar, dkk, 2019, Estimasi Umur Transformator Berdasarkan Pertumbuhan Beban dan Temperatur Lingkungan di Penyulang Bolo PLN Rayon Woha Kabupaten Bima, *Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri 2019*, hal 43 – 49, ISSN 2085-4218
- [9] Roza., dkk, (2019), Analisa Pengaruh Kenaikan Temperature dan Umur Minyak Transformator Terhadap Degredasi Tegangan Tembus Minyak Transformastor, *Jurnal JESCE*, Agustus 2019, Vol. 3, No 1, aal 1 – 12, E-ISSN 2549-6298 ISSN 2549-628X
- [10] 2022, *Buku Hasil Pemeliharaan pada PT PLN (Persero)* oleh Vendor HAR PT Sandika Kurnia Pratama

**Studi Eksperimental Tegangan Tembus Kertas Isolasi Transformator
Presspaper Pada Kondisi Perendaman**

*Experimental Study of Breakdown Voltage of Press Paper Insulation Paper
for Transformers under Immersion Conditions*

Samsurizal¹, Andi Makkulau², Rio Afrianda³, Finka Rizkina Sani⁴, Humaida⁵

^{1,2,3,4,5}Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi PLN

³Program Studi Teknologi Listrik, Institut Teknologi PLN

Jalan Lingkar Luar Barat, Duri Kosambi, Cengkareng, Jakarta. 11750

samsurizal@itpln.ac.id^{1*}, andi.mk@itpln.ac.id^{2*}, rio@itpln.ac.id^{3*}, finka1811079@itpln.ac.id^{4*},

Humaida2211121@itpln.ac.id^{5*},

Abstrak – Dalam proses penyaluran energi listrik memerlukan sebuah transformator. Transformator merupakan peralatan yang digunakan untuk mentransformasikan tegangan tanpa merubah frekuensi yang digunakan pada sistem pembangkit. Dalam transformator terdapat isolasi untuk melapisi kumparan pada transformator. Isolasi yang umum digunakan pada transformator adalah isolasi minyak dan isolasi kertas. Isolasi kertas bersifat lentur atau fleksibel dapat mengikuti bentuk yang diinginkan. Faktor penting yang harus diperhatikan pada suatu bahan isolasi adalah kekuatan dan daya tahannya. Berdasarkan hal tersebut perlu diuji apakah isolasi kertas tetap menjadi pilihan yang handal dan efisien untuk trafo listrik. Merendam isolasi dalam minyak juga digunakan pemantauan kualitas minyak. Pengujian minyak isolasi secara berkala dapat mengidentifikasi masalah potensial dalam transformator lebih awal sehingga tindakan perawatan dapat diambil. Dalam penelitian ini menggunakan metode kuantitatif komparasi dan regresi linier. Pengujian dilakukan dengan menggunakan kertas press dan memvariasikan ketebalan kertas dalam keadaan direndam minyak isolasi. Hasil dari pengujian kertas isolasi dengan ketebalan 1,04 mm pada keadaan direndam minyak menunjukkan nilai rata-rata breakdown voltage sebesar 23,82 kV, hal tersebut menandakan bahwa kertas isolasi dengan metode perendaman memiliki breakdown voltage lebih baik dibandingkan kertas isolasi dalam keadaan kering.

Kata Kunci: Kertas Press, Tegangan Tembus, Isolasi

Abstract – The process of distributing electrical energy requires a transformer. A transformer is a piece of equipment used to transform voltage without changing the frequency used in the power system. In a transformer, there is insulation to coat the coils on the transformer. The insulation commonly used in transformers is oil insulation and paper insulation. Paper insulation is pliable or flexible and can follow the desired shape. An important factor that must be considered in an insulating material is its strength and durability. Based on this, it is necessary to test whether paper insulation remains a reliable and efficient choice for electrical transformers. Soaking insulation in oil is also used for oil quality monitoring. Periodic insulation oil testing can identify potential problems in transformers early so that maintenance measures can be taken. This study uses quantitative methods of comparison and linear regression. The test is performed using press paper and varying the thickness of the paper in a state soaked in insulating oil. The results of testing insulation paper with a thickness of 1.04 mm in the oil-soaked state showed an average breakdown voltage value of 23.82 kV, indicating that insulation paper with the immersion method has a better breakdown voltage than insulation paper in a dry state.

Keywords: Presspaper, Breakdown Voltage, Insulation



1. Pendahuluan

Transformator dan peralatan tegangan tinggi lainnya memerlukan pemeliharaan rutin. Ini termasuk memeriksa kualitas isolasi, mendeteksi tanda-tanda kebocoran minyak atau kerusakan kertas, dan melakukan perbaikan jika diperlukan. Kertas isolasi transformator, seperti pressboard atau presspaper, adalah bahan isolasi yang sering digunakan dalam pembuatan transformator dan peralatan tegangan tinggi lainnya. Bahan ini memiliki sifat isolasi yang baik dan tahan terhadap panas, sehingga mereka digunakan untuk mengisolasi gulungan kumparan dan komponen inti dalam transformator [1]. Umumnya isolasi kertas digunakan pada peralatan listrik seperti transformator. Isolasi kertas memiliki karakteristik yang dapat mengikuti bentuk (fleksibel) yang dibutuhkan oleh produsen transformator. Isolasi kertas merupakan salah satu indikator penting dalam penentuan masa umur transformator. Karena isolasi kertas tidak dapat direkondisi ataupun direklamasi. Jika transformator dioperasikan pada suhu yang tinggi maka karakteristik dielektrik dan mekanik pada transformator akan menurun [2]. Hal tersebut dapat mempersingkat masa pakai transformator [3].

Kertas isolasi trafo merupakan jenis kertas khusus yang digunakan dalam produksi trafo untuk keperluan isolasi listrik. Kertas jenis ini mempunyai beberapa sifat penting sehingga sangat cocok digunakan sebagai bahan isolasi pada trafo. Beberapa fitur utama kertas isolasi transformator meliputi: Sifat isolasi: Kertas isolasi transformator memiliki sifat isolasi listrik yang sangat baik. Artinya, kertas jenis ini dapat mencegah arus melewatinya, yang penting untuk mencegah sambungan listrik antar bagian transformator yang berbeda. Tahan panas: Transformator dapat menghasilkan panas selama pengoperasian normal. Kertas insulasi transformator dirancang untuk tahan terhadap suhu tinggi dan dapat mempertahankan sifat insulasinya bahkan di lingkungan yang panas. Ketahanan terhadap minyak isolasi: Beberapa trafo diisi dengan minyak isolasi [4]. Kertas insulasi transformator harus mampu menahan minyak tersebut untuk menghindari perubahan sifat insulasi selama penggunaan [5]. Ketebalan dan kekuatan mekanik: Kertas insulasi transformator hadir dalam berbagai ketebalan dan kekuatan mekanik. Hal ini memungkinkan pemilihan kertas untuk memenuhi kebutuhan konverter tertentu, termasuk ketahanan terhadap tekanan mekanis selama perakitan dan pengoperasian. Ketahanan kelembaban: Kertas isolasi trafo juga harus tahan lembab [6]. Kelembapan dapat mengurangi sifat isolasi kertas. Oleh karena itu, penting untuk memilih jenis kertas yang sesuai dengan lingkungan pengoperasian trafo. Kemampuan Perendaman: Beberapa kertas insulasi transformator mungkin diresapi dengan isolator cair, seperti minyak, untuk meningkatkan ketahanan terhadap kelembapan dan sifat insulasi listrik [1]. Ini adalah langkah umum dalam pembuatan transformator. Pemilihan kertas insulasi trafo yang tepat sangat penting dalam perancangan dan pembuatan trafo. Itu harus sesuai dengan spesifikasi transformator spesifik dan lingkungan pengoperasiannya. Selain itu, pemeliharaan rutin trafo harus mencakup pengujian kertas insulasi untuk memastikan bahwa sifat insulasinya tetap terjaga seiring waktu. Jika ditemukan kerusakan atau penurunan kualitas, perbaikan atau penggantian mungkin diperlukan untuk menjaga kinerja dan keamanan transformator.

Isolasi yang umum digunakan pada transformator diantaranya adalah isolasi minyak dan isolasi kertas. Isolasi minyak yang sering digunakan adalah isolasi minyak jenis mineral. Karena isolasi minyak jenis mineral memiliki kinerja penyerapan serta kekuatan isolasi yang cukup baik. Isolasi kertas umumnya diaplikasikan sebagai lapisan gulungan kawat pada transformator. Faktor penting yang harus diperhatikan pada suatu bahan isolasi adalah kekuatan dan daya tahannya [7]. Salah satu pengujian yang digunakan untuk mengetahui kekuatan isolasi adalah pengujian breakdown voltage atau tegangan tembus. Breakdown voltage atau tegangan tembus merupakan suatu peristiwa dimana tegangan dinaikkan secara terus menerus, hingga atom-atom terionisasi sampai dengan batas kemampuan isolator untuk menahan tegangan [8].

Presspaper adalah kertas yang diproduksi berdasarkan selulosa murni yang diekstraksi dari pohon konifer berserat panjang. Kemudian dibentuk menjadi bahan non-anyaman tanpa

menggunakan bahan pengikat tambahan (tanpa bahan kimia) dan ditekan. Sifat material ini berada di kelas insulasi A (105°C) [9]. *Presspaper* mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap tegangan tembus. Pada transformator *Presspaper* diaplikasikan sebagai pembatas antara coil dengan core serta core dengan core [10]. Impregnasi isolasi kertas, impregnasi merupakan proses perendaman isolasi kertas ke dalam isolasi minyak dengan tujuan untuk meningkatkan kekuatan dielektrik pada transformator. Perendaman kertas isolasi ke dalam isolasi minyak dapat mengurangi efek kelembaban serta mengisi pori-pori kertas sehingga meningkatkan kekuatan dielektriknya. Semakin lama waktu operasi, maka keandalan transformator akan menurun serta resiko kegagalan akan semakin tinggi [11]. Keandalan operasional transformator ditentukan oleh sistem perendaman isolasi kertas ke dalam isolasi minyak. Proses impregnasi dilakukan dengan merendam isolasi kertas ke dalam isolasi minyak sehingga terbentuk ikatan adhesi diantara minyak dan kertas. Kekuatan ikatan bergantung pada kemampuan daya tarik partikel minyak dan kertas. Secara mikroskopis, pada isolasi kertas terdapat pori-pori (void). Melalui proses impregnasi, pori-pori (void) akan ditutupi dengan minyak sehingga meningkatkan nilai tegangan tembus pada isolasi kertas. Proses impregnasi bertujuan untuk mengurangi sifat hidroskopis pada kertas [12].

Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian kekuatan isolasi terhadap kertas isolasi transformator jenis *Presspaper* dengan variasi ketebalan dan dengan dua keadaan yang berbeda, yaitu keadaan kering serta keadaan direndam minyak isolasi. Kertas isolasi yang digunakan adalah jenis *presspaper* dimana kertas jenis ini memiliki kepadatan, kehalusan permukaan, kekuatan mekanik yang tinggi serta ketahanan terhadap tegangan tembus yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh ketebalan kertas isolasi terhadap tegangan tembus atau *breakdown voltage* pada keadaan kering dan keadaan direndam minyak isolasi transformator.

2. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, untuk mendapatkan data penelitian dengan menggunakan metode eksperimen dan observasi. Pada metode eksperimen, data penelitian diperoleh dari pengujian tegangan tembus atau *breakdown voltage* pada sampel-sampel kertas isolasi yang telah disiapkan. Selanjutnya dilakukan pengujian pada sampel-sampel kertas isolasi dengan variasi ketebalan kertas dan dengan dua keadaan kertas yang berbeda, yaitu keadaan kering dan keadaan direndam minyak isolasi. Untuk metode observasi yang dilakukan penulis adalah dengan mengamati pengujian tegangan tembus pada kertas isolasi, kemudian data hasil pengujian dicatat dan di plot ke dalam grafik. Pengujian yang dilakukan dalam upaya untuk memperoleh data pada penelitian ini adalah pengujian tegangan tembus (*breakdown voltage*). Pengujian *breakdown voltage* ini menggunakan alat BAUR *breakdown voltage tester* dengan kapasitas maksimal 100 kV. Elektroda yang digunakan dalam modul pengujian ini adalah elektroda mushroom sesuai dengan IEC 60156.



Gambar 1. BAUR breakdown voltage tester

Pada pengujian isolasi kertas ini menggunakan kertas isolasi jenis *presspaper*. Dimana kertas tersebut akan diuji tegangan tembusnya atau *breakdown voltage* dalam keadaan kering dan direndam minyak isolasi jenis mineral. Pengujian ini menggunakan delapan variasi ketebalan kertas, yaitu 0,13 mm; 0,26 mm; 0,39 mm; 0,52 mm; 0,65 mm; 0,78 mm; 0,91 mm; 1,04 mm yang telah diukur dengan mikrometer. Kertas isolasi yang digunakan sebelumnya sudah dikeringkan melalui proses pemanasan (oven) dari pabrikannya. Proses pemanasan tersebut bertujuan untuk mengurangi kadar air yang terkandung dalam kertas isolasi. Selanjutnya dilakukan pengujian pada kertas isolasi sampai terjadi *breakdown voltage*. Nilai hasil *breakdown voltage* tersebut dicatat lalu diamati apa pengaruh variasi ketebalan kertas terhadap *breakdown voltage* atau tegangan tembusnya.

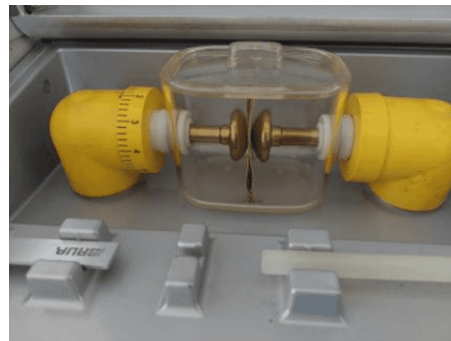
3. Hasil dan Pembahasan

Pada pengujian ini menggunakan 8 (delapan) variasi ketebalan kertas isolasi yang berbeda-beda, yaitu 0,13 mm; 0,26 mm; 0,39 mm; 0,52 mm; 0,65 mm; 0,78 mm; 0,91 mm; 1,04 mm. Kertas isolasi yang digunakan adalah kertas isolasi jenis *presspaper*. Berikut ini gambar 2 yang menunjukkan perendaman isolasi kertas kedalam minyak isolasi transformator.



Gambar 2. Isolasi Kertas Yang Direndam Minyak Isolasi Transformator

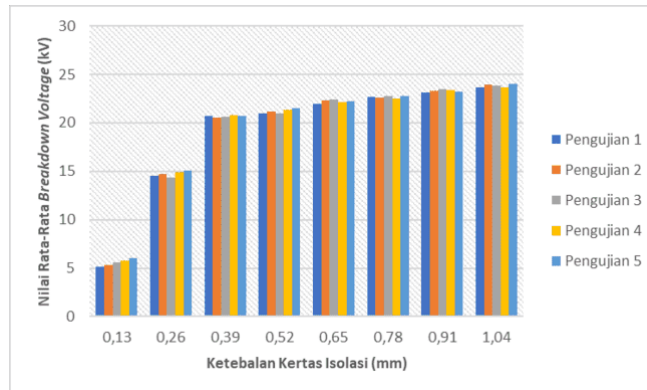
Dari gambar 2 menunjukkan bahwa semua sampel kertas isolasi jenis *presspaper* dengan variasi ketebalan akan direndam ke dalam minyak isolasi transformator selama 1 minggu. Minyak isolasi yang digunakan adalah jenis minyak isolasi mineral. Perendaman dilakukan untuk membandingkan nilai *breakdown voltage* yang dihasilkan saat keadaan direndam dan saat keadaan kering.



Gambar 3. Pengujian Isolasi Kertas Setelah Perendaman

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi ketebalan terhadap tegangan tembus dalam keadaan direndam dalam minyak isolasi. Nilai *breakdown voltage* yang telah diperoleh dari 5 (lima) kali pengujian disetiap variasi ketebalan kertas isolasi yang berbeda

tersebut akan dirata-rata kemudian diplot kedalam grafik. Berikut ini adalah data hasil pengujian isolasi kertas dengan perendaman disajikan pada grafik gambar 4.



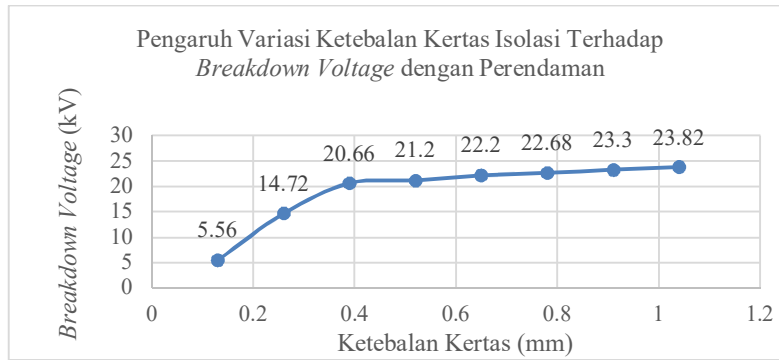
Gambar 4. Grafik Lima kali Pengujian dengan Variasi Ketebal Kertas Isolasi

Pada pengujian ini kertas isolasi diperlakukan dengan direndam ke dalam minyak isolasi jenis mineral dengan tujuan untuk melihat pengaruh perendaman terhadap nilai *breakdown voltage* yang dihasilkan. Perendaman dilakukan selama 1 minggu pada setiap ketebalan kertas isolasi. Dari hasil pengujian selama lima kali dengan memvariasikan ketebalan kertas maka didapat nilai rata-rata breakdown voltage pada masing-masing ketebalan kertas, berikut ini adalah tabel hasil pengujian isolasi kertas dengan perendaman.

Tabel 1. Hasil Pengujian Isolasi Kertas dengan Perendaman

Ketebalan Kertas (mm)	Nilai Rata-Rata Breakdown Voltage (kV)
0,13	5,56
0,26	14,72
0,39	20,66
0,52	21,2
0,65	22,2
0,78	22,68
0,91	23,3
1,04	23,82

Berdasarkan tabel 1 dapat dianalisa bahwa setelah dilakukan proses perendaman pada kertas isolasi jenis *presspaper* selama 1 minggu menghasilkan rata-rata nilai breakdown voltage yang lebih tinggi disetiap ketebalan kertas yang berbeda dibandingkan dengan pengujian isolasi kertas saat keadaan kering. Dapat dilihat pada ketebalan kertas 0,13 mm menghasilkan nilai *breakdown voltage* sebesar 5,56 kV hingga ketebalan kertas 1,04 mm menghasilkan nilai *breakdown voltage* sebesar 23,82 kV. Sehingga dapat disimpulkan semakin tebal suatu kertas isolasi maka semakin tinggi nilai *breakdown voltage* yang dihasilkan. Rata-rata nilai breakdown voltage hasil pengujian isolasi kertas dengan perendaman tersebut akan dituangkan kedalam grafik untuk memudahkan dalam menganalisa lebih lanjut. Berikut ini adalah gambar grafik hasil pengujian isolasi kertas dengan perendaman:



Gambar 5. Pengaruh Variasi Ketebalan Kertas Isolasi Terhadap *Breakdown Voltage*

Dari gambar 5 grafik pengaruh variasi ketebalan kertas isolasi terhadap *breakdown voltage* dengan perendaman dimana variabel ketebalan kertas sebesar 0,13 mm; 0,26 mm; 0,39 mm; 0,52 mm; 0,65 mm; 0,78 mm; 0,91 mm; 1,04 mm, dapat dianalisa bahwa semakin tebal kertas isolasi, nilai rata-rata *breakdown voltage* yang dihasilkan juga semakin tinggi. Menunjukkan bahwa besarnya *breakdown voltage* pada ketebalan kertas 0,13 mm hingga 0,39 mm mengalami peningkatan secara linier. Sedangkan 0,52 mm hingga 1,04 mm kenaikan *breakdown voltage* cenderung mendatar. Hal ini dikarenakan pengaruh ketebalan kertas isolasi terhadap nilai *breakdown voltage* pada keadaan direndam tidak terlalu besar.

Untuk melihat seberapa besar pengaruh dari variasi ketebalan kertas isolasi terhadap tegangan tembusnya saat keadaan direndam dilakukan perhitungan dengan menggunakan SPSS, sehingga diperoleh tabel model *summary* sebagai berikut:

Tabel 2. Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	0,832 ^a	0,693	0,642	3,72717

Berdasarkan tabel 2 dapat diketahui bahwa nilai korelasinya sebesar 0,832. Nilai korelasi sebesar 0,832 termasuk ke dalam korelasi yang sangat kuat. Dari tabel model summary juga diperoleh nilai koefisien determinasi sebesar 0,693 yang berarti bahwa pengaruh yang diberikan variabel X (ketebalan kertas) sebesar 69,3%. Untuk mengetahui *analysis of variance* dapat dilihat pada bagian regresi yang dimuat dalam tabel 3.

Tabel 3. *Analysis of Varians*

Model		Sum of Square	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	188,129	1	188,129	13,543	0,010 ^b
	Residual	83,351	6	13,892		
	Total	271,480	7			

Dari tabel *analysis of variance* diatas dapat diketahui besarnya nilai uji ANOVA atau nilai F yaitu sebesar 13,543. Dilakukannya uji ANOVA bertujuan untuk melihat pengaruh signifikan yang diberikan variabel X terhadap variabel Y. Kemudian dilakukan uji T untuk melihat pengaruh variabel X terhadap variabel Y. Berikut ini adalah tabel hasil uji T.

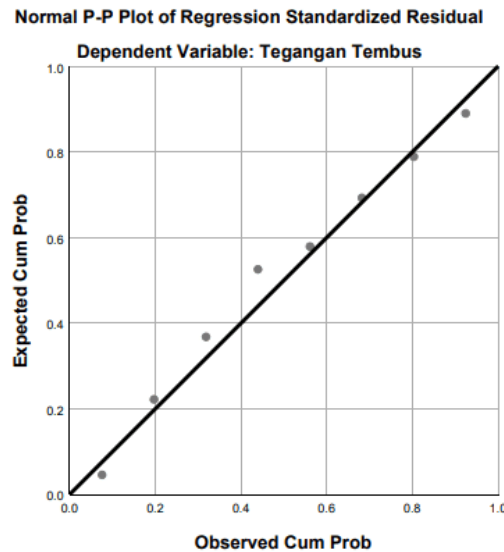
Tabel 4. Hasil Uji T

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	9,744	2,904		3,355	0,015
	Ketebalan Kertas	16,280	4,424	0,832	3,680	0,010

Dapat diketahui dari tabel 4 bahwa besarnya nilai T signifikan terhadap variabel Y. Maka hal ini menyatakan bahwa variabel Y memberikan pengaruh yang signifikan terhadap variabel X. Sehingga diperoleh persamaan regresi sebagai berikut:

$$Y = 9,744 + 16,280X$$

Berdasarkan persamaan diatas, maka dapat diketahui bahwa semakin besar nilai variabel X maka nilai Y juga akan semakin besar. Hal tersebut berarti semakin tebal suatu kertas isolasi maka menghasilkan tegangan tembus yang semakin besar juga. Berikut ini adalah grafik gambar 6 yang menggambarkan persamaan regresi.



Gambar 6. Grafik Regresi

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil kajian pada penelitian ini dapat ditarik disimpulkan bahwa, pengaruh ketebalan kertas isolasi terhadap tegangan tembus atau breakdown voltage adalah semakin tebal suatu kertas isolasi maka semakin besar juga tegangan tembus atau breakdown voltage yang dihasilkan. Tegangan tembus atau breakdown voltage pada kertas isolasi pada keadaan direndam minyak isolasi rongga udara atau pori-pori dalam kertas isolasi tertutupi oleh minyak isolasi sehingga dapat meningkatkan tegangan tembus atau breakdown voltage serta meningkatkan kualitas isolasi. Sehingga kertas isolasi pada keadaan direndam memiliki kualitas isolasi lebih baik dibandingkan saat keadaan kering. Besar nilai tegangan tembus atau breakdown voltage pada kertas isolasi direndam dengan minyak isolasi transformator pada ketebalan 0,13 mm

menghasilkan breakdown voltage sebesar 5,56 kV hingga ketebalan 1,04 mm menghasilkan nilai breakdown voltage sebesar 23,82 kV. Hasil pemodelan melalui metode regresi linier menyatakan bahwa variabel X berpengaruh terhadap variabel Y dengan nilai korelasi sebesar 0,998.

Referensi

- [1] A. Kadir, Transformator., Jakarta: Universitas Indonesia (UI-Press), 2010.
- [2] SPLN. 49 -1, Minyak Isolasi. Minyak Isolasi, Jakarta: PT.PLN (Persero), 1982.
- [3] L. S. Nasrat, N. Kassem and N. Shukry, "Aging Effect on Characteristics of Oil Impregnated Insulation Paper for Power Transformers," *Journal Engineering*, pp. 1-7, 2013.
- [4] S. J. Chapman, Electric Machinery Fundamentals, Australia: McGraw-Hill, 2005.
- [5] D. M. E. Nugroho, "Kegagalan Isolasi Minyak Trafo," *Media ElektriKa*, vol. 2, no. 2, pp. 1-10, 2010.
- [6] S. Tresgallo Arozamena, J. Sanz Asensio, C. Olmo Salas, C. Méndez Gutiérrez, P. J. Quintanilla Cavia, D. F. García Gómez and C. Vila Montañés, " Adaptation of the impregnation conditions of cellulosic transformer solids to the use of natural esters," 2022.
- [7] F. Jatmiko, "Pengaruh Perendaman Berbagai Macam Jenis Kertas Di Dalam Minyak Trafo Terhadap Karakteristik Tegangan Tembus Pada Suhu 30°C, 40°C, dan 50°C.," Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, 2015.
- [8] M. Simanjuntak, "Pengaruh Lama Perendaman Kertas Trafo (Pressboard) Pada Minyak Mineral, Minyak Nabati, Dan Minyak Sintetis Terhadap Karakteristik Elektris Kertas," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2019.
- [9] Pucaro, "Press paper in rolls," 2 Maret 2022. [Online]. Available: <https://pucaro.com/en/press-paper-in-rolls.html>.
- [10] R. A. Elfreda, "Analisis Tegangan Tembus Kertas Isolasi Transformator Akibat Lama Perendaman Pada Isolasi Minyak Transformator," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2018.
- [11] T. K. Saha and P. Purkait, Transformer Ageing: Monitoring and Estimation Techniques, Singapore: Wiley, 2017.
- [12] M. F. Nichal, "Analisis Pengaruh Penuaan Termal Dari Isolasi Kertas Kraft Dengan Perendaman Minyak Mineral, Minyak Nabati, Dan Minyak Sintetis Terhadap Karakteristik Elektris," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2018.

Implementasi Kontroler PID Pada Buck Converter

*Implementation of PID Controller in Buck Converter*Fadlika Ardiansyah¹, Raihan Nurhakim² Muhammad Adli Rizulloh³^{1,2,3}Pendidikan Teknik Otomasi Industri dan Robotika

Universitas Pendidikan Indonesia

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

Abstrak – Penelitian ini membahas penggunaan buck converter (step-down) dan kontroler PID dalam pengaturan gelombang keluaran. Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode bump test dan simulasi menggunakan perangkat lunak PSIM. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mendapatkan nilai optimal parameter K_p , T_i , T_d , K_d , dan K_i untuk mencapai kestabilan gelombang keluaran pada tegangan output 5V. Pada penelitian ini, terdapat dua variasi kapasitor yang digunakan, yaitu 470 μ F dan 1000 μ F. Dalam metode bump test, parameter K_p diatur menjadi 1, T_i dan T_d diatur menjadi 0 atau tak hingga, dan input serta output diobservasi. Selanjutnya, dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai K , T , dan L dengan menggunakan rumus yang sesuai. Hasil dari simulasi menunjukkan bahwa dengan kapasitor 470 μ F, diperoleh nilai K_p sebesar 6,909, K_i sebesar 86,362, K_d sebesar 345,45, dan tegangan output (V_o) sebesar 5,21V. Sedangkan dengan kapasitor 1000 μ F, diperoleh nilai K_p sebesar 3,45, K_i sebesar 23×10^3 , K_d sebesar 93243,24, dan V_o sebesar 5,21V. Berdasarkan analisis gelombang keluaran, penggunaan kapasitor 470 μ F memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan kapasitor 1000 μ F, karena menghasilkan steady state yang lebih baik dan mengurangi overshoot. Namun, nilai tegangan output belum mencapai target yang diinginkan yaitu 5V, baik dengan menggunakan kapasitor 470 μ F maupun kapasitor 1000 μ F. Kesimpulannya, penelitian ini berhasil mengimplementasikan penggunaan buck converter dan kontroler PID dengan metode bump test. Dari hasil simulasi, ditemukan bahwa parameter terbaik untuk mencapai kestabilan gelombang keluaran pada tegangan output 5V adalah dengan menggunakan kapasitor 470 μ F dengan nilai K_p sebesar 6,909, K_i sebesar 86,362, dan K_d sebesar 345,45.

Kata Kunci: Bump test, PID Controller, Buck Converter, capasitor

Abstract – This study discusses the use of buck converters (step-down) and PID controllers in output wave settings. The research was conducted using bump test and simulation methods using PSIM software. The main objective of this study is to obtain the optimal value of K_p , T_i , T_d , K_d , and K_i parameters to achieve output wave stability at an output voltage of 5V. In this study, there were two variations of capacitors used, namely 470 μ F and 1000 μ F. In the bump test method, the parameters K_p are set to 1, T_i and T_d are set to 0 or infinity, and inputs and outputs are observed. Next, calculations are carried out to obtain the values of K , T , and L using the appropriate formula. The results of the simulation showed that with a 470 μ F capacitor, a K_p value of 6,909, K_i of 86,362, K_d of 345,45, and an output voltage (V_o) of 5.21V were obtained. While with a 1000 μ F capacitor, K_p is 3,45, K_i is 23×10^3 , K_d 93243,24, and V_o is 5.21V. Based on output wave analysis, the use of 470 μ F capacitors gives better results compared to 1000 μ F capacitors, as it produces better steady state and reduces overshoot. However, the output voltage value has not reached the desired target of 5V, either by using a 470 μ F capacitor or a 1000 μ F capacitor. In conclusion, this study successfully implemented the use of buck converters and PID controllers with the bump test method. From the simulation results, it was found that the best parameter to achieve output wave stability at an output voltage of 5V is to use a 470 μ F capacitor with a K_p value of 6,909, K_i of 86,362, and K_d of 345,45.

Keywords: Bump test, PID Controller, Buck Converter, capasitor

SENER 2023, 26 Oktober 2023, pp. 67-73

ISSN (p): 2985-4903

ISSN (e): 2986-2477



1. Pendahuluan

Buck converter (step-down) atau DC-DC converter merupakan sebuah jenis converter yang memiliki sebuah output tegangan lebih kecil jika dibandingkan dengan tegangan inputnya. Dimana converter tersebut digunakan untuk mengkonversi tegangan DC (Direct Current) masukan ke bentuk tegangan keluaran DC yang lebih kecil. Buck converter juga merupakan salah satu regulator dc dengan tipe switching non-isolated dimana hal tersebut akan memenuhi sebuah tegangan keluaran variable. Salah satu pendekatan yang baik untuk menganalisis converter DC-DC ini adalah pendekatan dengan metode bump test. Metode bump test ini merupakan sebuah metode yang dilakukan untuk menguji suatu komponen bekerja dengan benar dan akurat.

PID controller merupakan sebuah pengontrol yang memiliki dua posisi yaitu on dan off. Seperti Namanya PID yaitu pengontrol proposional, pengontrol integral dan pengontrol derivative yang dimana pengontrol P memiliki kelebihan dapat mempercepat respon, dan memiliki kekurangan akan mengalami error steady state pada respon yang dihasilkan. Namun akurasi dalam pengontrolan respon terdapat beberapa kesalahan, akan tetapi hal tersebut dapat diatasi dengan pengontrol PI, sehingga respon yang dihasilkan tadi tidak mengalami error steady state akan tetapi respon yang dihasilkan akan mengalami yang namanya osilasi. Namun hal tersebut dapat dikurangi dengan adanya pengontrol PD. Jadi dalam pengontrol PID memiliki pengaturan control yang memungkinkan untuk mengatur dinamika pada sebuah system kendali sesuai dengan apa yang diinginkan.

Dengan menggunakan software yang telah kami gunakan sebelumnya yaitu menggunakan PSIM. kami membuat dan mensimulasikan suatu rangkaian menggunakan buck converter dan juga PID controller kemudian menyesuaikan bentuk gelombangnya dimana harus mengalami keadaan steady state dan tentunya meminimalisir adanya dan terjadinya overshoot dengan cara mencari. Menghitung dan menyesuaikan beberapa parameter seperti Kp, Ti, Td, Kd, dan juga Ki. Dimana pada simulasi yang kami buat tersebut akan menghasilkan output tegangan sebesar 5V dalam keadaan steady statenya.

2. Metode Penelitian

a. Bump Test

Pada penelitian ini kami menggunakan metode bump test. Dengan menggunakan metode bump test, kita tidak memerlukan spesifikasi khusus untuk suatu sistem yang akan diatur, karena dengan metode ini kita hanya akan mengukur respon suatu sistem terhadap keluarannya. Dengan metode ini kita harus menguji rangkaian simulasi kita dengan beberapa parameter yaitu Kd, Kp, dan Ki dimana dengan kondisi tersebut Kd = 0, Kp = 1, and Ki = 0.

Langkah yang dilakukan untuk menyetel bump test ada 3, yaitu:

1. Nilai kp harus 1, niali Ki dan Kd harus 0, nilai Td harus 0 dan atau Ti disetel menjadi tak hingga.
2. Masukn input dengan memperhatikan grafiknya dan juga grafik outputnya.
3. Mencari nilai K, T, dan L dimana K adalah gain statis pada proses, T adalah konstanta paa waktu proses dan L adalah delay transportasi.

Dengan rumus:

$$K = \frac{\Delta PV}{\Delta CO}$$

$$T = 1,5(t_{63\%} - t_{28\%})$$

$$L = t_{63\%} - T$$

Keterangan:

K = gain statis pada proses

- ΔPV = Tegangan pada saat kondisi steady state
- ΔCO = Tegangan Output
- T = konstanta pada waktu proses
- $t_{63\%}$ = Tegangan yang dihasilkan ketika keadaan waktu 63% saat keadaan steady state
- $t_{28\%}$ = Tegangan yang dihasilkan ketika
- L = Delay transportasi

Tabel 1. Bump test Tuning Formulas

	Kp	Ti	Td
PID	$\frac{1,2T}{LK}$	$2L$	$0,5L$

3. Hasil dan Pembahasan

Parameter yang digunakan pada penelitian ini tercantum dalam tabel 2

Tabel 2. Spesifikasi Buck Converter

Specification Buck's Converter	
Parameter	Nilai
Input Voltage (V_s)	6 V
Output Voltage (V_o)	5 V
Switching Frequency	20 KHz
Resistance of Inductor (R_l)	1,5 Ω
Resistance of Capasitor (R_C)	0,3 Ω
Inductor (L)	300 mH
Load resistor (L)	10 Ω

Menghitung Arus Keluaran (I_{out})

$$I_{out} = \frac{V_{out}}{R_{load}}$$

$$I_{out} = \frac{5}{10}$$

$$I_{out} = 0,5 \text{ A}$$

Menghitung Nilai Minimum Induktor

$$L > \frac{V_{out}}{2 \times I_{out} \times F}$$

$$L > \frac{5}{2 \times 0,5 \times 20000}$$

$$L > 0,00025 \text{ H}$$

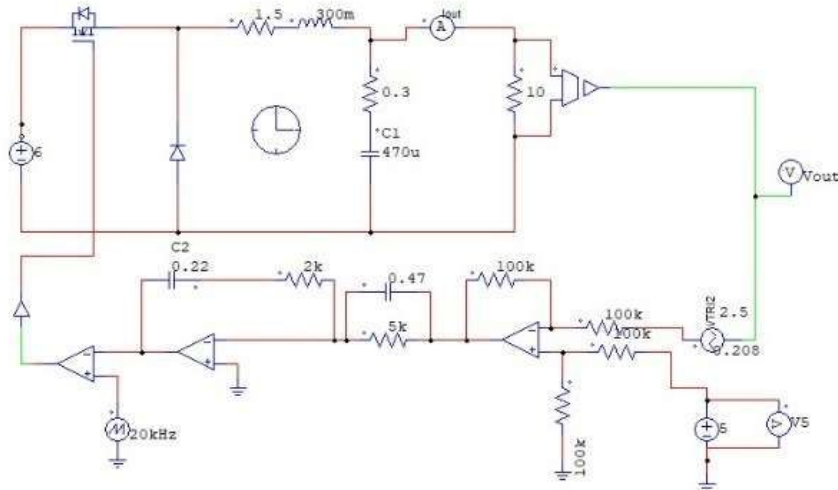
$$L > 0,25 \text{ mH}$$

Pada penelitian ini, kita mengambil kita mengambil 300mH dan menggabungkan kapasitor 470 μ F

$$K = \frac{\Delta pv}{\Delta co} = \frac{5,21}{5} = 1,042$$

$$T = 1,5(t63\% - t28\%) \\ = 1,5(0,28 - 0,12) \\ = 0,24 \times 10^{-3}$$

$$L = t63\% - T \\ = (0,28 - 0,24) 10^{-3} \\ = 0,04 \times 10^{-3}$$



- Menggunakan Kapasitor 470 μ F

$$Kp = \frac{1,2 \times T}{L \times K} \\ = \frac{0,288}{0,04 \times 1,042} \\ = 6,909$$

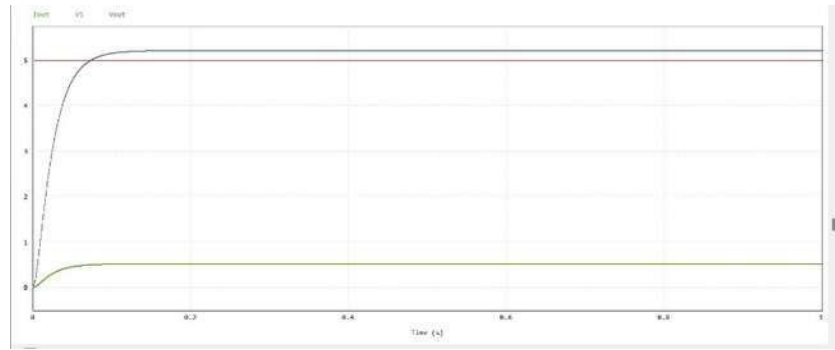
$$Ti = 2 \times L \\ = 2 \times 0,04 \\ = 0,08$$

$$Td = 0,5 \times L \\ = 0,5 \times 0,04 \\ = 0,02$$

$$Ki = \frac{Kp}{Ti} \\ = \frac{6,909}{0,08} \\ = 86,362$$

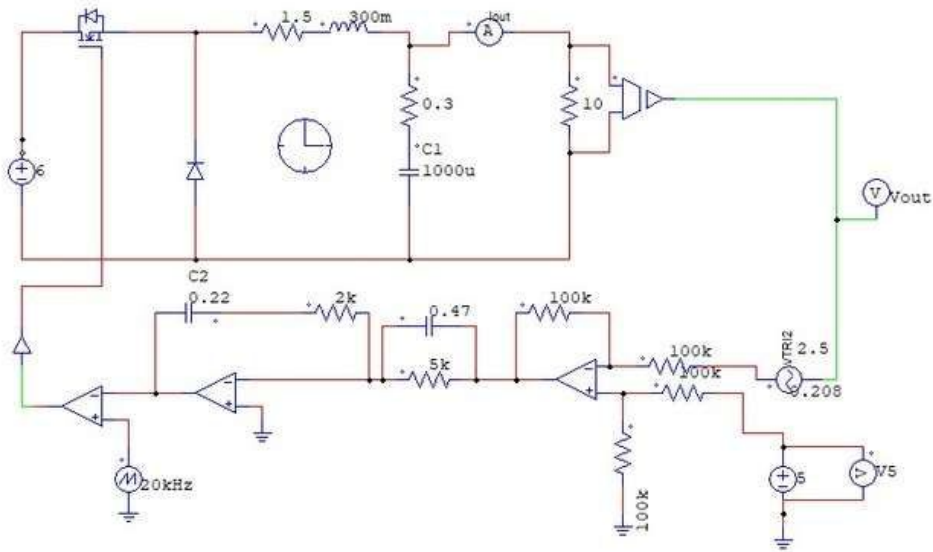
$$Kd = \frac{Kp}{Td} \\ = \frac{6,909}{0,02} \\ = 345,45$$

Kp	Ki	Kd
6,909	86,362	345,45



Measure	X1	X2	Δ	Average	Average X	RMS
Time	2.00004e-01	8.00001e-01	5.99997e-01			
iout	5.21474e-01	5.21521e-01	4.77086e-05	5.21520e-01	5.21520e-01	5.21520e-01
V5	5.00000e+00	5.00000e+00	0.00000e+00	5.00000e+00	5.00000e+00	5.00000e+00
Vout	5.21474e+00	5.21521e+00	4.77084e-04	5.21520e+00	5.21520e+00	5.21520e+00

- Menggunakan Kapasitor 1000μF



$$\begin{aligned}
 K &= \frac{\Delta PV}{\Delta CO} \\
 &= \frac{5,21}{5} \\
 &= 1,042 \\
 T &= 1,5 (t_{63\%} - t_{28\%}) \\
 &= 1,5 (0,30 - 0,15) \\
 &= 0,225 \times 10^{-3} \\
 L &= 0,30 - 0,225 \\
 &= 0,075 \times 10^{-3}
 \end{aligned}$$

$$K_p = \frac{1,2 \times T}{L \times K} = 3,45$$

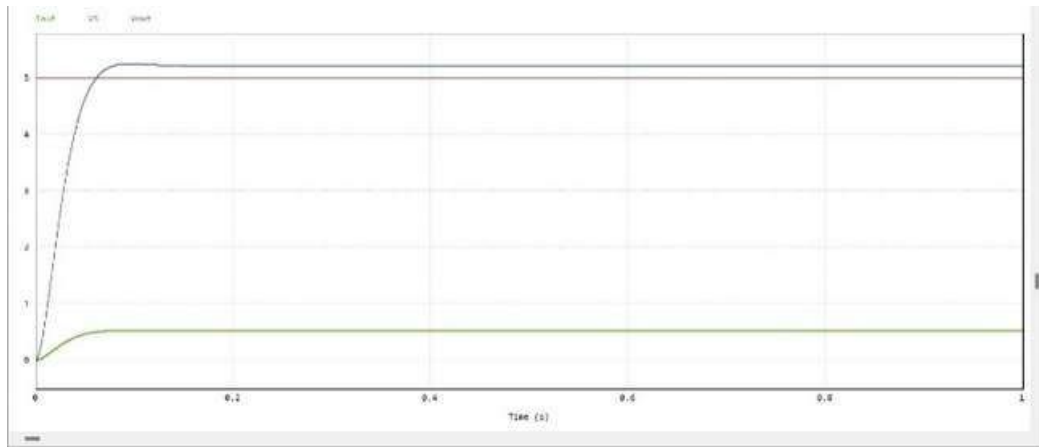
$$T_i = 2 \times L = 0,15 \times 10^{-3} = 0,00015$$

$$T_d = 0,5 \times L = 0,037 \times 10^{-3} = 0,000037$$

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = 23 \times 10^3$$

$$K_d = \frac{K_p}{T_d} = 9324,32$$

Kp	Ki	Kd
3,45	23 x 10 ³	93243,24



Measure						
	X1	X2	Δ	Average	Average [X]	RMS
Time	2.00004e-01	8.00001e-01	5.99997e-01			
Iout	5.21498e-01	5.21521e-01	2.35248e-05	5.21521e-01	5.21521e-01	5.21521e-01
V5	5.00000e+00	5.00000e+00	0.00000e+00	5.00000e+00	5.00000e+00	5.00000e+00
Vout	5.21498e+00	5.21521e+00	2.35247e-04	5.21521e+00	5.21521e+00	5.21521e+00

Method	Capasitor	Vo	Kp	Ki	Kd
Bump	1000 μF	5,21	3,45	23 x 10 ³	9324,32
Test	470 μF	5,21	6,909	86,362	345,45

4. Kesimpulan

Pada penelitian ini mengimplementasikan penggunaan buck converter dan PID controller dengan menggunakan metode bump test kemudian diperoleh hasil dari simulasi Ki, Kp, Kd, dan Vo dengan kapasitor 470μ dan 1000μ dalam ketabilan gelombang keluaran yaitu untuk kapasitor

470 μ diantaranya $K_p = 6,909$, $K_i = 86,362$, $K_d = 345,45$ dan $V_o = 5,21$ V. untuk kapasitor 1000 μ diantaranya $K_p = 3,45$, $K_i = 23 \times 10^3$, $K_d = 93243,23$, dan $V_o = 5,21$ V.

Dilihat dari hasil gelombang antara kapasitor 470 μ dengan kapasitor 1000 μ , lebih baik menggunakan kapasitor 470 μ . Penggunaan kapasitor 470 μ memberikan steady state yang baik dibandingkan dengan kapasitor 1000 μ yang masih menghasilkan sedikit overshoot. Tetapi dari rangkaian tersebut keluarin tegangan belum mencapai nilai yang diinginkan yaitu 5V baik menggunakan kapasitor 470 μ ataupun kapasitor 1000 μ .

Referensi

- [1]. M. P. E. Rajamani, R. Rajesh, and M. Willjuice Iruthayarajan, "Design and Experimental Validation of PID Controller for Buck Converter: A Multi-Objective Evolutionary Algorithms Based Approach," *IETE J. Res.*, vol. 69, no. 1, pp. 21–32, 2023, doi: 10.1080/03772063.2021.1905564.
- [2]. D. Hidayat, "Implementasi Pengontrol Pid Pada Model Fisis Elektronik," *EKSAKTA Berk. Ilm. Bid. MIPA*, vol. 18, no. 02, pp. 178–185, 2017, doi: 10.24036/eksakta/vol18-iss02/75.
- [3]. A. E. TAŞÖREN, "Cohen-Coon Tabanlı Otomatik Ayarlayıcı Online PID Denetleyici Tasarımı ve Gerçeklenmesi," *Eur. J. Sci. Technol.*, no. 24, pp. 235–239, 2021, doi: 10.31590/ejosat.897727.
- [4]. Anonymous, "Kontrol PID," 2022.

Implementasi Metode *Fuzzy Logic* Pada Kendali Pompa Pendingin Mesin CNC Untuk Meningkatkan Efisiensi Daya

Implementation of the Fuzzy Logic Method in CNC Machine Cooling Pump Control to Increase Power Efficiency

Bagas Setia Aje Sutikno^{1*}, Dickyansyah Ramadhan², Putra wisnu agung sucipto³, Novi Laura Indrayani⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Islam “45” Bekasi, Jl Cut Meutia No.83
Bekasi Timur, Kota Bekasi, 17113

bagasajie55@gmail.com^{1*}, dickyansyahramadhan12@gmail.com², wisnu@unismabekasi.ac.id³,
novi_laura@unismabekasi.ac.id⁴

Abstrak – Mesin CNC merupakan alat bantu pekerjaan untuk membuat suatu benda kerja dengan tingkat presisi yang cukup tinggi. Selain dari akurasi gerakannya, kestabilan suhu benda kerja juga mempengaruhi kualitas hasil pekerjaan dan umur dari alat potong yang digunakan. Kecepatan aliran pada coolant berpengaruh pada kemampuan hantar panas yang diterima dari benda kerja pada proses permesinan. Efisiensi daya yang dihasilkan dari metode pendalihan motor nyala-mati tidak cukup baik karena ketidakefektifan metode pengaturan kecepatan aliran. Metode penelitian yang digunakan adalah kuantitatif dan ekperimental, meliputi perangkaian sebuah mikrokontroler berbasis logika fuzzy yang mampu mengatur keluaran frekuensi dari perangkat variable frequency drive yang terhubung dengan motor pompa pendingin pada mesin cnc. Data konsumsi energi listrik dari pengujian dicatat serta hasilnya dibandingkan antara sebelum dan setelah diterapkannya alat yang dibuat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan metode logika fuzzy berhasil menurunkan konsumsi energi listrik mesin CNC, menghasilkan penurunan rata-rata sebesar 0,0697 KWh pada setiap uji coba. Dalam skala yang lebih luas, penggunaan alat ini pada sebuah cnc dapat mengurangi biaya energi listrik perusahaan untuk mesin cnc hingga 23,3%, setara dengan penghematan sebesar Rp. 5.534.130 dalam waktu satu tahun. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa metode logika fuzzy dalam kendali pompa pendingin mesin cnc dapat memberikan kontribusi penting dalam efisiensi energi dan penghematan biaya operasional mesin cnc.

Kata Kunci: Mesin CNC, Pompa Pendingin, Coolant, Suhu, Kecepatan, Efisiensi Daya, Energi Listrik

Abstract – CNC machines are tools used to create workpieces with a high level of precision. In addition to its motion accuracy, the stability of the workpiece temperature also affects the quality of the work and the lifespan of the cutting tools. The flow rate of the coolant plays a significant role in heat dissipation during the machining process. The on-off control method for the motor lacks efficiency in controlling the flow rate effectively. The research methodology employed in this study is quantitative and experimental, by assembling a microcontroller based on fuzzy logic that could regulate the output frequency of the variable frequency drive connected to the cooling pump motor of the CNC machine. Electrical energy consumption data dari the experiments were recorded and compared before and after the implementation of the device. The research findings demonstrated that the application of fuzzy logic method successfully reduced the electrical energy consumption of the CNC machine, resulting in an average decrease of 0.0697 kWh per trial. On a larger scale, the use of this device on a CNC machines could reduce the company's electricity costs for cnc machine by 23,3%, equivalent to savings of Rp. 5.534.130 per year. The results of this research indicate that the fuzzy logic method in controlling the coolant pump of CNC machines can provide significant contributions to energy efficiency and cost savings in CNC machine operations.

Keywords: CNC Machine, Cooling Pump, Coolant, Temperature, Speed, Power Efficiency, Electrical Energy

1. Pendahuluan

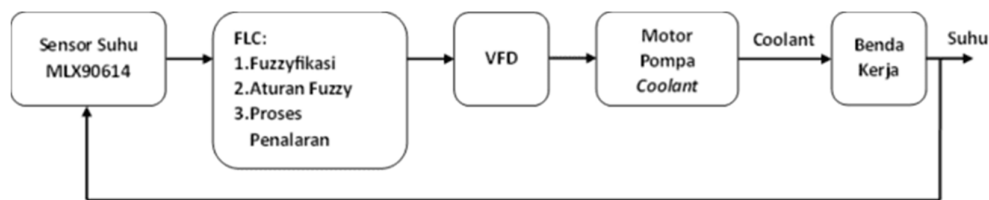
Mesin *CNC* merupakan alat bantu pekerjaan untuk membuat suatu benda kerja dengan tingkat presisi yang cukup tinggi. Penggunaan kendali komputasi mendukung sistem pengukuran dan perhitungan dimensi kerja menjadi lebih akurat [1]. Tidak hanya akurasi gerak saja, kestabilan suhu pada sebuah proses pekerjaan mesin *cnc* juga mempengaruhi kualitas hasil pekerjaan dan umur dari alat potong yang digunakan. Dengan begitu, penggunaan *coolant* pada proses pekerjaan mesin *cnc* sangatlah penting [2] [3].

Kecepatan aliran pada *coolant* berpengaruh pada kemampuan hantar panas yang diterima dari benda kerja pada proses permesinan. Semakin cepat aliran *coolant*, semakin rendah suhu benda kerja dan mata pisau pemotong [3]. Selain kecepatan aliran, jenis *coolant* yang digunakan juga berpengaruh pada kemampuan hantar panasnya. Pada benda kerja dengan material seperti aluminium, baiknya digunakan *coolant* berbentuk cairan dengan campuran air dan oli. Untuk menghindari menempelnya sisa geram pada benda kerja karena melelehnya material akibat suhu panas, *coolant* campuran air dan oli akan sangat membantu proses pekerjaan [4].

Coolant berbentuk cairan, disalurkan melalui pipa atau selang menuju ruang kerja mesin *cnc* dan diarahkan langsung pada ujung mata pisau pemotong yang akan menjadi titik pertemuan dengan benda kerja [2]. Aliran *coolant* digerakkan oleh motor pompa elektrik. Pada mesin *cnc* umumnya, pengaturan kecepatan aliran hanya dikendalikan dengan menutup dan membuka keran untuk mengatur lebar saluran cairan *coolant* agar kecepatan aliran dapat diatur [3]. Cara lain yang digunakan yakni menggabungkan dua buah pompa yang diatur nyala hidupnya untuk menambah tekanan dan aliran cairan *coolant* [5]. Efisiensi daya dengan cara tersebut tidak cukup baik akibat ketidakefektifan metode pengaturan kecepatan aliran [6]. Metode kendali *fuzzy logic* dengan model pengambilan keputusan dalam bentuk aturan jika-maka, adalah pilihan yang cukup tepat untuk diterapkan pada sistem kendali kecepatan aliran *coolant* berdasarkan suhu [7] [8] [9]. Oleh karena itu, penulis mengambil materi tentang pengendalian kecepatan motor pompa *coolant* menggunakan metode kendali *fuzzy logic* [10] [11] [12].

2. Metode Penelitian

2.1. Perancangan Alat



Gambar 1. Diagram Blok Kerja Alat

Berikut adalah penjelasan dari diagram blok prinsip kerja alat pada Gambar 1. :

1. Nilai masukan suhu yang diterima oleh sensor suhu MLX90614, digunakan sebagai variabel *input* perhitungan logika *fuzzy*.
2. Algoritma *Fuzzy Logic Controller* melakukan proses fuzifikasi, menentukan kondisi sesuai dengan aturan *fuzzy* yang telah dibuat, pemilihan keputusan dengan proses penalaran, lalu merubah hasil keputusan menjadi bentuk output digital untuk diterima oleh perangkat *VFD*.
3. Perangkat *VFD* menerima perintah dari mikrokontroler dan mengendalikan tegangan, arus, dan frekuensi keluaran kepada motor pompa *coolant* sesuai dengan perintah yang diterima.

4. Motor pompa berputar dengan kecepatan yang telah ditentukan untuk mendorong cairan *coolant* melalui selang menuju keran pada mesin *CNC* yang diarahkan langsung pada benda kerja dan ujung mata pisau.

Dengan aliran cairan *coolant*, suhu benda kerja akan berubah, lalu perubahan suhu akan dideteksi oleh sensor suhu *MLX90614* dan dialihkan ke mikrokontroler sebagai nilai umpan balik suhu untuk menghitung nilai error kembali.

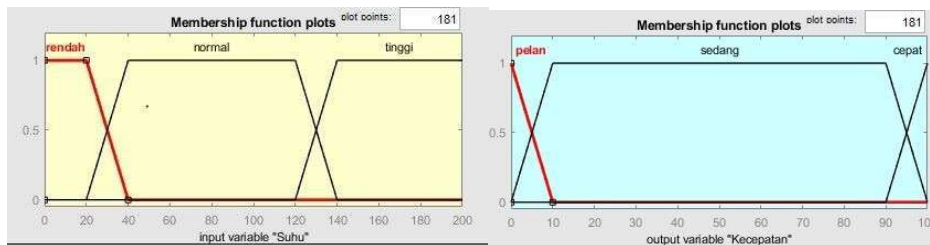
2.2. Perancangan Logika Fuzzy

Proses pengolahan data dimulai dengan menentukan variabel dan semesta pembicaraan, lalu dilanjutkan dengan pembentukan himpunan *fuzzy*. Variabel dan semesta pembicaraan ditampilkan pada tabel 1. berikut.

Tabel 1. Variabel dan Semesta Pembicaraan Input Output

Fungsi	Nama Variabel	Semesta Pembicaraan	Keterangan
Input	Suhu	[0 – 200]	Suhu Titik Pemotongan Benda Kerja (Derajat <i>Celcius</i>)
Output	Motor Pompa	[0 - 100]	Kecepatan Putar Motor Pompa (Persentase)

Sinyal masukan suhu merupakan nilai tegas (*crisp*) 0 hingga 200. Nilai tersebut diperoleh dari pembacaan suhu objek oleh sensor suhu *MLX90614*. Nilai tegas tersebut diubah menjadi himpunan *fuzzy* rendah, normal dan tinggi seperti ditampilkan pada Gambar 2. (Input suhu). Sinyal keluaran kecepatan merupakan nilai tegas (*crisp*) 0 hingga 100. Nilai tersebut merepresentasikan perintah kecepatan dalam bentuk persentase yang akan diterima oleh perangkat *VFD* untuk menggerakkan motor pompa. Nilai tegas tersebut diubah menjadi himpunan-himpunan *output fuzzy* pelan, sedang dan cepat yang ditampilkan pada Gambar 2. (output kecepatan).



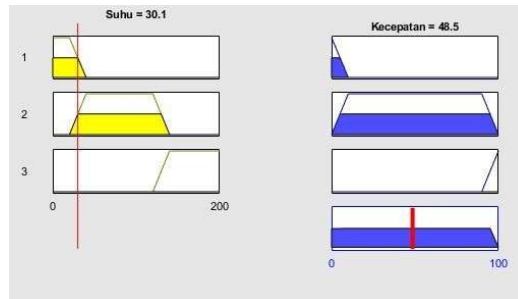
Gambar 2. Fuzzyfikasi *Input* Suhu dan *Output* Kecepatan

Menyusun dasar aturan yang berkaitan dengan himpunan masukan dan keluaran *fuzzy* yang telah dibuat berupa implikasi-implikasi *fuzzy*. Metode *fuzzy* yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Mamdani dan fungsi implikasi yang digunakan adalah min dengan bentuk sebagai berikut.:

- [R1] IF Suhu RENDAH THEN Kecepatan PELAN
- [R2] IF Suhu NORMAL THEN Kecepatan SEDANG
- [R3] IF Suhu TINGGI THEN Kecepatan CEPAT

Pada sistem yang terdiri dari beberapa aturan, interferensi diperoleh dari kumpulan dan korelasi antar aturan. Metode pengumpulan yang digunakan dalam sistem *fuzzy* yang digunakan yaitu metode Max (maksimum). Solusi himpunan *fuzzy* yang didapatkan dengan mengambil maksimum pada aturan, dan menggunakan nilai tersebut untuk memodifikasi daerah *fuzzy* dan menerapkannya pada keluaran.

Keluaran yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan sebelumnya digunakan sebagai nilai masukan pada proses penegasan, dan hasil dari proses penegasan merupakan suatu bilangan yang tegas (*crisp*). Sehingga jika diberikan suatu himpunan *fuzzy* dalam rentang tertentu, maka diperoleh nilai tegas tertentu sebagai keluaran kecepatan motor pompa. Proses defuzifikasi yang digunakan adalah metode *Centeroid*. Solusi tegas yang diperoleh dengan metode *Centeroid* mengambil titik pusat daerah *fuzzy*. Contoh diberikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Proses Defuzifikasi

Data-data yang akan diperoleh berupa suhu umpan balik yang diterima dari sensor suhu, di hitung untuk memperoleh nilai persentase kecepatan motor pompa dan diubah rentang nilainya (0 – 100) menjadi rentang nilai yang sesuai dengan rentang tingkatan *PWM* 8-bit dari mikrokontroler *Arduino* (0 – 255).

$$Output = \frac{S}{S_{max}} \times Ref \quad \dots(1.)$$

Keterangan :

- S = Kecepatan motor keluaran fuzzy (%)
- S_{max} = Kecepatan maksimum motor (%)
- Ref = Nilai referensi *PWM* 8-bit (255)

Nilai *output* didapatkan, mikrokontroler mengirimkan sinyal kecepatan dalam bentuk variasi lebar dari sinyal *PWM* dan difilter untuk merubahnya menjadi tegangan analog sebagai kendali frekuensi kerja *vfd* :

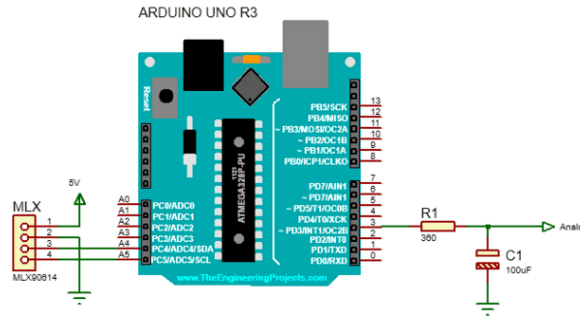
$$V_{analog} = \frac{Duty\ Cycle}{100} \times V_s \quad \dots(2.)$$

Keterangan :

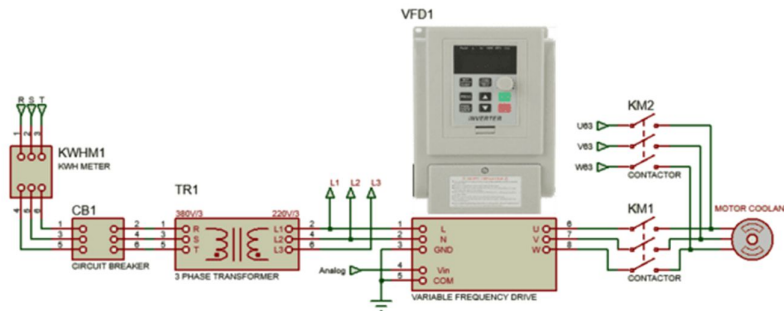
- V_{analog} = Tegangan analog (V)
- V_s = Tegangan Sumber (V)
- Duty Cycle = Lebar pulsa sinyal *PWM* (%)

2.3. Perakitan Komponen Sistem Kendali

Perangkat sensor suhu *MLX90614* menggunakan jenis komunikasi *I2C* dengan menghubungkan pada pin A4 dan A5 pada *Arduino Uno R3*. Sinyal *PWM* 8-bit keluaran dari mikrokontroler tidak bisa langsung digunakan oleh perangkat *vfd*. RC Filter diperlukan untuk merubah sinyal *PWM* menjadi tegangan analog. Rangkaian skematik mikrokontroler dapat dilihat pada gambar 4. Mikrokontroler *Arduino* diprogram untuk memproses suhu yang diterima dari sensor menggunakan persamaan fuzzy untuk menghasilkan nilai output persentase kecepatan. Nilai kecepatan lalu diubah menjadi nilai *PWM* 8-bit menggunakan persamaan 1. sebagai keluaran besar lebar pulsa (*duty cycle*).



Gambar 4. Rangkaian Mikrokontroler



Gambar 5. Rangkaian *Variable Frequency Drive*

Sensor suhu *MLX90614* dipasang tepat pada pengecam mata pisau dan diarahkan tepat pada ujung mata pisau seperti pada gambar 6.



Gambar 6. Letak Pemasangan Sensor Suhu Pada Mesin

2.4. Pengujian Keluaran Logika Fuzzy

Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai perhitungan dan pengukuran tegangan analog dari mikrokontroler. Nilai tegangan analog sebagai keluaran pin *PWM* mikrokontroler *Arduino Uno R3* menjadi nilai referensi untuk menentukan frekuensi kendali motor. Masukan tegangan analog yang berubah-ubah akan merubah tampilan nilai frekuensi pada *vfd*. Hubungan antara input suhu, dan kecepatan motor dapat dilihat dalam bentuk grafik.

2.5. Pengujian Performansi Alat

Pengujian dilakukan dengan mengukur dan mencatat kecepatan motor dalam waktu tertentu saat sistem kendali kecepatan motor diaktifkan. Data yang diperoleh selanjutnya dianalisa melalui *software Matlab* untuk mendapatkan grafik respon sistem. Pengujian dilakukan sebanyak dua kali yaitu saat sebelum dan sesudah diterapkannya metode kendali kecepatan motor menggunakan logika *fuzzy* dengan titik acuan kecepatan maksimum. Kedua data perhitungan yang diperoleh dibandingkan sebagai acuan performa sistem kendali yang dibuat. Respon sistem kendali motor pompa *coolant* ditampilkan akan ditampilkan dalam bentuk grafik dan parameter performansi dalam satuan waktu milidetik.

2.6. Analisa Performansi Alat

Analisa Performansi Alat dicari dengan cara menghitung konsumsi energi dengan menggunakan rumus (3.), Besar konsumsi daya komponen mesin lainnya (selain motor pompa *coolant*) dapat dihitung dengan menggunakan rumus (4.), Besar konsumsi energi yang dibutuhkan motor pompa setelah diaplikasikannya sistem kendali menggunakan metode logika *fuzzy* dihitung dengan menggunakan rumus (5.), dan besar penurunan konsumsi energi dihitung dengan menggunakan rumus (6.).

Pengujian dilakukan dengan proses pemotongan linier sepanjang benda kerja untuk mendapatkan data suhu yang stabil berdasarkan jarak sensor yang konsisten terhadap benda kerja dan mata pisau. Kecepatan *spindle* dan kecepatan pemotongan juga diatur konstan agar gerakan pemotongan menjadi stabil. Stabilitas proses pemotongan diperlukan demi mendapatkan suhu yang identik antara kedua pengujian. Tabel 2. menampilkan spesifikasi mesin yang digunakan pada proses pengujian.

Tabel 2. Spesifikasi Mesin Yang Digunakan

Nama Mesin	Mori Seiki CL2000 / Fanuc 0i-TD
Tipe Mesin	CNC Bubut 2 Axis
Tegangan Sumber Terukur	373 Volt Line-to Line
Tegangan Mesin Terukur	216 Volt Line-to-Line
<i>Power Factor</i>	0,90
Ukuran Benda Kerja	Silinder Pejal / Diameter 48 x 150 mm
Kecepatan Putar <i>Spindle</i>	700 Rpm
Kecepatan Potong	0,15 mm/rev
Pemotongan	0,3 mm per siklus / Sepanjang 100 mm

Jumlah energi yang diperlukan motor pompa *coolant* dapat dihitung menggunakan persamaan 3.

$$E_{pompa} = \frac{P \times t}{1000} \tag{3}$$

Keterangan :

- E_{pompa} = Energi yang digunakan motor pompa (KWh)
- P = Daya motor pompa (Watt)
- t = Waktu (Jam)

Pengumpulan data energi dilakukan setiap pemotongan benda kerja sedalam 5 mm hingga diameter benda kerja tersisa 10 mm. Dua buah material diperlukan untuk mendapatkan sepuluh data untuk dikumpulkan. Jumlah pemotongan dan jumlah energi yang dibutuhkan setiap proses pemotongan akan ditampilkan dalam bentuk tabel.

$$E_{mesin} = E_{tf} - E_{pompa} \quad (4)$$

$$E_{pf} = E_{mf} - E_{mesin} \quad (5)$$

$$\Delta E = E_{tf} - E_{mf} \quad (6)$$

dimana

E_{mesin} = Energi yang digunakan komponen mesin lainnya (KWh)

E_{tf} = Energi yang digunakan mesin saat menggunakan sistem kendali bawaan mesin (KWh)

E_{mf} = Energi yang digunakan mesin saat menggunakan sistem kendali logika *fuzzy* (KWh)

E_{pompa} = Energi yang digunakan motor pompa sebelum diterapkannya sistem kendali menggunakan metode logika *fuzzy* (KWh)

E_{pf} = Energi yang digunakan motor pompa setelah diterapkannya sistem kendali menggunakan metode logika *fuzzy* (KWh)

ΔE = Selisih energi dari kedua pengujian (KWh)

Pengumpulan data suhu dilakukan setiap 106 mili detik untuk meningkatkan respon perubahan kecepatan motor pompa. Sebanyak 5300 data suhu setiap pengujian dan dilakukan sebanyak 10 kali uji coba akan ditampilkan dalam bentuk grafik.

2.7. Analisa Efisiensi Daya

Analisa Efisiensi Daya dicari dengan cara menghitung biaya konsumsi energi listrik untuk dibayarkan oleh perusahaan yang digunakan untuk sebuah mesin *cnc* dalam satu tahun. Konsumsi energi listrik mesin *cnc* dapat bervariasi jumlahnya, sesuai dengan besar output dari setiap motor yang bergerak. Perbedaan kecepatan spindle, serta besar torsi yang dikeluarkan oleh motor servo dapat meningkatkan konsumsi energi dari setiap mesin. Penulis menghitung konsumsi energi listrik mesin dengan mengasumsikan bahwa sepuluh mesin lain dengan jenis mesin serupa, mengerjakan proses pekerjaan *cnc* yang sama meliputi program pemotongan, kecepatan spindle, kecepatan potong dan kedalaman potong. Waktu yang dibutuhkan dalam satu kali proses pengujian yang dilakukan adalah 9 menit 22 detik, maka jumlah rata-rata hasil produksi dari sebuah mesin *cnc* dalam satu hari adalah 150 buah. Jumlah hasil produksi tersebut dapat dihitung untuk mendapatkan konsumsi energi satu mesin *cnc* dalam waktu 24 jam. Jumlah hasil produksi sebuah mesin dalam 24 jam adalah 150 buah. Nilai tersebut digunakan untuk menghitung biaya konsumsi energi listrik untuk dibayarkan oleh perusahaan yang digunakan untuk sebuah mesin *cnc* dalam satu tahun dapat dihitung dengan persamaan (7), (8) dan (9).

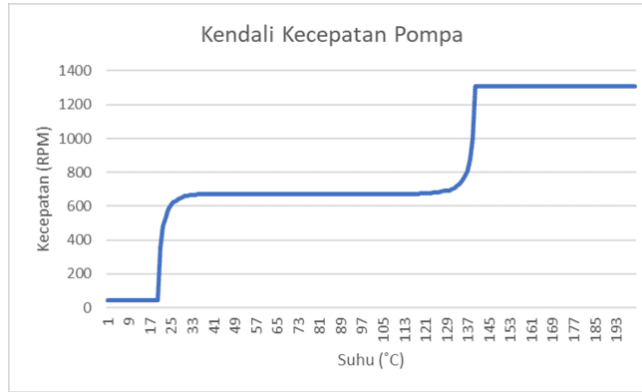
$$E_{per\ tahun} = E_{per\ hari} \times 365 \quad (7)$$

$$Biaya\ Listrik\ (mesin\ CNC) = E_{per\ tahun} \times Biaya\ per\ KWh \quad (8)$$

$$Penghematan = Biaya\ Sebelum - Biaya\ sesudah \quad (9)$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Perubahan Kecepatan Pompa Coolant

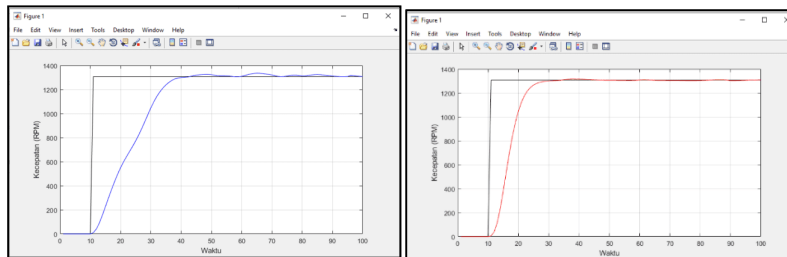


Gambar 7. Hubungan Antara Input Suhu Benda Kerja Dan Kecepatan Motor Pompa

Hasil defuzzifikasi sistem kendali logika *fuzzy* merepresentasikan hubungan antara input suhu benda kerja, dengan kecepatan motor pompa dapat dilihat pada gambar 7. Hasil hubungan antara suhu benda kerja terhadap kecepatan motor pompa yang diperoleh dari algoritma *fuzzy* yang didesain menunjukkan grafik yang tidak linear. Suhu benda kerja 0 °C hingga 20 °C, kendali kecepatan motor pompa adalah 43 Rpm. Suhu benda kerja 21 °C hingga 34 °C, kecepatan motor pompa meningkat perlahan hingga 667 Rpm. Suhu 35 °C hingga 118 °C, kendali kecepatan motor pompa stabil pada 673 Rpm. Suhu 119 °C hingga 139 °C, kecepatan motor pompa meningkat perlahan hingga 997 Rpm. Suhu 140 °C hingga lebih dari 200 °C, kendali kecepatan motor pompa adalah 1308 rpm.

3.2. Pengujian Kinerja Sistem Kendali Fuzzy

Grafik respon sistem kendali motor pompa *coolant* ditampilkan pada gambar 8.



Gambar 8. Grafik Respon Sistem Kendali Original Mesin dan Logika *Fuzzy*

Data perhitungan yang diperoleh dalam satuan milidetik adalah sebagai berikut:

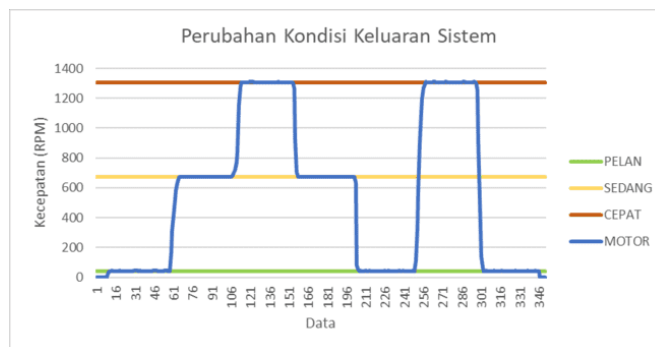
Tabel 3. Data Perhitungan Kinerja Sistem Kendali

Jenis	Kendali Bawaan Mesin	Kendali Logika <i>Fuzzy</i>
Waktu Naik (<i>Tr</i>)	1930 md	884 md
Waktu Tunak (<i>Ts</i> 2%)	6642 md	2620 md

Jenis	Kendali Bawaan Mesin	Kendali Logika Fuzzy
Waktu Puncak (T_p)	6500 md	3800 md
Overshoot ($\%Os$)	2.14 %	0.68 %
Puncak ($Peak$)	1336 Rpm	1317 Rpm
Tunak Minimum (S_{min})	1181 Rpm	1178 Rpm
Kesalahan Kondisi Stabil (SSE)	0 Rpm	0 Rpm

Hasil perhitungan diatas menunjukkan waktu naik sistem (T_r) menurun sebanyak 1046 milidetik atau lebih dari satu detik, *overshoot* ($\%os$) yang terjadi menurun hingga 1,46 persen dan besar fluktuasi kecepatan ($Peak-S_{min}$) menurun dari 155 Rpm menjadi 139 Rpm. Peningkatan tersebut juga terlihat dari menurunnya waktu tunak (T_s) yaitu waktu sistem untuk memasuki respon 2% dari *steady state*, dimana sistem kendali bawaan mesin membutuhkan waktu 6642 milidetik sedangkan sistem kendali menggunakan logika *fuzzy* hanya membutuhkan 2620 milidetik. Selisih waktu tunak dari kedua sistem tersebut adalah 4022 milidetik. Kesalahan kondisi stabil (*Error Steady-State*) dari sistem ini adalah 0 rpm dengan membutuhkan waktu 10 detik 600 milidetik untuk memasuki respon stabil maksimum.

Performa sistem kendali juga ditinjau berdasarkan kemampuan respon sistem terhadap perubahan kondisi (*state*) keluaran (*output*) terhadap perubahan nilai masukan (*input*) yang signifikan. Pengujian dilakukan dengan menyimulasikan nilai masukan dan mencatat setiap perubahan nilai dari setiap keluaran sistem selama lima detik sehingga kondisi keluaran *fuzzy* (PELAN, SEDANG, dan CEPAT) dapat berubah-ubah. Data yang diperoleh dalam satuan waktu (milidetik) ditampilkan pada gambar 9. dan tabel 4.



Gambar 9. Grafik Waktu Perubahan Kondisi Keluaran Sistem

Tabel 4. Waktu Perubahan Kondisi Keluaran Sistem

Perubahan Kondisi			Waktu (md)
PELAN	–	SEDANG	742
PELAN	–	CEPAT	848
SEDANG	–	PELAN	318
SEDANG	–	CEPAT	742
CEPAT	–	PELAN	530
CEPAT	–	SEDANG	318

3.3. Pengujian Pada Proses Pemotongan

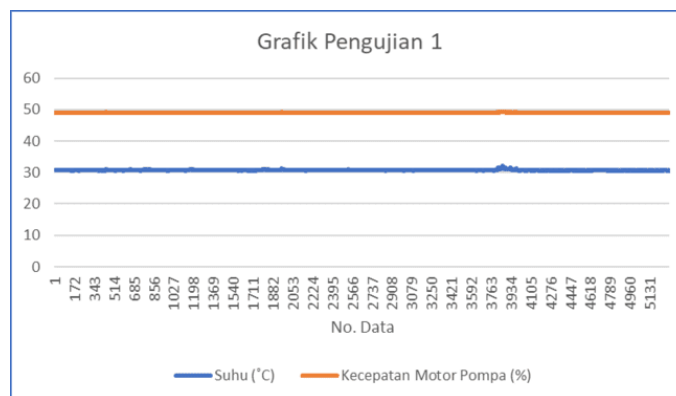
Tabel 5. menampilkan jumlah pemotongan dan jumlah energi yang dibutuhkan pada setiap proses pemotongan.

Tabel 5. Data Jumlah Energi Pada Setiap Pengujian

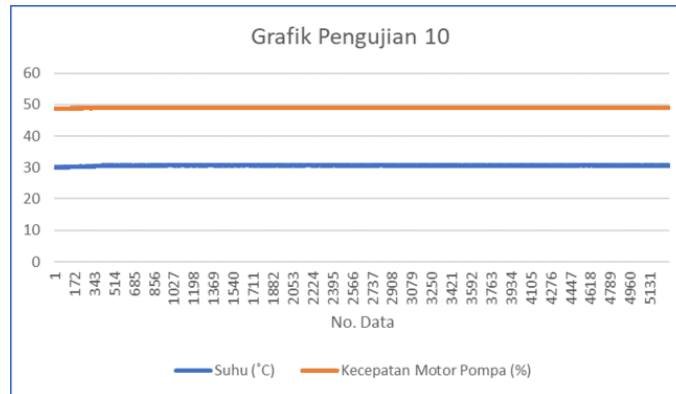
No. Uji Coba	Benda Kerja	Diameter (mm)		Total Energi (KWh)	
		Awal (D ₀)	Akhir (D ₁)	Tanpa <i>fuzzy</i> (E _f)	Dengan <i>fuzzy</i> (E _{mf})
1	Pertama	35	30	0,29	0,23
2		30	25	0,30	0,23
3		25	20	0,30	0,23
4		20	15	0,30	0,23
5		15	10	0,30	0,23
6	Kedua	35	30	0,30	0,23
7		30	25	0,30	0,23
8		25	20	0,30	0,22
9		20	15	0,29	0,23
10		15	10	0,30	0,23
		Rata-Rata (Kwh)		0,30	0,23

Besar rata-rata dari energi listrik yang digunakan dalam satu kali proses pemotongan selama 9 menit 22 detik adalah 0,30 KWh menggunakan sistem kendali bawaan mesin, dan 0,23 KWh menggunakan sistem kendali logika *fuzzy*. Energi motor pompa pada kecepatan penuh selama siklus proses pemotongan 9 menit 22 detik adalah 0,1401 KWh (persamaan 3.). Jumlah energi yang dibutuhkan oleh komponen mesin lainnya selama proses pemotongan dihitung dari nilai tersebut adalah 0,1596 KWh (persamaan 4.) dan jumlah energi motor pompa *coolant* setelah diaplikasikannya sistem kendali metode logika *fuzzy* dapat dihitung menggunakan rumus sebelumnya (persamaan 5.), dan didapatkan hasil 0,0704 KWh. Besar penurunan energi yang terjadi jika dihitung menggunakan persamaan 6. adalah 69,7 Wh.

Data suhu per detik sebagai bukti diperolehnya nilai penurunan energi listrik pompa *coolant* dalam salah satu proses uji coba dapat dilihat pada lampiran diakhir laporan. Gambar 10. sampai gambar 11. menampilkan grafik hubungan antara suhu benda kerja dengan kecepatan motor pompa.



Gambar 10. Grafik Pengujian 1







Gambar 11. Grafik Pengujian 10

3.4. Pengukuran Kehalusan Hasil Akhir Benda Kerja

Tabel 6. memuat hasil pengukuran ketinggian permukaan tertinggi dan terendah hasil benda kerja dari kedua pengujian yang dilakukan.

Tabel 6. Pengukuran Kehalusan Benda Kerja

Pengujian	Gambar		Pembacaan Alat Ukur (mm)		Selisih (mm)
	Terendah	Tertinggi	Terendah	Tertinggi	
Tanpa Kendali Fuzzy			0,000	0,003	0,003
Dengan Kendali Fuzzy			0,000	0,003	0,003

Hasil pengukuran kehalusan benda kerja menunjukkan bahwa kehalusan benda kerja dari pengujian pertama dan pengujian kedua memiliki selisih 0,000 mm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penurunan kecepatan aliran cairan *coolant* hingga kurang lebih 50 persen tidak mempengaruhi kualitas dari benda kerja secara signifikan.

3.5. Biaya Konsumsi Listrik Perusahaan

Tabel 11. Biaya Konsumsi Listrik Perusahaan

	Konsumsi Energi Per Tahun (KWh)	Biaya Konsumsi Energi Listrik Per Tahun
Sebelum Diterapkan	16.425	Rp. 23.717.700
Setelah Diterapkan	12.592,5	Rp. 18.183.570
Penghematan	3.832,5	Rp. 5.534.130

Konsumsi energi listrik dibayarkan oleh perusahaan yang digunakan untuk sebuah mesin *cnc* bubut dalam satu tahun dapat dihitung (persamaan 7.) dan didapatkan hasil 16.425 KWh saat menggunakan metode kendali bawaan mesin dan 12.592,5 KWh saat setelah diterapkannya metode kendali menggunakan logika *fuzzy*. Penghematan energi listrik yang didapatkan adalah 3.832,5 KWh.

Sesuai dengan penyesuaian tarif tenaga listrik oleh PLN bulan April – Juni 2023 (PT. PLN (Persero), 2023), biaya listrik perusahaan yang memiliki golongan B-2/TR adalah Rp.1.444,70 per KWh. Dapat dihitung besar tarif listrik perusahaan dalam satu tahun (untuk mesin *cnc*)(persamaan 8.) adalah Rp. 23.717.700 saat sebelum diterapkan dan Rp. 18.183.570 saat setelah diterapkannya sistem kendali motor pompa *coolant* menggunakan metode logika *fuzzy*. Penurunan biaya listrik perusahaan (persamaan 9.) jika diterapkannya sistem *fuzzy* pada setiap mesin sebanyak Rp.5.534.130 atau sebesar 23,3%.

4. Kesimpulan

Setelah melakukan penelitian, dapat disimpulkan bahwa penerapan metode kendali logika *fuzzy* pada sistem kendali kecepatan motor pompa *coolant* mesin CNC bubut menghasilkan peningkatan yang signifikan. Peningkatan tersebut mencakup berbagai aspek, seperti penurunan waktu naik (Tr) sebanyak 1046 milidetik, pengurangan overshoot (%os) sebesar 1,46%, dan penurunan waktu tunak (Ts) untuk mencapai kondisi stabil sistem sebanyak 4022 milidetik.

Selain itu, hasil penelitian juga menunjukkan bahwa sistem kendali *fuzzy* memiliki respons yang efisien terhadap perubahan nilai masukan yang signifikan. Dalam mengadaptasi perubahan, waktu yang dibutuhkan oleh sistem kendali *fuzzy* adalah sebagai berikut: 742 milidetik untuk perubahan dari kecepatan pelan ke sedang, 848 milidetik untuk perubahan dari kecepatan pelan ke cepat, 318 milidetik untuk perubahan dari kecepatan sedang ke pelan, 742 milidetik untuk perubahan dari kecepatan sedang ke cepat, 530 milidetik untuk perubahan dari kecepatan cepat ke pelan, dan 318 milidetik untuk perubahan dari kecepatan cepat ke sedang.

Selain meningkatkan efisiensi sistem kendali, penerapan metode kendali logika *fuzzy* juga menghasilkan penghematan energi listrik yang signifikan. Konsumsi energi listrik per mesin CNC turun sebesar 0,0697 KWh, dari 0,30 KWh menjadi 0,23 KWh selama proses pekerjaan berlangsung selama 9 menit 22 detik. Hal ini juga berdampak positif pada biaya listrik perusahaan, dengan penurunan sebesar 23,3% dalam satu tahun, yang setara dengan penghematan sejumlah Rp. 5.534.130. Secara keseluruhan, penerapan metode kendali logika *fuzzy* pada sistem kendali motor pompa *coolant* mesin CNC bubut telah membawa manfaat yang nyata dalam hal peningkatan efisiensi dan penghematan biaya operasional.

Referensi

- [1] Hwacheon.co, LTD. (2021, Juni 10). *Panduan Penting Mesin Milling (Frais) CNC*. Diakses pada 17 Juni 2020, dari Hwacheon: <https://hwacheonasia.com/id/CNC-milling-machines>
- [2] PT. Emindo Tri Panca. (2020, November 12). *Pentingnya Coolant Pada Mesin Milling Dan Mesin Bubut*. (PT. Emindo Tri Panca). Diakses pada 17 Juni 2022, dari <https://emindotripanca.com/pentingnya-coolant-pada-mesin-milling-dan-mesin-bubut/>
- [3] Rumondor M.J., P. R. (2020). PENGARUH KECEPATAN ALIRAN PENDINGIN TERHADAP PANAS PEMOTONGAN PADA PEMBUBUTAN BENDA KERJA SILINDRIS. *Jurnal Online Poros Teknik Mesin, Vol. 9 No. 2*, Hal. 149-160.
- [4] Waykenrm. (2021, Mei 17). *Which CNC Coolant Should You Pick When Milling Aluminium*. (Wayken Rapid Manufacturing). Diakses pada 17 Juni 2022, dari <https://waykenrm.com/blogs/which-cnc-coolant-should-you-pick-when-milling-aluminum/>
- [5] Baotn Intellegent Lubrication Technology Co, Ltd. (2020, Januari 11). *MTS-B Immersion Type High Pressure Coolant Pump Vertical Multistage Centrifugal Pump*. (Baotn). Diakses pada 17 Juni 2022, dari <https://www.baotn.com/mts-b-immersion-type-high-pressure-coolant-pump-vertical-multistage-centrifugal-pump.html>
- [6] Zaelani. (2018). *PENGARUH HARMONISA DAN FAKTOR DAYA TERHADAP PENGUKURAN KWH METER SATU FASA DENGAN BEBAN INSTALASI DAYA*. Bandung: Politeknik Negeri Bandung.
- [7] Alhafiz, A. (2020, Agustus). Implementasi Metode Fuzzy Logic Pada Intensitas Lampu di Laboratorium Berbasis Arduino. *Jurnal SAINTIKOM, Vol.19 No.2*, Hal. 36-45.
- [8] Kusumadewi, S. (2002). *Analisis Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Tool Box Matlab*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [9] Nadhif M., d. S. (2015, Desember). Aplikasi Fuzzy Logic untuk Pengendali Motor DC Berbasis Mikrokontroler ATMega8535 dengan Sensor Photodiode. *Jurnal Teknik Elektro, Vol. 7 No. 2*, Hal. 81-85.
- [10] Setiadji. (2009). *Himpunan & Logika Samar Serta Aplikasinya*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [11] Huda D.N., S. D. (2018). Desain Dan Implementasi Non-Contact Thermometer Menggunakan Infrared Untuk Surveillance Berbasis Board Mikrokontroler. *Jurnal Ilmiah Universitas Tanjungpura (UNTAN), Vol. 2, No. 1*.
- [12] Uddin, M. A. (2010). Design, Implementation and Performance Analysis of a Low-cost Optical Tachometer. *IIUC Studies, Vol.7*, 107.

Implementasi *filter* LCL pada Inverter SPWM

Implementation of LCL filters on SPWM Inverters

Raihan Nurhakim¹, Fadlika Ardiansyah² Muhammad Adli Rizulloh³

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

Jl. Dr. Setiabudhi No.299 Bandung 40154 Jawa Barat – Indonesia Telp. 022-2013163
raihannurhakim@upi.edu¹, fadlikaardiansyah@upi.edu², Muhammad.adli.riz@upi.edu³

Abstrak – Seiring dengan pertumbuhan sumber energi terbarukan dan integrasinya dengan jaringan, kualitas tenaga keseluruhan mengalami penurunan. Hal ini terutama disebabkan oleh harmonik yang diperkenalkan ke jaringan dari penggunaan meningkatnya perangkat elektronik daya dalam pengaturan inverter. Sebuah filter LCL yang dirancang dengan efektif dapat meningkatkan kualitas tenaga dari inverter satu fase yang terhubung dengan utilitas utama. Didorong oleh pemahaman ini, para peneliti berfokus pada pembuatan filter LCL, memastikan kinerja optimal sambil meminimalkan faktor-faktor seperti variasi frekuensi sakelar, distorsi harmonik total (THD), ukuran induktor, dan faktor daya dari arus jaringan. Temuan yang disajikan telah divalidasi menggunakan platform PSIM, yang mengkonfirmasi keunggulan desain yang diusulkan. LCL dengan parameter $L_i = 67,8\text{mH}$, $L_g = 13$, $C_f = 657.5\text{nF}$ dan $R_f = 131.257\Omega$ dapat menurunkan THD yang awalnya 0.579% menjadi 0.19%. Selain filter, besarnya beban juga mempengaruhi besaran V_{max} serta V_{rms} dari output Inverter SPWM. Semakin mendekati Z_b maka V_{max} serta V_{rms} yang dihasilkan akan semakin kecil. Pada saat RL mendekati Z_b maka noise akan semakin besar, hal ini menyebabkan Frekuensi harmonik muncul kembali. Kedepannya perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai implementasi closed loop untuk mengatur modulation index, sehingga pada saat terjadi perubahan beban RL, V_{max} serta V_{rms} tidak akan terpengaruh

Kata Kunci: Inverter SPWM · Filter LCL · Frekuensi switching · THD

Abstract – As renewable energy sources and their integration with the grid continue to grow, the overall quality of power experiences a decline. This is primarily due to the harmonics introduced to the grid from the increasing use of power electronic devices in inverter setups. An effectively designed LCL filter can enhance the power quality of a single-phase inverter that's linked with the main utility. Driven by this understanding, the researchers focused on crafting an LCL filter, ensuring optimal performance while minimizing factors like switching frequency variance, total harmonic distortion (THD), inductor size, and the power factor of the grid current. The findings presented have been validated using the PSIM platform, confirming the excellence of the proposed design. An LCL filter with parameters $L_i = 67.8\text{mH}$, $L_g = 13$, $C_f = 657.5\text{nF}$, and $R_f = 131.257\Omega$ can reduce the initial THD from 0.579% to 0.19%. Besides the filter, the load size also affects the values of V_{max} and V_{rms} of the Inverter SPWM output. As it approaches Z_b , both V_{max} and V_{rms} produced will decrease. When RL approaches Z_b , noise increases, leading to the reappearance of harmonic frequencies. In the future, further research is needed to implement a closed-loop control for regulating the modulation index, ensuring that changes in the RL load do not affect V_{max} and V_{rms} .

Keywords: SPWM inverter · LCL filter · Switching frequency · THD

1. Pendahuluan

Permintaan energi global yang meningkat serta upaya penghematan konsumsi bahan bakar fosil mendorong pemanfaatan sumber energi terbarukan untuk memenuhi kebutuhan energi. Di antaranya, penggunaan energi fotovoltaik (PV) matahari sangat populer karena memiliki banyak kelebihan. Energi tersebut tersedia dalam bentuk sumber DC dan memerlukan konversi melalui inverter dengan kapasitas sesuai kebutuhan konsumen. Karena keluaran AC dari inverter tidak bersifat sinusoidal, perancangan sirkuit filter yang tepat sangat penting untuk menjadikannya sinusoidal agar menghindari kerugian energi pada peralatan rumah tangga. Di sisi lain, ketika sistem inverter PV terintegrasi dengan jaringan listrik, filter akan meningkatkan kualitas daya listrik.

Untuk menurunkan distorsi harmonik total (THD) dari arus inverter, filter LCL saat ini lebih populer dibandingkan dengan filter L dan filter LC [1]. Pemilihan nilai induktor dan kapasitor untuk filter LCL adalah kriteria penting untuk meningkatkan kualitas arus keluaran inverter dan arus jaringan, sehingga meningkatkan kualitas daya yang disalurkan ke jaringan [2, 3]. Besarnya arus serta daya aktif dan reaktif dari inverter dapat dikontrol melalui pengontrol loop tertutup bila dibandingkan dengan sinyal referensi [4-6], di mana THD dari arus tidak dapat dikontrol tanpa filter LCL. Dengan kehadiran komponen pasif dari filter, sebuah resistensi kecil harus dimasukkan secara seri dengan kapasitansi filter untuk peredaman yang tepat. Selain itu, karena kehilangan daya yang disebabkan oleh elemen pasif dari filter, pengenalan peredaman aktif dalam sirkuit lebih disukai [7].

THD dapat dikendalikan langsung dari inverter melalui topologi saklar yang tepat dengan frekuensi saklar yang lebih tinggi. Modulasi lebar pulsa sinusoidal (SPWM) dan teknik kontrol histeresis bisa menjadi solusi untuk menurunkan THD [8, 9]. Selain itu, ukuran filter akan berkurang, tetapi saklar inverter akan mengalami tekanan saklar yang tinggi dan kerugian saklar yang besar. Meskipun hal ini dapat dikurangi dengan teknik soft-switching, keseluruhan sirkuit saklar akan menjadi lebih rumit. Penelitian yang diusulkan ini mencari titik tengah antara frekuensi saklar dari inverter dan ukuran filter LCL dengan THD dari arus jaringan.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini memfokuskan diri pada metode modulasi lebar pulsa sinusoidal (SPWM) yang dikenal memiliki keunggulan dalam menghasilkan keluaran dengan kandungan harmonik yang rendah.

2.1. Inverter SPWM Satu Fasa

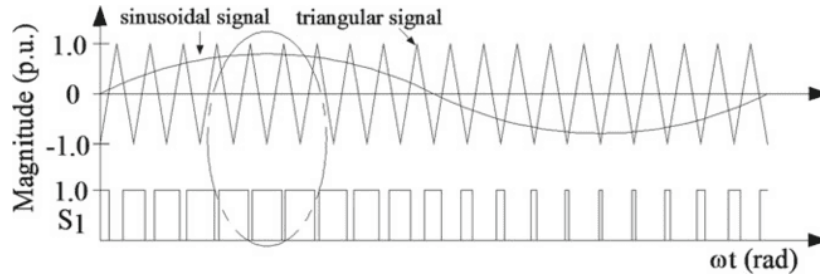
Metode modulasi lebar pulsa sinusoidal (SPWM) banyak digunakan karena memiliki banyak kelebihan dan kandungan harmonik rendah pada keluarannya. Tegangan keluaran dari inverter dapat dikontrol dengan mengubah indeks modulasi, yang didefinisikan sebagai rasio antara puncak sinyal pemodulasi dan sinyal pembawa. Oleh karena itu,

$$m_a = \frac{v_{sin}}{v_{tri}} \quad (1)$$

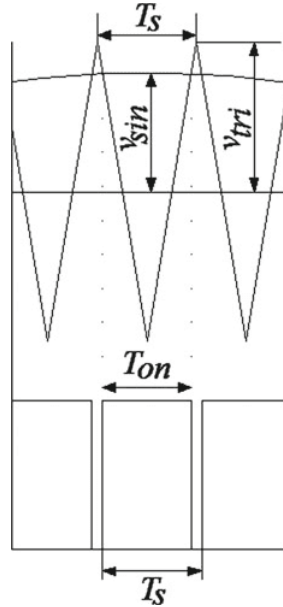
Di mana v_{sin} dan v_{tri} adalah nilai puncak dari gelombang sinus pemodulasi dan nilai puncak dari gelombang segitiga pembawa, masing-masing. Karena tegangan keluaran inverter ditentukan oleh nilai puncak dari sinyal pemodulasi, maka tegangan fundamental dari inverter akan sesuai menjadi,

$$V_{i1} = \frac{m_a V_{dc}}{\sqrt{2}} \quad (2)$$

Gambar 1 menunjukkan pengembangan sinyal SPWM melalui perbandingan antara sinyal sinusoidal dengan sinyal segitiga. Gambar 2 adalah tampilan perbesaran dari sebuah bagian



Gambar 1 Pengembangan sinyal SPWM



Gambar 2 Tampilan perbesaran dari perbandingan sinus-segitiga.

dari Gambar 2 untuk memahami hubungan antara rasio tugas (duty ratio) dan indeks modulasi.

2.2. Pemodelan Filter LCL

Secara umum, keluaran dari inverter bukanlah sinusoidal dan mengandung beberapa harmonik. Gambar 4 menunjukkan diagram rangkaian dari filter LCL, yang dapat diatur oleh persamaan berikut.

$$L_i \frac{di_i}{dt} = v_i - v_c - (R_i + R_f)i_i + R_f i_g \tag{3}$$

$$L_g \frac{di_g}{dt} = v_c - v_g + R_f i_i - (R_f + R_g) i_g \tag{4}$$

$$\frac{dv_c}{dt} = \frac{i_i - i_g}{C_f} \tag{5}$$

Di mana V_i adalah tegangan AC di sisi inverter, V_g adalah tegangan AC di sisi jaringan, v_c adalah tegangan melintasi kapasitor, R_i adalah resistansi internal dari induktor sisi inverter L_i , R_g adalah resistansi internal dari induktor sisi inverter L_g , C_f adalah kapasitansi filter, dan R_f adalah resistansi redaman.

Matriks keadaan dari filter dapat diungkapkan sebagai:

$$\begin{bmatrix} \frac{di_i}{dt} \\ \frac{di_g}{dt} \\ \frac{dv_c}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_i+R_f}{L_i} & \frac{R_f}{L_i} & -\frac{1}{L_i} \\ \frac{R_f}{L_g} & -\frac{R_f+R_g}{L_g} & \frac{1}{L_g} \\ \frac{1}{C_f} & -\frac{1}{C_f} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_i \\ i_g \\ v_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L_i} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{L_s} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_i \\ V_g \end{bmatrix} \quad (6)$$

Yang diungkapkan sebagai $x = Ax + Bu$. Fungsi transfer dari rangkaian filter dapat diperoleh dengan persamaan berikut.

$$\frac{i_g}{v_i} = C[sI - A]^{-1}B \quad (7)$$

Dimana :

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{R_i + R_f}{L_i} & \frac{R_f}{L_i} & -\frac{1}{L_i} \\ \frac{R_f}{L_s} & -\frac{R_f + R_g}{L_s} & \frac{1}{L_s} \\ \frac{1}{C_r} & -\frac{1}{C_f} & 0 \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} \frac{1}{L_i} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{L_s} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \text{ dan } C = [0 \quad 1 \quad 0]$$

Dengan mengabaikan nilai resistansi internal dari induktor, yaitu dengan mempertimbangkan $R_i = R_g = 0$, fungsi transfer dari sistem dapat dituliskan sebagai:

$$\frac{i_g}{v_i} = \frac{R_f C_f s + 1}{s[L_i \quad L_g \quad C_f s^2 + R_f C_f (L_i + L_g)s + (L_i + L_g)]} \quad (8)$$

Persamaan karakteristik dari Persamaan (10) dituliskan sebagai:

$$s^2 + R_f \left(\frac{1}{L_i} + \frac{1}{L_g}\right)s + \frac{1}{C_f} \left(\frac{1}{L_i} + \frac{1}{L_g}\right) = 0 \quad (9)$$

Dengan membandingkan persamaan dengan $S^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2 = 0$ rasio redaman dapat diestimasi sebagai Desain Filter LCL untuk Inverter SPWM Berbasis..

$$\xi = \frac{1}{2} R_f \sqrt{C_f \left(\frac{1}{L_i} + \frac{1}{L_g}\right)} \quad (10)$$

3. Hasil dan Pembahasan

Dalam upaya menyelidiki dan mengembangkan solusi teknologi yang lebih efisien, kami telah memfokuskan perhatian pada desain filter LCL dan analisis performa yang berhubungan. Dengan pertumbuhan yang signifikan dalam bidang energi terbarukan dan kebutuhan untuk meningkatkan kualitas tenaga yang disuplai ke jaringan, pentingnya memiliki filter yang dioptimalkan menjadi lebih kritical. Di sini, kami akan membahas proses yang kami lalui saat merancang filter dan hasil-hasil yang kami temukan selama fase pengujian dan evaluasi. Kedua aspek ini saling berkaitan, dengan desain yang mendasari kinerja dan analisis performa yang memberikan masukan berharga untuk iterasi desain selanjutnya. Dalam bab ini, kami akan mendalami rincian teknis dari proses tersebut dan memberikan wawasan tentang bagaimana penelitian ini dapat membantu meningkatkan standar dalam aplikasi terkait.

3.1. Rancangan Filter

Untuk merancang filter LCL, beberapa karakteristik filter harus dipertimbangkan, seperti arus ripple, peredaman ripple sakelar, ukuran filter, dll. Faktor redaman dari filter LCL adalah kriteria penting, sehingga harus disertakan peredaman pasif dengan memasukkan resistansi secara seri dengan kapasitansi seperti yang diindikasikan di Persamaan (10). Parameter yang diperlukan

untuk merancang rangkaian filter adalah tegangan link DC V_{dc} , keluaran tegangan fundamental dari inverter V_{i1} , daya aktif yang dinilai P_n , frekuensi sakelar f_s , frekuensi resonansi f_r , dan frekuensi jaringan f_g . Impedansi dasar dan kapasitansi dasar didefinisikan oleh persamaan berikut:

$$Z_B = \frac{V_{i1}^2}{P_n} \tag{11}$$

Dan

$$C_B = \frac{1}{\omega_g Z_B} \tag{12}$$

Kapasitor filter harus dirancang dengan mempertimbangkan variasi maksimum dari faktor daya di sisi jaringan, yang adalah 5%, sehingga nilai kapasitansi filter akan menjadi $C_f = 0,05C_B$. Jika diperlukan, nilai kapasitansi filter mungkin dianggap lebih tinggi dari 5% kapasitansi dasar agar dapat mengkompensasi reaktansi induktif dari filter. Arus ripple dari induktor sisi inverter Δi_i dapat diperkirakan sebagai:

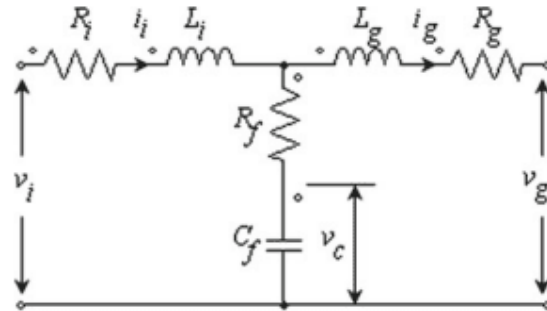
$$V_{dc} - V_o = L_i \frac{\Delta i_i}{DT_s} \tag{13}$$

Atau,

$$\Delta i_i = \frac{D \times (V_{dc} - V_o)}{L_i \times f_s}$$

Atau,

$$\Delta i_i = \frac{D(1-D)V_{dc}}{L_i f_s} \tag{14}$$



Gambar 3 Rangkaian Filter LCL

Di mana V_o adalah tegangan sisi jaringan yang merujuk ke sisi DC dan dapat dengan mudah dianggap sebagai DV_{dc} . Karena bentuk gelombang tegangan keluaran dari inverter adalah refleksi dari siklus kerja yang bervariasi secara sinusoidal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 dan 3, arus ripple yang merujuk ke sisi AC dapat ditulis menggunakan Persamaan (14) sebagai:

$$\Delta i_i = \frac{m_a(1-m_a)V_{dc}}{L_i f_s} \tag{15}$$

Dari Persamaan (15) jelas bahwa arus ripple maksimum akan terjadi pada $D = 0,5$ dan nilainya dapat diperkirakan sebagai:

$$\Delta i_{imax} = \frac{V_{dc}}{4L_i f_s}$$

Atau

$$L_i = \frac{V_{dc}}{4f_s \Delta i_{imax}} \quad (16)$$

Pada sebagian besar kasus, induktor sisi jaringan dirancang dengan mempertimbangkan 20% dari nilai induktor yang terhubung di sisi inverter. Ini akan memberikan peredaman yang lebih baik, khususnya pada frekuensi di atas harmonik ke-50 dan dapat dihitung sebagai:

$$L_g = 0.2L_i \quad (17)$$

Frekuensi osilasi alami dapat dengan mudah diperkirakan dari Persamaan (9) sebagai berikut:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{L_i + L_g}{L_i \cdot L_g \cdot C_f}} \quad (18)$$

Dari Persamaan (10) dan (18), resistansi redaman R_f dapat dihitung dengan sederhana dengan mempertimbangkan rasio redaman $\xi = 0.5$, yang memberikan hasil,

$$R_f = \frac{1}{\omega_r \cdot C_f} \quad (19)$$

Juga, daya aktif dan daya reaktif yang mengalir melalui induktor akibat komponen fundamental dari arus inverter dapat diungkapkan sebagai:

$$P_i = \frac{V_{i1} V_g}{x} \sin \delta \quad (20)$$

Dan,

$$Q_i = \frac{V_{i1}}{x} (V_{i1} - V_g \cos \delta) \quad (21)$$

Di mana δ adalah sudut antara komponen fundamental dari tegangan keluaran inverter dan tegangan jaringan, dan x adalah reaktansi induktif seri dari filter yang sama dengan $L_i + L_g$.

3.2. Analisis Performa

Untuk menentukan komponen filter, data berikut diperlukan: tegangan fasa keluaran (E_n), daya aktif (P_n), tegangan sumber (V_{dc}), frekuensi grid (f_g), dan frekuensi *switching* (f_{sw}). Jika tegangan keluaran diharapkan pada 220 V/50Hz dengan amplitudo modulasi SPWM $m_a=0.9$, maka tegangan sumbernya adalah sekitar:

$$V_{dc} = \frac{E_n \cdot \sqrt{2}}{m_a} = \frac{220 \cdot \sqrt{2}}{0.9} = 345.6V \approx 350V \quad (22)$$

Kapasitansi sumber dihitung berdasarkan tegangan sumber (350V), frekuensi grid (50 Hz), dan daya aktif (200W). Sedangkan impedansi dasar (Z_b), kapasitansi dasar, dan arus maksimum dihitung berdasarkan E_n , P_n , dan f_g .

$$P_n = 200W$$

$$V_{dc} = 350V$$

$$f_g = 50Hz$$

$$f_{sw} = 10kHz$$

$$Z_b = \frac{E_n^2}{P_n} = \frac{220^2}{200} = 242\Omega$$

$$C_b = \frac{1}{\omega_g Z_b} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 242} = 13,15\mu F$$

$$I_{max} = \frac{P_n \cdot \sqrt{2}}{E_n} = \frac{200 \cdot \sqrt{2}}{220} = 1,285A$$

Dengan menggunakan pendekatan ΔI_{Lmax} 10% dari I_{max} , maka L_i , L_g dan C_f dapat diestimasi menggunakan persamaan berikut:

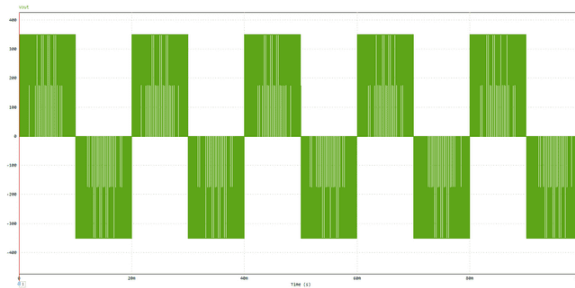
$$L_i = \frac{V_{DC}}{4 \cdot F_{sw} \cdot \Delta I_{Lmax}} = \frac{350}{4 \cdot 10^4 \cdot 0,129} = 67,8mH$$

$$C_f = 0,05 \cdot C_b = 0,05 \cdot 13,15 \cdot 10^{-6} = 657,5nF$$

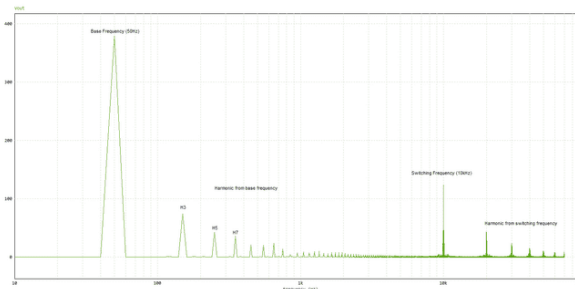
$$L_g = r \cdot L_1 = 0,2 \cdot 67,8 \cdot 10^{-3} = 13,6mH$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{L_i + L_g}{L_i \cdot L_g \cdot C_f}} = 11,587 \cdot 10^3$$

$$R_f = \frac{1}{C_f \cdot \omega_n} = 131,257\Omega$$

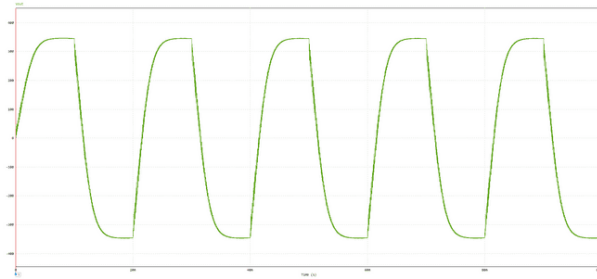


Gambar 4 Sinyal Keluaran Inverter SPWM

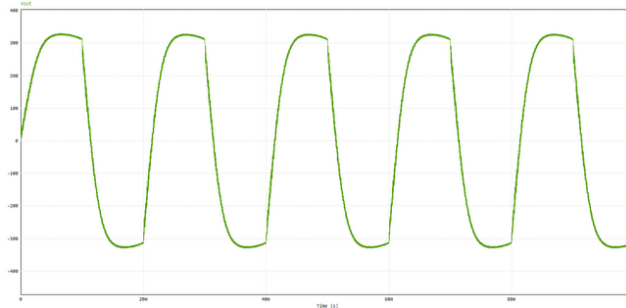


Gambar 5 FFT dari sinyal Keluaran Inverter SPWM

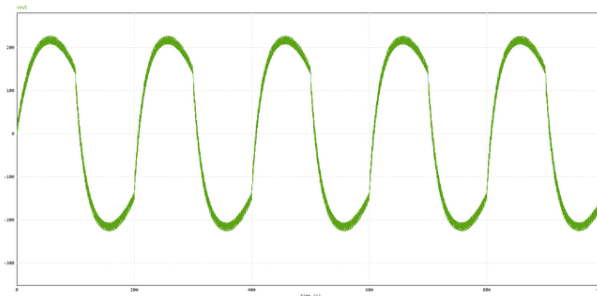
Nilai THD sebelum LCL filter diimplementasikan sebesar 0.579%. Beban (R_L) yang digunakan bersifat resistif, dengan nilai $1000 \times Z_b$, $100 \times Z_b$, $10 \times Z_b$ & Z_b .



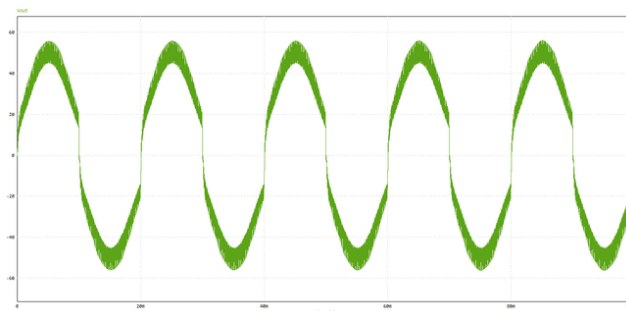
Gambar 6 Sinyal Keluaran Inverter SPWM pada saat $R_L = 242k\Omega$



Gambar 7 Sinyal Keluaran Inverter SPWM pada saat $R_L = 24,2k\Omega$

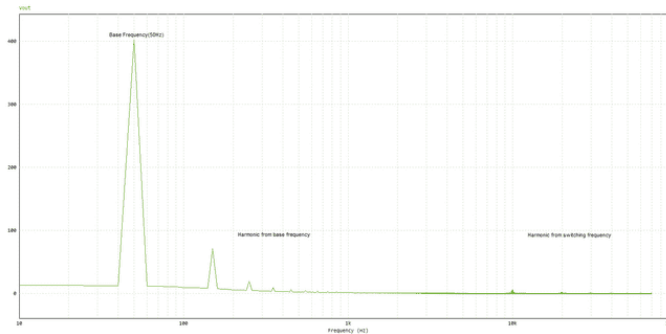


Gambar 8 Sinyal Keluaran Inverter SPWM pada saat $R_L = 2,42k\Omega$

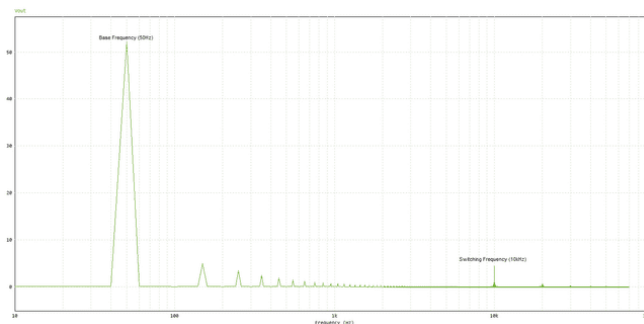


Gambar 9 Sinyal Keluaran Inverter SPWM pada saat $R_L = 242\Omega$

Semakin kecil nilai R_L , *noise* dari frekuensi switching semakin terlihat. Hal ini bisa dilihat pada Gambar 9. Selain tegangan V_{max} nya turun, sinyal keluaran inverter memiliki riak yang sangat terlihat.



Gambar 10 FFT dari sinyal Keluaran Inverter SPWM pada saat $RL = 242k\Omega$



Gambar 11 FFT dari sinyal Keluaran Inverter SPWM pada saat $RL = 242\Omega$

Semakin kecil nilai RL , maka nilai harmonik dari base dan switching frekuensi mulai menaik Kembali. Hal ini dapat dilihat dari gambar 10 dan 11.

Table 1 Uji coba hubungan perubahan beban terhadap tegangan serta THD

Beban (Ω)	Tegangan Puncak (V)	Tegangan RMS (V)	THD (%)
242k	346	290	0,19
24,2k	329	273	0,18
2,42k	226	174	0,17
242	40	37	0,16

4. Kesimpulan

Sebuah filter LCL dengan parameter $L_i = 67,8mH$, $L_g = 13$, $C_f = 657.5nF$ dan $R_f = 131.257\Omega$ dapat menurunkan THD yang awalnya 0.579% menjadi 0.19%. Selain filter, besarnya beban juga mempengaruhi besaran V_{max} serta V_{rms} dari output Inverter SPWM. Semakin mendekati Z_b maka V_{max} serta V_{rms} yang dihasilkan akan semakin kecil. Pada saat RL mendekati Z_b maka noise akan semakin besar, hal ini menyebabkan Frekuensi harmonik muncul kembali. Kedepannya perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai implementasi *closed loop* untuk mengatur modulation index, sehingga pada saat terjadi perubahan beban RL , V_{max} serta V_{rms} tidak akan terpengaruh.

Referensi

- [1] Hanju C, Vu TK (2010) Comparative analysis of low-pass output filter for single-phase gridconnected photovoltaic inverter. In: 25th annual IEEE applied power electronics conference and exposition (APEC), pp 1659–1665

- [2] Sedo J, Kascak S (2016) Control of single-phase grid connected inverter system. In: IEEE ELEKTRO, pp 207–212
- [3] Cossoli P, Cáceres M, Vera L, Firman A, Busso A (2018) Proportional-resonant controller and LCL filter design for single-phase grid-connected PV micro-inverters. In: IEEE PES transmission and distribution conference and exhibition.
- [4] Liu X, Ma P, He G, Wang D (2018) Study on control strategy of LCL type single-phase grid-connected inverter. In: 3rd international conference on mechanical, control and computer engineering (ICMCCE), pp 37–42
- [5] Tang H, Zhao R, Tang S, Zeng Z (2012) Linear quadratic optimal control of a single-phase grid-connected inverter with an LCL filter. IEEE Int Symp Indus Electron, pp 372–376
Design of LCL Filter for SPWM Inverter Based ... 451
- [6] Li X, Balog RS (2015) PLL-less robust active and reactive power controller for single phase grid-connected inverter with LCL filter. In: IEEE applied power electronics conference and exposition (APEC), pp 2154–2159
- [7] Cai P, Wu X, Yang Y, Yao W, Liu W, Blaabjerg F (2018) Design of digital filter-based highly robust active damping for LCL-filtered grid-tied inverters. In: IEEE 4th southern power electronics conference (SPEC)
- [8] Maghraby M, Ashour HA, Hossam-Eldin AA (2017) Analysis and implementation of discrete SPWM signals for grid-connected inverter with LCL filter. In: 9th international middle east power systems conference (MEPCON), pp 515–520
- [9] Sudhakar B, Satish Kumar GVS (2016) A unipolar fixed hysteresis band based sliding mode control of single phase grid connected LCL filtered voltage source inverter. In: IEEE international conference on power electronics, drives and energy systems (PEDES)

Tempat Sampah Pintar Berbasis *Internet of Things*

Internet Of Things-Based Smart Bin

Soni Alfanza^{1*}, Rieza Bahrul Ulum², Seta Samsiana³, Abdul Hafid Paronda⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Islam 45

Bekasi, Jl. Cut Meutia No. 83

Bekasi Timur, Kota Bekasi, 17113

sonialfanza2@gmail.com^{1*}, rieza120202@gmail.com²,

setasamsiana@unismabekasi.ac.id³, Hafid_paronda@unismabekasi.ac.id⁴

Abstrak – Tidak efisiennya pemilahan sampah secara manual, pengelolaan sampah yang mengandalkan pemilahan manual oleh petugas pengelola sampah seringkali tidak efisien dan memakan waktu. Penelitian ini bertujuan agar dapat meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan dalam pengelolaan sampah serta memfasilitasi proses daur ulang yang lebih baik. Penelitian ini membuat purwarupa tempat sampah pintar yang mampu memilah antara sampah logam dan non-logam dengan memanfaatkan sensor proximity kapasitif dan induktif. Selain itu, tempat sampah ini juga dapat mengirimkan informasi mengenai tinggi sampah dari jarak yang dideteksi sensor ultrasonic dengan akurasi sensor 97.67%, sehingga petugas dapat segera mengosongkan tempat sampah. Purwarupa ini telah berhasil memilah sampah secara otomatis dan juga telah berhasil mengirimkan notifikasi pada smartphone jika kotak sampah logam dan non logam tersebut sudah penuh yaitu dengan menggunakan platform IOT Thingspeak untuk pemantauan dan analisis data secara real-time tentang informasi volume sampah. Penerapan tempat sampah pintar ini dapat digunakan sebagai dasar untuk meningkatkan sistem pengelolaan sampah di berbagai lingkungan, seperti sekolah, perkantoran, perpustakaan, dan kampus.

Kata Kunci: Tempat sampah pintar, pemilahan sampah, logam, non-logam, IOT, ThingSpeak.

Abstract – The inefficiency of manual waste sorting, waste management relying on manual sorting by waste management personnel is often inefficient and time-consuming. This research aims to enhance efficiency and sustainability in waste management while facilitating a better recycling process. This research develops a prototype of a smart trash bin capable of sorting between metal and non-metal waste using capacitive and inductive proximity sensors. Additionally, this trash bin can transmit information about the trash's height from a distance detected by an ultrasonic sensor with a sensor accuracy of 97.67%, allowing personnel to promptly empty the trash bin. This prototype has successfully automated waste sorting and sends notifications to smartphones when the metal and non-metal trash bins are full, utilizing the IoT Thingspeak platform for real-time data monitoring and analysis of waste volume information. The implementation of these smart trash bins can serve as a foundation for improving waste management systems in various environments, such as schools, offices, libraries, and campuses.

Keywords: Smart bin, waste sorting, metal, non-metal, IoT, ThingSpeak.

1. Pendahuluan

Pengelolaan sampah yang mengandalkan pemilahan manual oleh petugas pengelola sampah seringkali tidak efisien dan memakan waktu. Proses ini dapat menyebabkan kesalahan pemilahan dan mengurangi efektivitas dalam proses daur ulang. Pengelolaan sampah yang efisien dan berkelanjutan merupakan tantangan besar dalam menjaga kebersihan lingkungan dan menjaga sumber daya alam. Pengelolaan sampah yang masih mengandalkan pemilahan manual oleh petugas pengelola sampah seringkali tidak efisien dan memakan waktu. Serta masalah lain yang



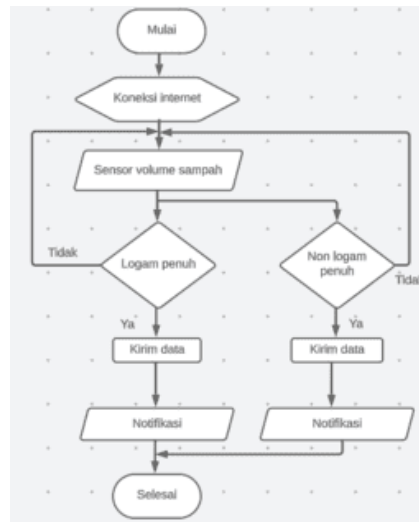
sering muncul juga adalah campuran logam dan non-logam dalam tempat sampah, yang sulit dipilah secara manual dan dapat menghambat proses daur ulang [1][2].

Penggunaan teknologi *IoT* memungkinkan pengumpulan data secara *real-time* dan pengambilan keputusan yang lebih efektif dalam pengelolaan sampah [3] [4]. Sistem ini akan terdiri dari jaringan tempat sampah pintar yang otomatis terbuka dan tertutup, fitur untuk memilah sampah logam dan logam serta perangkat komunikasi yang dapat mengirimkan data tentang tingkat volume kotak tempat sampah yaitu dengan platform *Thingspeak* untuk mengumpulkan, memproses, dan memvisualisasikan data dari berbagai perangkat terhubung [5] [6]. Dengan tempat sampah pintar ini yang berbasis *IOT* petugas kebersihan atau petugas sampah bisa dengan mudah memonitoring tempat sampah mana yang sudah penuh serta menghemat waktu dalam pemilahan karna sampah sudah dipilah otomatis dan siap untuk segera di pindahkan ke tempat pembuangan sampah [7] [8].

Dengan adanya tempat sampah pintar pemilah sampah berbasis *IOT* ini, diharapkan proses pemilahan sampah menjadi lebih cepat, akurat, dan efektif. Selain itu, informasi *real-time* yang tersedia melalui aplikasi *ThingSpeak* akan mempermudah pengguna dan pengelola sampah dalam pengambilan keputusan mengenai pengumpulan dan pengelolaan sampah [9] [10].

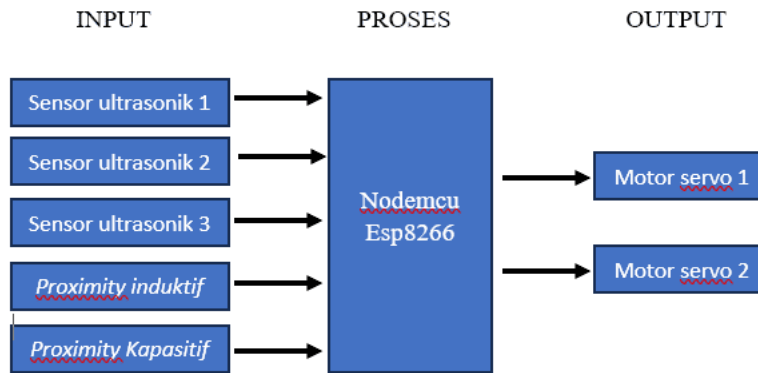
2. Metode Penelitian

Dalam pembuatan atau perancangan alat pada penelitian ini yaitu prototipe tempat sampah pintar berbasis *IoT* dilakukan analisis mengenai beberapa perangkat keras (*Hardware*) dan Perangkat lunak (*Software*).



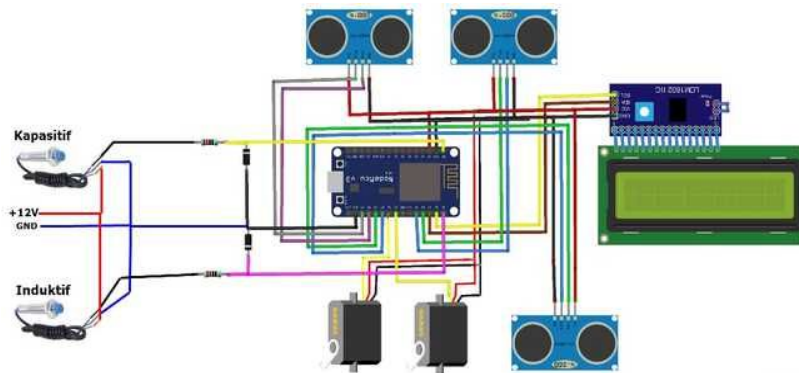
Gambar 7. Diagram alir kerja alat

Prototipe tempat sampah pintar berbasis *IoT* ini membentuk suatu sistem control dan sistem monitoring volume tempat sampah ketika penuh. Sistem ini dirancang menggunakan 3 buah sensor yaitu sensor ultrasonik, sensor *proximity* kapasitif dan sensor *proximity* induktif. sensor *proximity* kapasitif dan sensor *proximity* induktif yang akan mendeteksi sampah logam atau non logam, sedangkan sensor ultrasonik berfungsi monitoring volume tempat sampah logam atau non logam yang akan mengirim notifikasi pada HP (*handphone*) bila keadaan tempat sampah penuh.



Gambar 8. Blok diagram Tempat Sampah Pintar Berbasis *Internet Of Things (IOT)*

Pada gambar 2 terdapat blok diagram sistem tempat sampah pintar berbasis *Internet Of Things (IOT)* diatas bisa dilihat ada tiga bagian yaitu *Input*, proses dan *Output*. Pada bagian *Input* memiliki lima buah komponen yaitu yang pertama sensor ultrasonik 1 berfungsi sebagai pendeteksi jarak objek terdekat, yang kedua sensor ultrasonik 2 berfungsi sebagai pendeteksi volume sampah logam, yang ketiga sensor ultrasonik 3 berfungsi sebagai pendeteksi volume sampah non logam, yang ke empat sensor *proximity induktif* berfungsi untuk mendeteksi sampah logam, yang kelima sensor *proximity kapasitif* berfungsi untuk mendeteksi sampah non logam. Selanjutnya pada bagian proses hanya terdapat Nodemcu Esp8266 saja yang berfungsi sebagai mikrokontroler atau otak dari alat tersebut yang menjalankan program yang dibuat. Kemudian yang terakhir yaitu pada bagian *Output* terdapat 2 buah komponen yaitu yang pertama motor servo 1 berfungsi untuk menggerakkan tutup tempat sampah, dan yang kedua yaitu motor servo 2 berfungsi sebagai penggerak wadah pemilah sampah.



Gambar 9. Rangkaian Tempat Sampah Pintar Berbasis IoT

Gambar 3 adalah rangkaian instalasi pada rangkaian tempat sampah pintar berbasis *Internet of Things*. Rangkaian tersebut mencakup komponen-komponen yang akan digunakan dan sudah dihubungkan antara *input* dan *output* Nodemcu Esp8266 dengan kabel penghubung yaitu kabel jumper. sampah [7] [8].

Selain perancangan perangkat keras (*Hardware*) di butuhkan juga perancangan perangkat lunak (*Software*), dimana pada perancangan perangkat lunak ini mencakup 3 buah aplikasi yaitu yang pertama Arduino IDE berfungsi untuk membuat program yang diinginkan dan mengupload program tersebut ke Nodemcu Esp8266. Yang kedua yaitu platform *Thingspeak* untuk membuat *IoT* nya dan yang ketiga adalah aplikasi *Thingsshow* yaitu sebagai aplikasi tambahan untuk *widjet* tampilan monitoring.

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil pada perakitan atau perancangan pada tempat sampah pintar berbasis *IoT* (*Internet Of Things*) yang mempunyai dua bagian yaitu perakitan perangkat keras (*Hardware*) dan perangkat lunak (*Software*). Perangkat keras (*Hardware*) mencakup penjelasan mengenai spesifikasi rangkaian alat dan komponen-komponen yang digunakan dan perangkat lunak (*Software*) mencakup penjelasan mengenai tahapan pembuatan kode program yang akan mengendalikan perangkat keras (*Hardware*) serta *platform* aplikasi apa yang dipakai sebagai *IOT* (*Internet Of Things*) nya.

Pengujian keseluruhan pada alat dilakukan untuk dapat mengetahui apakah seluruh komponen-komponen dapat bekerja sesuai dengan program yang dibuat. Sensor pertama yang diuji adalah sensor ultrasonik. Sensor ultrasonik yang digunakan pada pembuatan alat ini ada tiga yaitu sensor ultrasonik 1 untuk membuka tempat sampah pintar saat manusia mendekati tempat sampah, sensor ultrasonik 2 untuk mendeteksi volume pada kotak sampah logam dan sensor ultrasonik 3 berfungsi untuk mendeteksi volume pada kotak sampah non logam.



Gambar 10. Pengujian jarak sensor ultrasonic

Tabel 1. Pengujian sensor ultrasonik 1

No.	Jarak Pengujian Sensor	Kondisi Motor servo 1
1.	5 cm	Terbuka
2.	10 cm	Terbuka
3.	15 cm	Terbuka
4.	20 cm	Terbuka
5.	25 cm	Tertutup

Tabel 1 menampilkan data pengujian sensor ultrasonik 1 untuk mengetahui jarak terjauh objek yang dapat dideteksi sensor. Dilakukan 5 kali pengujian yaitu 5 hingga 25 cm dengan interval 5 cm. Berdasarkan hasil pengujian, maka jarak terjauh dari sensor adalah 20 cm. Jika sensor mendeteksi manusia mendekati alat maka motor servo pada tutup tempat sampah pintar akan terbuka.

Tabel 2. Pengujian sensor ultrasonik ruang kosong tempat sampah logam dan non logam

No.	Tinggi sampah	Jarak sebenarnya	Jarak terdeteksi oleh sensor	Akurasi sensor
1.	4 cm	26 cm	26 cm	100%
2.	8 cm	22 cm	24 cm	90.90%
3.	12 cm	18 cm	18 cm	100%
4.	16 cm	14 cm	15 cm	92.85%
5.	20 cm	10 cm	10 cm	100%
6.	24 cm	6 cm	6 cm	100%
7.	28 cm	2 cm	2 cm	100%

Pada tabel 2 disajikan hasil pengujian sensor ultrasonik 2 dan 3 mengetahui keadaan volume tempat sampah dalam keadaan penuh atau kosong. Dilakukan 7 kali percobaan yaitu 5 cm hingga 28 cm dengan interval 4 cm tinggi volume sampah, dimana tinggi tempat sampah ketika kosong yaitu 30cm dan nilai jarak sebenarnya didapatkan dari tinggi tempat sampah dikurangi tinggi sampah. Berdasarkan hasil pengujian, maka akurasi sensor ultrasonik dari 7 kali percobaan memiliki rata-rata bernilai 97,67%.

Sensor kedua adalah sensor *proximity*, pada pembuatan alat ini ada dua jenis yaitu sensor *proximity* induktif untuk mendeteksi sampah logam dan sensor *proximity* kapasitif untuk mendeteksi sampah non logam.



Gambar 11. Sampel sampah atau objek sampah yang digunakan

Tabel 3. Pengujian sensor *proximity* induktif

No.	Objek sampah	Hasil pengujian sensor <i>proximity</i> induktif		Status
		Hasil Acuan	Hasil Pengujian	
1.	Kaleng minuman	Terdeteksi	Terdeteksi	Berhasil
2.	Sendok	Terdeteksi	Terdeteksi	Berhasil
3.	Kayu	Tidak Terdeteksi	Tidak Terdeteksi	Berhasil
4.	Plastik	Tidak Terdeteksi	Tidak Terdeteksi	Berhasil

No.	Objek sampah	Hasil pengujian sensor <i>proximity</i> induktif		Status
		Hasil Acuan	Hasil Pengujian	
5.	Tidak ada objek sampah	Tidak Terdeteksi	Tidak Terdeteksi	Berhasil

Pada tabel 3. diatas menampilkan data pengujian sensor *proximity* induktif dan kapasitif pada pengujian pertama terdapat empat objek sampah yaitu dua objek sampah logam diantaranya sendok dan kaleng minuman. Serta juga terdapat dua objek sampah non logam yaitu kayu dan plastik. Pada pengujian pertama dan kedua objek sampahnya adalah berbahan logam dan sensor *proximity* induktif mendeteksi. Pada pengujian ketiga dan keempat objek sampahnya adalah tidak mengandung unsur logam dan sensor *proximity* induktif mendeteksi. Dan pada pengujian kelima tidak ada objek sampah dan sensor *proximity* induktif juga tidak mendeteksi.

Tabel 4. Pengujian sensor *proximity* kapasitif

No.	Objek sampah	Hasil pengujian sensor <i>proximity</i> kapasitif		Status
		Hasil Acuan	Hasil Pengujian	
1.	Kaleng minuman	Terdeteksi	Terdeteksi	Berhasil
2.	Sendok	Terdeteksi	Terdeteksi	Berhasil
3.	Kayu	Tidak Terdeteksi	Tidak Terdeteksi	Berhasil
4.	Plastik	Tidak Terdeteksi	Tidak Terdeteksi	Berhasil
5.	Tidak ada objek sampah	Tidak Terdeteksi	Tidak Terdeteksi	Berhasil

Pada tabel 4. diatas menampilkan data pengujian sensor *proximity* kapasitif pada pengujian pertama terdapat empat objek sampah yaitu dua objek sampah logam diantaranya sendok dan kaleng minuman. Serta terdapat dua objek sampah non logam yaitu kayu dan plastik. Pada pengujian pertama dan kedua objek sampahnya adalah berbahan logam dan sensor *proximity* kapasitif tidak mendeteksi. Pada pengujian ketiga dan keempat objek sampahnya adalah tidak mengandung unsur logam dan sensor *proximity* kapasitif mendeteksi. Dan pada pengujian kelima tidak ada objek sampah dan sensor *proximity* induktif tidak mendeteksi. Gambar 6 menunjukkan tampilan dimana pemilah dalam posisi *standby* atau posisi awal saat tidak mendeteksi sampah logam maupun sampah non logam.



Gambar 6. Tampilan tempat sampah (a) Hasil alat bagian depan (b) Sensor dan pemilah sampah dalam keadaan tidak mendeteksi objek sampah

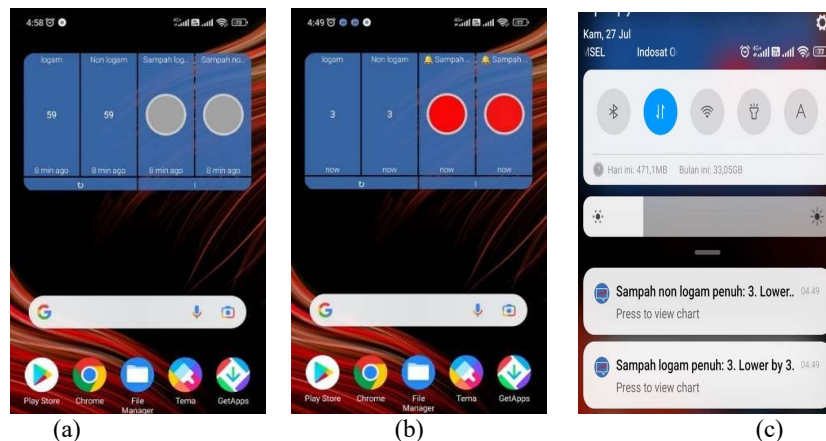
Setelah dilakukan pengujian untuk masing-masing komponen, kemudian dilakukan pengujian alat secara keseluruhan, dimana akan dimasukkan beberapa jenis sampah yang terdiri dari unsur logam dan non-logam. Pada gambar 6.a. Hasil alat bagian depan terdiri dari 2 tempat sampah logam pada sebelah kanan alat ,dan tempat sampah non-logam pada sebelah kiri alat, pada bagian depan alat tempat sampah pintar terdapat sensor ultrasonik untuk mendeteksi manusia, jika mendekati alat dengan jarak terjauh sensor 20 cm maka alat akan membuka tutup alat tempat sampah pintar. Mekanisme alatnya adalah dengan memanfaatkan tutup tempat sampah yang dihubungkan dengan motor servo sebagai pemilah sampah logam dan non-logam (Gambar 6.b). Sensor *proximity* kapasitif dan induktif diletakkan di tengah-tengah tutup yang kemudian akan menentukan arah gerak motor servo. Jika sampahnya terdeteksi sebagai logam maka tutup akan bergerak ke kanan, dan jika sampahnya terdeteksi sebagai non-logam maka tutup akan bergerak ke kiri.

Tabel 5. Pengujian pemilah sampah logam dan non logam

No	Objek	Jenis	Hasil Acuan	Hasil Percobaan	Status
1.	Kaleng Minuman	Logam	Kanan	Kanan	Berhasil
2.	Sendok	Logam	Kanan	Kanan	Berhasil
3.	Kayu	Non Logam	Kiri	Kiri	Berhasil
4	Plastik	Non Logam	Kiri	Kiri	Behasil

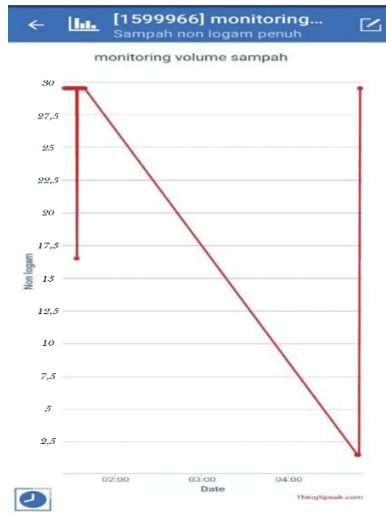
Pada tabel 5. diatas menampilkan data pengujian pemilah sampah logam dan non-logam. Pada pengujian terdapat lima objek sampah yaitu dua objek sampah logam yaitu sendok dan kaleng minuman. Serta terdapat dua objek sampah non logam yaitu kayu dan plastik. Pada pengujian pertama dan kedua objek sampahnya adalah berbahan logam maka pemilah sampah bergerak ke kanan atau arah tempat sampah logam. Pada pengujian ketiga dan keempat objek sampahnya adalah tidak mengandung unsur logam maka pemilah sampah bergerak ke kiri atau arah tempat sampah non-logam.

Berikutnya adalah pengujian *thingspeak* sebagai IoT untuk mengetahui kondisi tempat sampah agar petugas dapat segera mengosongkan tempat sampah jika sudah penuh tanpa harus mengecek secara manual.



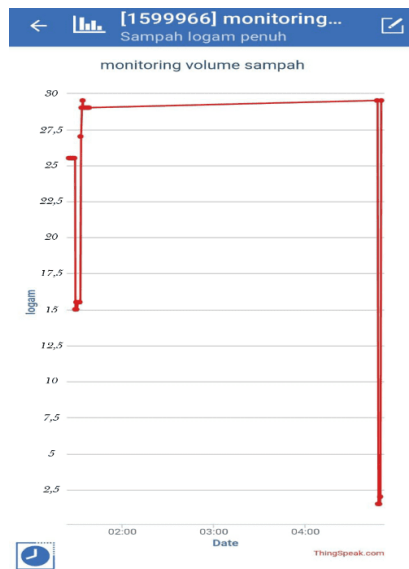
Gambar 12. Tampilan aplikasi thingspeak ketika (a) kotak sampah kosong dan (b) kotak sampah penuh dan (c) adalah notifikasi saat tempat sampah penuh

Pada gambar 7.a menampilkan tampilan dari aplikasi *thingshow or thingspeak* ketika kondisi kotak sampah logam dan non logam kosong, yang dimana lampu indikator nya mati. Pada gambar 8.b diatas menampilkan tampilan dari aplikasi *thingshow or thingspeak* ketika kondisi kotak sampah logam dan non logam penuh yang dimana lampu indikator nya akan menyala berwarna merah. Dan akan muncul notifikasi pada layar HP (*handphone*) seperti pada (Gambar 7.c)



Gambar 8. Tampilkan grafik pada kotak sampah non logam ketika sampai penuh

Pada gambar 8. diatas menampilkan tampilan grafik aplikasi *thingshow* pada HP (*Handphone*) saat pukul 04:49 volume kotak sampah non logam berada pada titik terendah yaitu pada 2.5 yang berarti kotak sampah dalam keadaan penuh dan saat pukul 04:50 volume kotak sampah non logam berada pada titik teratas yaitu pada 28 cm yang berarti kotak sampah dalam keadaan kosong



Gambar 9. Tampilan grafik pada kotak sampah logam ketika sampah penuh

Pada gambar 9. diatas menampilkan tampilan grafik aplikasi *thingshow* pada HP (*Handphone*) saat pukul 04:49 volume kotak sampah logam berada pada titik terendah yaitu pada 2.5 cm yang berarti kotak sampah dalam keadaan penuh dan saat pukul 04:50 volume kotak sampah logam berada pada titik teratas yaitu pada 28 cm yang berarti kotak sampah dalam keadaan kosong.

4. Kesimpulan

Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa alat tempat sampah pintar ini yang berbasis *IoT* dengan platform *thingspeak* telah berhasil dan mampu melakukan pemilahan sampah logam dan non-logam secara otomatis. Pengujian pada motor servo saat pemilah sampah logam dan non-logam dengan sensor *proximity* kapasitif dan induktif dapat berfungsi dengan baik. Kemudian pengujian pada sensor ultrasonik dapat mengetahui ruang kosong tempat sampah yang menunjukkan akurasi sensor ultrasonik mencapai 97,67%, hal ini menunjukkan sensor dapat mengetahui jika tempat sampah dalam keadaan kosong maupun penuh yang akan mengirimkan notifikasi pada *smartphone*. Jadi tidak diperlukan lagi pemisahan sampah logam dan non logam secara manual oleh petugas kebersihan atau pengelola sampah, sehingga dapat menghemat waktu dan usaha. Selain itu alat ini juga telah berhasil mengirimkan notifikasi pada *smartphone* jika kotak sampah logam dan logam tersebut sudah penuh menggunakan platform *IoT Thingspeak* memungkinkan pemantauan dan analisis data secara real-time tentang informasi volume sampah.

Referensi

- [1] Y. Tan *Et Al.*, “Perancangan Sistem Otomatisasi Dan Monitoring Bak Sampah Berbasis Internet Of Things (Iot),” 2021.
- [2] Kahfi, A, “Tinjauan Terhadap Pengelolaan Sampah,” 2017.
- [3] R. A. Ma’arif, Fauziah and N. Hayati, “Sistem Monitoring Tempat Sampah Pintar Secara Real-time Menggunakan Metode Fuzzy Logic Berbasis IOT,” Vol. 4 No. 2 Desember 2019
- [4] A. Khozin, S. Winardi, M. N. Arifin, And A. Nugroho, “Tempat Sampah Pintar Berbasis Internet Of Things Pada Smkn 1 Dlanggu Kabupaten Mojokerto,” 2022.
- [5] Sayem Ahmed, Shahanaz Akter, Shaikh Enayet Ullah, "Design And Implementation Of Iot Based Real Time Temperature And Humidity Monitoring System Using Arduino, Thingspeak And Esp8266", International Journal Of Computer Applications, Volume 190 - Number 7, July 2018.
- [6] E. Sorongan, Q. Hidayati and K. Priyono, “ThingSpeak sebagai Sistem Monitoring Tangki SPBU Berbasis Internet of Things,” Jurnal Teknologi Rekayasa, Vol. 3, No. 2, Desember 2018, Hal. 219-224
- [7] Febry Purnomo Aji, A. Solehudin, And C. Rozikin, “Implementasi Sensor Ultrasonik Dalam Mendeteksi Volume Limbah B3 Pada Tempat Sampah Berbasis Internet Of Things,” *Jurnal Ilmiah Informatika*, Vol. 6, No. 2, Pp. 117–126, Dec. 2021, Doi: 10.35316/Jimi.V6i2.1306
- [8] Y. Bowo Widodo, T. Sutabri, And L. Faturahman, “Tempat Sampah Pintar Dengan Notifikasi Berbasis Iot,” 2019.
- [9] M. Muslimin, Andhika C.P., L. Ardiantoro and Soffa Zahara “Internet of Thing(IoT) untuk Pembuangan Akhir Sampah di Mojokerto,” Vol. 1 No. 6 (Desember 2022) 897-906
- [10] Suherman, Mardeni, Y. Irawan, Sugiati, “Rancang Bangun Tempat Sampah Otomatis Menggunakan Mikrokontroler Dan Sensor Ultrasonik Dengan Notifikasi Telegram,” VOL. 9 NO. 2 (2020)

Kajian Model *Hidden Markov* dengan Empat *State*

Study of Hidden Markov Models with Four States

Rini Cahyandari^{1*}, Elis Asri NF², Aep Saepuloh³

^{1,2,3} Department of Mathematics, UIN Sunan Gunung Djati Bandung, Indonesia

A.H Nasution 105 Cibiru Bandung

rini_cahyandari@uinsgd.ac.id^{1*}

Abstrak – Proses stokastik adalah himpunan variabel acak $\{X(t), t \in T\}$. Dimana *state* pada masa yang akan datang dari proses itu tidak tergantung pada masa yang telah lalu dan hanya tergantung pada masa sekarang saja, proses ini disebut proses Markov. Sebuah proses Markov dengan ruang parameter yang diskrit yang berada pada suatu keadaan yang diskrit, proses ini disebut rantai Markov. *Hidden Markov model* merupakan sebuah metode statistik berdasarkan model Markov sederhana yang memodelkan sistem serta membaginya dalam dua *state* yaitu *state* tersembunyi dan *state* terobservasi dimana pada dasarnya *hidden Markov model* keadaannya tidak dapat terlihat langsung meskipun parameter model diketahui model tersebut tetap tersembunyi. Kajian model *hidden Markov* dengan empat *state* dimana pengamatan yang pernah ada mengenai *hidden Markov model* pada kartu kredit dengan data yang berbeda, dari keempat kelompok profil pengeluaran menggunakan algoritma *K-Means clustering* peluang proses berada pada rendahnya pengeluaran kartu kredit yang dikaji secara mendalam dalam suatu rangkaian proses dan kejadian, sehingga analisa kejadian-kejadian di waktu-waktu mendatang dapat diketahui secara matematis.

Kata Kunci: Proses stokastik, proses Markov, rantai Markov, *hidden Markov model*

Abstract – A stochastic process is a set of random variables $\{X(t), t \in T\}$. Where the future state of the process does not depend on the past and only depends on the present, this process is called a Markov process. A Markov process with a discrete parameter space that exists in a discrete state, this process is called a Markov chain. The *hidden Markov model* is a statistical method based on a simple Markov model which models the system and divides it into two states, namely the hidden state and the observed state, where basically the *hidden Markov model* cannot be seen directly even though the model parameters are known to be hidden. Study of the *hidden Markov model* with four states where previous observations regarding the *hidden Markov model* on credit cards with different data, from the four groups of spending profiles using the *K-Means clustering* algorithm, the opportunity for the process is low credit card spending which is studied in depth in a series processes and events, so that the analysis of future events can be known mathematically.

Keywords: Stochastic process, Markov process, Markov chain, *hidden Markov model*.

1. Pendahuluan

Proses stokastik adalah himpunan variabel acak $\{X(t), t \in T\}$, dimana langkah *state* pada masa yang akan datang dari proses ini tidak tergantung pada masa yang telah lalu dan hanya tergantung pada masa sekarang saja, proses ini disebut proses Markov. Sebuah proses Markov dengan ruang parameter yang diskrit yang berada pada suatu keadaan yang diskrit, proses ini disebut rantai Markov. *Hidden Markov model* merupakan sebuah metode statistik berdasarkan model Markov sederhana yang memodelkan sistem serta membaginya dalam dua *state* yaitu *state* tersembunyi dan *state* terobservasi dimana pada dasarnya *hidden Markov model* keadaannya tidak dapat terlihat langsung meskipun parameter model diketahui model tersebut tetap tersembunyi.

Kajian *hidden Markov model* pengamatan tentu akan dikaji secara mendalam dalam suatu rangkaian proses dan kejadian, sehingga analisa kejadian-kejadian di waktu-waktu mendatang dapat diketahui secara matematis.

Penelitian ini melanjutkan penelitian [6] dengan data yang berbeda, beberapa metode digunakan dalam *hidden Markov model* mulai dari algoritma *Forward-Backward*, *Viterbi*, dan *Baum-Welch*.

2. Metode Penelitian

Kajian model *hidden Markov* dengan empat *State* disini membahas teori dasar proses stokastik, proses Markov, rantai Markov, *hidden Markov model* beserta aplikasi algoritma *Forward-Backward*, *Viterbi*, dan *Baum-Welch*.

Algoritma *forward* didefinisikan variabel *forward*

$$\alpha_t(i) = (O_1 = v_{m_1}, \dots, O_T = v_{m_t}, Q_t = s_i | \lambda)$$

yaitu peluang barisan observasi O_1, \dots, O_T dan *state* s_i pada waktu t jika diberikan λ . Secara induktif $P(O|\lambda)$ dapat dihitung dengan algoritma sebagai berikut:

- a. Inisialisasi

$$\alpha_t(i) = \pi_i \cdot b_i(O_1), \quad 1 \leq i \leq N \quad (1)$$
- b. Induksi

$$\alpha_{t+1}(j) = [\sum_{i=1}^N \alpha_t(i) \cdot a_{ij}] \cdot b_j(O_{t+1}), \quad 1 \leq t \leq T-1, \quad 1j \leq N \quad (2)$$
- c. Akhir

$$P(O|\lambda) = \sum_{i=1}^N \alpha_T(i) \quad (3)$$

Algoritma *backward* didefinisikan sebagai,

$$\beta_t(i) = P(O_{t+1}, \dots, O_T | Q_t, \lambda)$$

yaitu peluang dari barisan observasi parsial O_{t+1}, \dots, O_T diberikan *state* s_i pada waktu t dan model λ . Selanjutnya, $\beta_t(i)$ dapat diselesaikan secara induksi sebagai berikut:

- a. Inisialisasi

$$\beta_t(i) = 1, \quad 1 \leq i \leq N \quad (4)$$
- b. Induksi

$$\beta_t(i) = \sum_{j=1}^N a_{ij} b_j(O_{t+1}) \beta_{t+1}(j), \quad t = T-1, \dots, 1, \quad 1 \leq i \leq N \quad (5)$$
- c. Terminasi

$$P(O|\lambda) = \sum_{i=1}^N b_i(1) \pi(i) \beta_1(i) \quad (6)$$

Algoritma *viterbi* digunakan dua variabel bantu, yaitu:

- 1) $\delta_t(i) = \max P(Q_1 = s_{1_t}, \dots, Q_t = s_i, O_1 = v_{m_1}, \dots, O_T = v_{m_t} | \lambda)$
 dengan induksi diperoleh :

$$\delta_{t+1}(j) = \max [\delta_t(i) \cdot a_{ij}] b_j(O_{t+1})$$
- 2) $\Psi_t(i) = \arg \max P(Q_1 = s_{1_t}, \dots, Q_t = s_i, O_1 = v_{m_1}, \dots, O_T = v_{m_t} | \lambda)$

Langkah-langkah dalam algoritma viterbi untuk menentukan barisan *state* terbaik yaitu:

a) Inisialisasi
 Set $t = 2$

$$\delta_1(i) = \pi_i \cdot b_i(O_1), 1 \leq i \leq N \quad \Psi_t(i) = 0 \quad (7)$$

b) Induksi

$$\delta_t(j) = b_j(O_t) \max_{1 \leq i \leq N} [\delta_t(i) \cdot a_{ij}], 1 \leq j \leq N \quad (8)$$

$$\Psi_t(j) = \operatorname{argmax}_{1 \leq i \leq N} [\delta_t(i) \cdot a_{ij}], 1 \leq j \leq N$$

c) *Update t*
 Set $t = t+1$
 Kembali ke langkah (b) jika $t \leq T$.
 Lainnya, masuk ke langkah (d).

d) Terminasi

$$P^* = \max_{1 \leq j \leq N} [\delta_T(j)] \quad (9)$$

$$Q^* = \operatorname{argmax}_{1 \leq j \leq N} [\delta_T(j)]$$

e) Barisan *state* terbaik digunakan proses *backtracking*

Inisialisasi
 Set $t = T-1$
Backtracking

$$Q_T^* = \Psi_{t+1}(Q_{t+1}^*) \quad (10)$$

Update t
 Set $t = t-1$
 Kembali ke langkah (1) jika $t \geq T$.

Untuk menyelesaikan masalah algoritma *Baum-Welch*, didefinisikan empat variabel, yaitu variabel *forward*, *backward*, $\xi_t(i, j)$ dan $\gamma_t(i)$. Variabel *forward* dan *backward* akan digunakan dalam perhitungan variabel $\xi_t(i, j)$ dan $\gamma_t(i)$. $\xi_t(i, j)$ didefinisikan sebagai

$$\xi_t(i, j) = P(Q_t, Q_{t+1} | O, \lambda)$$

yaitu peluang proses pada saat t berada pada *state* s_i dan pada saat $t+1$ berada pada *state* s_j , jika diberikan barisan O dan model λ . Persamaan $\beta_t(i)$ bisa ditulis:

$$\xi_t(i, j) = \frac{P(Q_t = s_i, Q_{t+1} = s_j, O | \lambda)}{P(O | \lambda)}$$

atau dapat diekspresikan dengan variabel *forward-backward* sebagai

$$\xi_t(i, j) = \frac{\alpha_t(i) \cdot \beta_{t+1}(j) \cdot b_j(O_{t+1}) \cdot a_{ij}}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \alpha_t(i) \cdot a_{ij} \cdot \beta_{t+1}(j) \cdot b_j(O_{t+1})} \quad (11)$$

variabel keempat yakni variabel $\gamma_t(i)$ didefinisikan sebagai:

$$\gamma_t(i) = P(Q_t | O, \lambda)$$

yaitu peluang proses berada pada *state* s_i saat waktu t , jika diberikan barisan observasi O , dan model λ . Persamaan $\gamma_t(i)$ dapat diekspresikan dengan variabel *forward-backward* sebagai berikut:

$$\gamma_t(i) = \frac{\alpha_t(i)\beta_t(i)}{\sum_{i=1}^N \alpha_t(i)\beta_t(i)}$$

3. Hasil dan Pembahasan

Studi kasus yang akan dibahas seperti pada [6] dengan menerapkan *hidden Markov model* pada kartu kredit dengan data yang berbeda. Misalkan terdapat sebuah penelitian di sebuah bank dengan menggunakan kartu kredit yang mengangkat metode *hidden Markov model* untuk mendeteksi penyalahgunaan kartu kredit, dimana data yang diambil sebanyak 45 data observasi dan data dikelompokkan menjadi 4 kelompok profil pengeluaran dengan algoritma *K-Means Clustering*, yaitu rendah (0, Rp. 200.000), sedang (Rp. 200.000, Rp. 500.000), tinggi (Rp. 500.000, Rp. 1.000.000), dan tinggi sekali (Rp. 1.000.000, limit kartu kredit). Kemudian, data input diubah menjadi 1 = rendah, 2 = sedang, 3 = tinggi dan 4 = tinggi sekali. Penyebab kejadian besarnya pengeluaran kartu kredit seseorang disebabkan oleh suasana hati pemegang kartu kredit yaitu selalu berbelanja, sering berbelanja, kadang-kadang berbelanja dan tidak pernah berbelanja.

Langkah yang pertama dalam menyelesaikan kasus ini diantaranya adalah:

1. Menentukan nilai N (jumlah *state* dalam model).

Keadaan tersembunyi yaitu selalu, sering, kadang-kadang dan tidak pernah. sehingga nilai N = 4.

2. Menentukan nilai M (jumlah pengamatan setiap *state*).

Keadaan terobservasi yaitu rendah, sedang, tinggi, dan tinggi sekali, sehingga nilai M = 4.

3. Menentukan nilai *Probability Distribution Vector* (π) atau nilai himpunan distribusi awal $\pi = \pi(i)$.

$$\pi = \begin{bmatrix} 10/45 \\ 10/45 \\ 12/45 \\ 13/45 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,22 \\ 0,22 \\ 0,26 \\ 0,28 \end{bmatrix}$$

4. Menentukan nilai *Transition Probability Matrix* atau matriks peluang transisi ($A = a_{ij}$) yang akan menghasilkan matriks A dengan ordo $N \times N$.

$$A = \begin{bmatrix} 0,5 & 0,2 & 0,1 & 0,2 \\ 0,6 & 0,1 & 0,2 & 0,1 \\ 0,3 & 0,2 & 0,1 & 0,4 \\ 0,2 & 0,3 & 0,4 & 0,1 \end{bmatrix}$$

5. Menentukan nilai *Emission Probability Matrix* atau nilai matriks peluang bersyarat ($B = b_i(k)$) yang akan menghasilkan matriks B dengan ordo $N \times M$.

$$B = \begin{bmatrix} 0,1 & 0,2 & 0,5 & 0,2 \\ 0,2 & 0,3 & 0,4 & 0,1 \\ 0,4 & 0,3 & 0,1 & 0,2 \\ 0,6 & 0,1 & 0,1 & 0,2 \end{bmatrix}$$

6. Menghitung peluang observasi dengan menggunakan algoritma *Forward-Backward*.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Algoritma *Forward* ($\alpha_t(i)$)

T	1	2	3	4
$\alpha_t(1)$	0,021	0,02106	0,002404	0,001155
$\alpha_t(2)$	0,046	0,00846	0,002586	0,01248
$\alpha_t(3)$	0,1	0,01914	0,004442	0,0001373
$\alpha_t(4)$	0,186	0,01348	0,008437	0,00336

$$P(O = \text{selalu, sering, kadang - kadang dan tidak pernah} | \lambda) = \sum_{i=1}^N \alpha_t(i) = 0,01$$

Tabel 2. Hasil Perhitungan Algoritma *Backward* ($\beta_t(i)$)

T	4	3	2	1
$\beta_t(1)$	1	0,21	0,0581	0,221148
$\beta_t(2)$	1	0,22	0,0478	0,012122
$\beta_t(3)$	1	0,19	0,0851	0,011216
$\beta_t(4)$	1	0,26	0,0634	0,011834

$$P(O | \lambda) = \sum_{i=1}^N b_i(1) \pi(i) \beta_1(i) = 0,01$$

Sehingga peluang selalu, sering, kadang-kadang dan tidak pernah dalam penggunaan kartu kredit adalah 0,01.

- Menentukan barisan keadaan tersembunyi dengan menggunakan algoritma *Viterbi*.

Tabel 3. Hasil Perhitungan $\xi_t(i, j)$

T	1
$\{\xi_t(1,1)\}$	0,012782
$\{\xi_t(1,2)\}$	0,002103
$\{\xi_t(1,3)\}$	0,003744
$\{\xi_t(1,4)\}$	0,005579
$\{\xi_t(2,1)\}$	0,025754
$\{\xi_t(2,2)\}$	0,006078
$\{\xi_t(2,3)\}$	0,031069
$\{\xi_t(2,4)\}$	0,021258

- Menaksir parameter *hidden Markov model* dengan menggunakan *algoritma Baum-Welch*.

Tabel 4. Hasil Perhitungan $\gamma_t(i)$

T	1
$\gamma_t(1)$	0,024208
$\gamma_t(2)$	0,084159

Menggunakan hasil dari perhitungan-perhitungan tersebut dapat dicari penaksir parameter HMM yaitu $\hat{\lambda} = (\hat{A}, \hat{B}, \hat{\pi})$. Penaksiran inilah yang nantinya akan menghasilkan $P(O | \hat{\lambda}) \geq P(O | \lambda)$. Berikut hasil perhitungan untuk penaksir parameter *hidden Markov model*:

$$\hat{\pi} = \begin{bmatrix} \gamma_1(1) \\ \gamma_2(2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,024208 \\ 0,084159 \end{bmatrix}$$

Nilai ini merupakan taksiran peluang awal, artinya agar nilai $P(O|\hat{\lambda}) \geq P(O|\lambda)$ terpenuhi, maka peluang proses berada pada rendahnya pengeluaran kartu kredit adalah 0,024208 dan 0,084159.

$$\hat{A} = \begin{bmatrix} \frac{\sum_{t=1}^T \xi_t(1,1)}{\sum_{t=1}^T \gamma_t(1)} & \frac{\sum_{t=1}^T \xi_t(1,2)}{\sum_{t=1}^T \gamma_t(1)} \\ \frac{\sum_{t=1}^T \xi_t(2,1)}{\sum_{t=1}^T \gamma_t(2)} & \frac{\sum_{t=1}^T \xi_t(2,2)}{\sum_{t=1}^T \gamma_t(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,663 & 0,105 \\ 0,187 & 0,278 \\ 0,128 & 0,075 \\ 0,383 & 0,265 \end{bmatrix}$$

Matriks tersebut merupakan penaksir untuk matriks transisi A. Matriks \hat{A} menggambarkan bahwa untuk mencapai nilai $P(O|\hat{\lambda}) \geq P(O|\lambda)$ maka peluang transisi dari keadaan banyak sedikitnya pengeluaran yang menggunakan kartu kredit selalu ke selalu adalah sebesar 0,663 ,selalu ke sering adalah sebesar 0,105,sering ke selalu adalah sebesar 0,187,sering ke selalu adalah sebesar 0,278,kadang-kadang ke selalu adalah sebesar 0,128,kadang-kadang ke sering adalah sebesar 0,075,tidak pernah ke selalu adalah sebesar 0,383 dan tidak pernah ke sering adalah sebesar 0,265.

4. Kesimpulan

Kajian *hidden Markov model* dengan empat *state* dari keempat kelompok profil dapat disimpulkan bahwa penyalahgunaan kartu kredit rendah sehingga penyalahgunaan kartu kredit terkontrol.

Referensi

- [1] Jamaludin, A. 2015. *Pengenalan Lafal Hukum Nun Mati atau Tanwin Menggunakan Hidden Markov Model*. Skripsi. UIN Sunan Gunung Djati Bandung.
- [2] Koosasi H A, Sarno R, dan Munif A. 2017. *Deteksi Fraud Menggunakan Metode Model Markov Tersembunyi Pada Proses Bisnis*. Jurnal Teknik Informatika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Vol.6 , No.1. ISSN:2337-3539.
- [3] Mahmudi dan Ardi. 2016. *Prediksi Pergerakan Nilai Tukar Rupiah Terhadap Dolar Amerika Serikat Menggunakan Hidden Markov Model (HMM)*. Jurnal Program Studi Matematika. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta.
- [4] Cahyandari, R dan Nursolihah, R. 2015. *Penerapan Model Markov Tersembunyi untuk Mengetahui Persentase Kecocokan dari Deoxyribonucleic Acid pada Pohon Filogenetik Ursidae (Beruang)*. Statistika, Vol.15, No.2, p 73-86.
- [5] Ross, S M.1996. *Stochastic Processes*. United State Of America ; John Wiley and Sons, Inc.
- [6] Utari P, B Setiawaty , dan N K K Ardana. 2012. “Aplikasi Model Hidden Markov Diskret untuk Mendeteksi Penyalahgunaan Kartu Kredit”. Institute Pertanian Bogor. JMA, Vol.11, No.1, p.21-30.
- [7] Walpole, R E dan Raymond H M.1995. Ilmu Peluang dan Statistika untuk Insinyur dan Ilmuwan, Edisi Keempat, terjemahan RK Sembiring. Bandung : Penerbit ITB.
- [8] W. Jones, Peter and Smith, Peter. 2010. *Stochastic Processes An Introduction (Second Edition)*. CRC Press

Tinjauan Sistematis Sistem Prediksi Detak Jantung Secara Nirkontak

Systematic Review of Non-contact Heart Rate Prediction Systems

Hendra Setiawan^{1*}, Isnatin Miladiyah², Satyo Nuryadi³

¹Teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia

²Pendidikan Dokter, Universitas Islam Indonesia

Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia, Jl. Kaliurang km 14,5, Daerah Istimewa Yogyakarta

³Teknik Elektro, Universitas Teknologi Yogyakarta

Jl. Ring Road Utara, Jombor, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta

hendra.setiawan@uii.ac.id^{1*}, isnatin@uii.ac.id², satyo.nuryadi@uty.ac.id³

Abstrak - Perkembangan penelitian tentang prediksi data rekam jantung secara nirkontak semakin marak. Banyak metode yang ditawarkan dengan berbagai macam keunggulan dan keterbatasannya. Kajian komprehensif tentang topik ini nampaknya menarik untuk dimunculkan ke permukaan. Melalui makalah ini tinjauan sistematis atas perkembangan teknologi rekam jantung secara nirkontak disajikan. Metode tinjauan sistematis meliputi pencarian literatur terkait, metode yang digunakan, unjuk kerja yang diperoleh, keunggulan dan keterbatasan yang dimilikinya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode rekam jantung secara nirkontak secara umum dapat dikelompokkan ke dalam 4 (empat) kelompok, yaitu berbasis elektroda nirkontak, berbasis pengolahan citra, memanfaatkan efek dopler sinyal radar dan menggunakan efek dopler gelombang ultrasonik. Hasil kajian yang kami lakukan mendapatkan kesimpulan bahwa prediksi detak jantung berbasis pengolahan citra memiliki aspek terbaik untuk konsep deteksi nirkontak. Sehingga pengembangan keilmuan di bidang tersebut lebih direkomendasikan

Kata Kunci : detak jantung, nirkontak, elektroda, pengolahan citra, radar, ultrasonic

Abstract- The development of research on non-contact heart rate data prediction is increasing. Many methods are offered with various advantages and limitations. A comprehensive review of this topic seems interesting to bring to the surface. Through this paper, a systematic review of the development of non-contact heart rate recording technology is presented. The systematic review method includes related literature search, methods used, obtained performance, advantages, and limitations. The research results show that non-contact heart rate recording methods can generally be categorized into 4 groups: non-contact electrode-based, image processing-based, utilizing Doppler radar signal effects, and using Doppler effects of ultrasonic waves. The results of our study conclude that image processing-based heart rate prediction has the best aspects for non-contact detection concepts. Therefore, scientific development in this field is highly recommended.

Keywords : heart rate, non-contact, electrode, image processing, radar, ultrasonic.

1. Pendahuluan

Diperkirakan sekitar 17,9 juta orang meninggal akibat penyakit kardiovaskular (CVD) pada tahun 2019, yang setara dengan 32% dari seluruh kematian global. Dari kematian tersebut, 85% disebabkan oleh serangan jantung dan stroke [1]. Risiko penyakit jantung meningkat dengan cepat setelah usia 65 tahun. Oleh karena itu, pentingnya perawatan kesehatan untuk pencegahan penyakit jantung semakin diperlukan terlebih diperkirakan 1 dari 6 orang akan berusia 60 tahun keatas di tahun 2030 [2].



Penyakit jantung dapat didiagnosis dan dicegah secara dini melalui pemeriksaan medis secara rutin. Pemeriksaan yang paling umum digunakan untuk diagnosis dini penyakit jantung adalah dengan metode elektrokardiogram (EKG) [3]. Pemeriksaan EKG melibatkan pemasangan sejumlah elektroda pada tubuh untuk merekam perbedaan potensial yang terkait dengan detak jantung. Tes ini lebih ekonomis daripada metode diagnostik lainnya seperti echocardiography, computed tomography, dan magnetic resonance imaging [4]. Namun, metode pengukuran biometrik tradisional ini tidak nyaman karena adanya beberapa elektroda yang ahrus terpasang di tubuh [4] [5].

Selain untuk pemeriksaan kesehatan jantung, sinyal rekam jantung juga dapat digunakan untuk keperluan deteksi lainnya, diantaranya deteksi stress [6] [7], monitoring kualitas tidur [8] [9], deteksi tingkat kelelahan [10], dan deteksi kantuk pada pengendara [11]. Dengan beberapa aplikasi tersebut maka kebutuhan alat rekam sinyal jantung yang handal, portabel dan nyaman sangatlah diperlukan. Berbeda dengan metode EKG konvensional yang memerlukan pemasangan elektroda, terdapat beberapa metode perekaman sinyal jantung tanpa memerlukan pemasangan elektroda. Sistem tersebut kemudian dikenal dengan sistem rekam jantung nirkontak (*contactless*). Telah banyak penelitian yang dilakukan untuk mengembangkan sistem EKG nirkontak dengan berbagai metode dan algoritma yang diusulkan. Sehingga tinjauan sistematis terkait dengan berbagai sistem EKG nirkontak ini perlu dilakukan dalam rangka memberikan informasi yang lengkap sehingga dapat membantu pengembangan keilmuan di bidang biomedis.

Bahasan selanjutnya dalam makalah ini adalah metode penelitian. Pada metode penelitian dijelaskan sinyal rekam jantung beserta beberapa parameter yang diperoleh dari sinyal tersebut, dan dilanjutkan dengan metode pengumpulan artikel. Bagian selanjutnya adalah hasil dan pembahasan yang menyajikan hasil kajian masing-masing artikel yang diperoleh. Unsur utama yang dibahas dalam bagian tersebut meliputi jenis deteksi yang digunakan, kelebihan dan kekurangannya. Selanjutnya kesimpulan dari hasil pembahasa disajikan di bagian terkahir makalah ini.

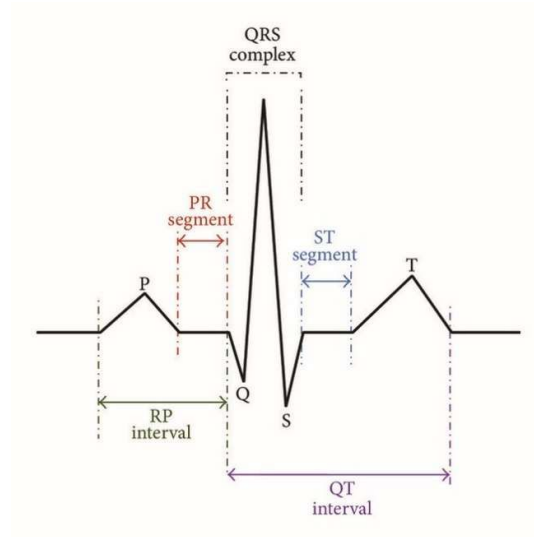
2. Metode Penelitian

Bagian ini meliputi dua bahasan utama yaitu terkait dengan sinyal EKG dan metode yang dilakukan untuk memperoleh artikel yang akan dilibatkan dalam tinjauan sistematis.

2.1. Sinyal Rekam Jantung

Sinyal EKG adalah rekaman dari aktivitas listrik jantung. Ini terdiri dari serangkaian gelombang-gelombang yang merepresentasikan berbagai tahap dalam siklus jantung. Sinyal ini dibuat oleh elektroda yang ditempatkan pada kulit pasien dan mengukur perubahan potensial listrik yang terjadi selama depolarisasi dan repolarisasi jantung [12]. Sinyal EKG terdiri dari tiga gelombang dasar [13], yaitu gelombang P, gelombang QRS dan T, sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 1.

Gelombang P menggambarkan proses depolarisasi pada atrium kanan dan kiri. Ini terjadi ketika impuls listrik disalurkan dari simpul sinoatrial ke atrioventrikular dan merambat dari atrium kanan ke atrium kiri. Interval PR adalah ukuran waktu dari permulaan kontraksi atrium sampai permulaan kontraksi ventrikel. Gelombang QRS terdiri dari tiga komponen: gelombang Q, R, dan S. Pola gelombang ini terbentuk ketika impuls listrik melalui otot ventrikel jantung yang bertugas memompa darah ke seluruh tubuh. Gelombang ini biasanya menjadi bagian yang paling kuat dan mendominasi pada hasil EKG. Gelombang T merepresentasikan proses repolarisasi atau pemulihan kembali ke kondisi awal dari ventrikel jantung setelah depolarisasi. Ini adalah fase ketika ventrikel bersiap untuk menerima impuls listrik berikutnya untuk siklus jantung berikutnya.



Gambar 1. Bentuk gelombang P, QRS, dan T normal [14]

Pada sinyal EKG yang diperoleh terdapat beberapa parameter dasar yang dapat secara langsung diketahui, yaitu:

- Frekuensi jantung, yaitu jumlah denyut jantung per menit (beat per minutes = bpm)
- Interval RR, yaitu jarak antara dua kompleks QRS berturut-turut
- Interval PR, yaitu waktu yang diperlukan untuk impuls listrik berjalan dari atrium (serambi) ke ventrikel (bilik)
- Interval QT, yaitu waktu dari depolarisasi atrium hingga repolarisasi ventrikel
- Segmen ST, yaitu periode antara akhir depolarisasi ventrikel (akhir kompleks QRS) dan awal repolarisasi ventrikel (awal gelombang T)

Selain parameter tersebut, terdapat beberapa parameter turunan lainnya yang dapat dihitung berdasarkan parameter dasar untuk N data, diantaranya: Gambar 1.

- Rata-rata interval RR ($meanRR$), yang dinyatakan dengan

$$meanRR = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N RR_i \tag{1}$$

dengan RR_i adalah interval RR saat i .

- Standar deviasi interval RR ($SDRR$), yang dinyatakan dengan

$$SDRR = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (RR_i - meanRR)^2}{N}} \tag{2}$$

- Koefisien varian interval RR ($CVRR$), yang dinyatakan dengan

$$CVRR = \frac{SDRR}{meanRR} \tag{3}$$

- Akar Kuadrat dari Perbedaan Kuadrat interval RR yang Berdekatan ($RMSSD$), yang dinyatakan dengan

$$RMSSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (RR_{i+1} - RR_i)^2}{N}} \tag{4}$$

- e. Jumlah interval RR berturutan yang memiliki perbedaan lebih dari xx milisecond ($NNxx$), yang dinyatakan dengan

$$NNxx = count(|RR_{i+1} - RR_i|)_{>xxms} \tag{5}$$

- f. Persentase jumlah interval RR berturutan yang memiliki perbedaan lebih dari xx milisecond ($pNNxx$), yang dinyatakan dengan

$$pNNxx = \frac{count(|RR_{i+1} - RR_i|)_{>xxms} \times 100\%}{n-1} \tag{6}$$

2.2. Metode Pengumpulan Data

Proses pengumpulan artikel yang akan dibahas pada tinjauan sistematis ini adalah artikel yang berasal dari jurnal internasional atau seminar internasional yang membahas tentang metode deteksi sinyal jantung yang minimal mampu mengukur frekuensi detak jantung. Artikel dicari di pangkalan data google scholar dengan kata kunci “*non-contact ECG*” dan “*contactless ECG*”. Artikel dibatasi pada periode terbit 2019 sampai dengan 2023. Hasil penelusuran diperoleh sebanyak 10200 artikel yang memuat “*non-contact ECG*” pada judulnya, dan artikel sebanyak 6370 artikel yang memuat “*contactless ECG*” pada judulnya. Selanjutnya kami seleksi kembali dengan beberapa kriteria diantaranya (a) artikel yang berasal dari jurnal dan prosiding internasional, (b) dapat diakses, dan (c) artikel lengkap. Setelah proses seleksi akhirnya dipilih 27 artikel yang akan dilibatkan di dalam pembahasan selanjutnya. Artikel tersebut sebagian besar berasal dari penerbit IEEE dan MDPI.

Total 27 artikel yang terkumpul terkait dengan deteksi EKG secara nirkontak, dapat digolongkan ke dalam empat kelompok, yaitu (1) menggunakan elektrode nirkontak, (2) menggunakan pengolahan citra, (3) menggunakan konsep radar, dan (4) menggunakan gelombang ultrasonik. Artikel yang masuk kelompok-1 adalah 12, artikel yang masuk kelompok-2 adalah 6, dan artikel yang masuk kelompok-3 dan kelompok-4 secara berurutan 5 dan 4 artikel. Daftar artikel lengkap berdasarkan pembagian kelompok disajikan dalam tabel 1 berikut ini. Kajian lebih lanjut akan dipaparkan di bagian berikutnya.

Tabel 1. Daftar artikel yang membahas EKG nirkontak

Judul	Tahun	Penerbit	Ref
Kelompok-1: menggunakan elektrode nirkontak			
Capacitive Coupled Electrodes based Non-contact ECG Measurement System with Real-time Wavelet Denoising Algorithm	2019	IEEE	[15]
Electrodes array for contactless ECG measurement of a bathing person - a sensitivity analysis	2019	IEEE	[16]
Feasibility Study on Fabric-Sheet Unified Sensing Electrode for Non-Contact In-Bed Measurements of ECG, Body Proximity and Respiratory Movement	2019	MDPI	[17]
Comparison of Active Electrode Materials for Non-Contact ECG Measurement	2019	MDPI	[18]
Development of a Non-Contact ECG Application Unobtrusively Embedded into a Bed	2019	IEEE	[19]
Non-contact ECG Monitoring for Driver	2020	IEEE	[20]
Non-contact Capacitive ECG Signal Acquisition Using an Electrode Array	2021	IEEE	[21]
Analysis of a Contactless ECG Monitoring System	2021	Taylor&Francis	[22]
Design of Contactless Capacitive Electrocardiogram (ECG) Belt System	2022	IEEE	[23]

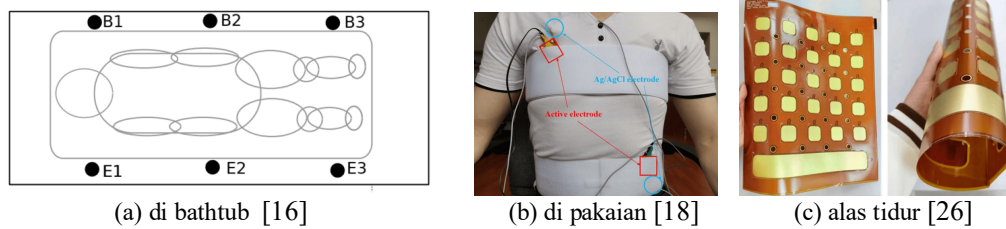
Judul	Tahun	Penerbit	Ref
Development of Contactless Dry ECG Electrodes for Long-Term Monitoring	2022	IEEE	[24]
Non-Contact Monitoring of ECG in the Home Environment Selecting Optimal Electrode Configuration	2022	MDPI	[25]
A highly integrated flexible array non-contact ECG sensing electrode based on FPC	2023	IEEE	[26]
Kelompok-2: menggunakan pengolahan citra			
Non-contact Heart Rate Monitoring Analysis from Various Distances with different Face Regions	2017	IAES	[27]
Bounded Kalman filter method for motionrobust, non-contact heart rate estimation	2018	OSA	[28]
Non-Contact Heart Rate and Blood Pressure Estimations from Video Analysis and Machine Learning Modelling Applied to Food Sensory Responses: A Case Study for Chocolate	2018	MDPI	[29]
Non-contact heart rate monitoring by combining convolutional neural network skin detection and remote photoplethysmography via a low-cost camera	2018	IEEE	[30]
Non-Contact Heart Rate Measurement From Facial Video Data Using a 2D-VMD Scheme	2022	IEEE	[31]
Kelompok-3: menggunakan konsep radar			
Vital Signs Detection Based On Millimeter Wave Radar	2020	IEEE	[32]
The Delineation of Fiducial Points for Non-contact Radar Seismocardiogram Signals without Concurrent ECG	2020	IEEE	[33]
Development of a heart rate detection algorithm using a non-contact doppler radar via signal elimination	2021	Elsevier	[34]
Non-Contact Heart Rate Monitoring Based on Millimeter Wave Radar	2022	IEEE	[35]
ECG Signal Reconstruction Using FMCW Radar and a Convolutional Neural Network for Contactless Vital-Sign Sensing	2023	IEICE	[36]
Kelompok-4: menggunakan gelombang ultrasonik			
Design and Clinical Evaluation of a Non-Contact Heart Rate Variability Measuring Device	2017	MDPI	[37]
Relative accuracy of computerized intrapartum fetal heart rate pattern recognition by ultrasound and abdominal electrocardiogram detection	2019	John Wiley & Sons	[38]
Fetal Heart Rate Monitoring Implemented by Dynamic Adaptation of Transmission Power of a Flexible Ultrasound Transducer Array	2019	MDPI	[39]
A Multi-Channel Ultrasound System for Non-Contact Heart Rate Monitoring	2020	IEEE	[40]

3. Hasil dan Pembahasan

Pada bagian ini akan diuraikan metode yang digunakan pada masing-masing kelompok deteksi EKG secara nirkontak. Selain itu juga dijelaskan capaian yang telah diperoleh di masing-masing kelompok.

3.1. Elektroda Kapasitif

Metode ini adalah mirip dengan pengukuran EKG konvensional namun elektroda yang biasanya ditempelkan di kulit digantikan dengan sensor elektrode yang tidak bersentuhan langsung dengan kulit. Elektrode tersebut dapat diletakkan di kain baju [15] [17] [18] [20] [24], *bathtub* ketika mandi [16], kain sprei saat tidur [17], bagian dari alas tidur [19] [21] [26], sabuk [23], kancing [24], dan di kursi [25]. Beberapa gambar penempatan elektroda ini ditunjukkan pada Gambar 2.



(a) di bathtub [16] (b) di pakaian [18] (c) alas tidur [26]
 Gambar 2. Beberapa contoh penempatan elektroda yang tidak menyentuh kulit secara langsung

Elektroda yang digunakan adalah elektroda kapasitif. Prinsip kerja elektroda kapasitif didasarkan pada kapasitansi yang terjadi antara elektroda dan kulit saat ada perubahan potensial listrik di permukaan kulit. Bahan yang digunakan pada umumnya terdiri dari 3 lapisan, yaitu bahan kain konduktif, pita foil tembaga dan rangkaian cetak fleksibel (*flexible printed circuit* = FPC). Untuk meningkatkan kualitas sinyal yang dihasilkan, diperlukan tambahan rangkaian berupa penguat instrumentasi, rangkaian filter, serta *shielding* dan *guarding* untuk meminimalkan gangguan dari luar.

Sinyal EKG hasil pembacaan dengan metode ini memiliki nilai akurasi yang cukup tinggi, yaitu lebih dari 90% dibandingkan dengan metode elektrode Ag/AgCl konvensional. Hal ini membuat metode ini diminati untuk pengembangan kedepan yang dapat disematkan pada berbagai media yang biasanya digunakan oleh pasien. Namun metode ini memiliki kelemahan berupa gangguan luar yang masih cukup besar terutama apabila kondisi pasien banyak bergerak. Selain itu pengiriman sinyal secara nirkabel memerlukan sumber energi listrik yang tentu saja ketika disematkan bersamaan dengan elektroda menjadi kurang nyaman bagi pasien.

3.2. Pengolahan Citra Wajah

Teknik akuisisi sinyal EKG secara nirkontak lainnya adalah dengan menggunakan perekaman video wajah manusia yang dikenal sebagai *remote photoplethysmogram* (rPPG) [27-31]. Sinyal *photoplethysmograph* (PPG) dihitung berdasarkan intensitas piksel tertentu yang sebelumnya dipisahkan dahulu dari pencahayaan lingkungan dengan menggunakan *filtering* dan metode tambahan lainnya. Biasanya, video yang direkam menjadi terkontaminasi akibat variasi pencahayaan cahaya lingkungan, artefak gerakan, dan faktor lingkungan lainnya. Sehingga diperlukan metode khusus untuk mengatasinya diantaranya menggunakan *Independent Component Analysis* (ICA) [27], algoritma blur identification and denoising [28], *machine learning* [29], atau *convolutional neural network* (CNN) [30], dan *2D variational mode decomposition* (2D-VMD) [31].

Semua sistem deteksi EKG dengan deteksi sinyal PPG ini memiliki keterbatasan pada jumlah subyek yang diamati yaitu hanya satu orang saja. Selain itu jarak subyek harus dekat dengan kamera, yaitu 4 kaki [28] sampai paling jauh 5 meter [27]. Kamera yang digunakan juga bervariasi, ada yang menggunakan kamera *low end* [30], sampai menggunakan kamera khusus [31]. Dari hasil penelitian tersebut juga diperoleh nilai estimasi detak jantung yang cukup tinggi yaitu mencapai 94% [27] atau 1 *beats per minute* [30].

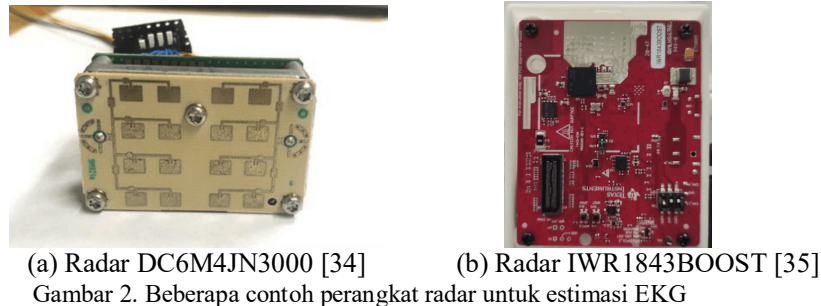
3.3. Gelombang Radar

Sistem radar atau radio detection and ranging merupakan suatu sistem untuk memperkirakan jarak suatu obyek dengan menggunakan pantulan gelombang elektromagnetik. Konsep ini ternyata dapat digunakan pula untuk mendeteksi detak jantung, yaitu dengan mendeteksi perubahan posisi permukaan kulit di sekitar dada. Pada kajian yang kami lakukan, terdapat dua jenis radar yang dapat digunakan untuk keperluan tersebut, yaitu *continues wave* (CW) [33] [34], dan *frequency modulation continues wave* (FMCW) [32] [35][36]. Sedangkan frekuensi

gelombang yang digunakan di orde GHz, yaitu di 5,8GHz [33], 24GHz [34], atau 77-81GHz [35] [36].

Akurasi yang diperoleh dengan metode ini sangat tergantung dari posisi subyek yang diamati, namun secara umum dengan kondisi subyek yang tenang dan berada tepat di depan radar, maka minimal 90% akurasi dapat diperoleh, bahkan dengan tambahan filter yang baik dan kemampuan menghilangkan sinyal derau dapat menaikkan akurasi sampai dengan 97,8% [34].

Salah satu masalah yang dihadapi dalam metode ini adalah apabila subyek yang diamati tidak berada tepat di depan antena radar atau pada jarak di atas 5 meter, maka nilai akurasi turun dengan nilai yang cukup berarti. Selain itu belum ada bukti yang akurat pada metode ini apabila diterapkan untuk jumlah subyek yang lebih dari satu. Kelebihan metode ini adalah perangkat yang digunakan betul-betul tidak bersentuhan langsung dengan subyek. Perangkat sistem radar juga tergolong kecil dan portable sehingga mudah dibawa kemana-mana. Beberapa contoh sistem radar untuk keperluan deteksi EKG ini ditunjukkan pada gambar 3.



3.4. Gelombang Ultrasonik

Seperti pada gelombang radar, gelombang ultrasonik dapat punya digunakan sebagai media estimasi sinyal EKG sebagaimana yang dilakukan oleh [37] - [40]. Konsep yang digunakan sama dengan sistem radar yaitu dengan memanfaatkan efek dopler dari pantulan sinyal yang mengenai subyek yang diamati. Pada umumnya frekuensi 40kHz digunakan pada sistem ini. Untuk meningkatkan unjukkerja sistem ini, pada [37] digunakan dua frekuensi berbeda yaitu 40kHz dan 39kHz, sedangkan pada [39] menggunakan 37 elemen transduser, dan pada [40] menggunakan strategi multi kanal. Dengan strategi tersebut akurasi deteksi detak jantung mencapai lebih dari 90% dan *mean absolute error* (MAE) mencapai 0,02 *beats per minute* (bpm) [40].

Sebagaimana pada sistem yang menggunakan radar, penggunaan gelombang ultrasonik juga memiliki kelemahan berupa sangat terpengaruh dengan aktivitas subyek yang diamati. Sehingga penerapan gelombang ultrasonik dilakukan dengan posisi subyek berbaring dan tanpa beraktivitas. Adapun posisi sensor diletakkan pada jarak dekat (20-25 cm) terhadap leher subyek. Pengamatan untuk jumlah subyek lebih dari satu secara bersamaan juga belum terbukti bekerja pada sistem nirkontak dengan menggunakan gelombang ultrasonik.

3.5. Diskusi

Dari hasil kajian yang telah dilakukan sebelumnya, pada bagian ini kami mencoba rangkum karakteristik masing-masing metode untuk deteksi sinyal EKG secara nirkontak. Aspek yang dimunculkan melingkupi: (1) nirkontak pada perangkat, (2) akurasi, (3) kebebasan/keleluasaan gerak subyek, dan (4) kemungkinan deteksi multi subyek sekaligus. Rangkuman tersebut disajikan dalam Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Perbandingan metode deteksi EKG secara nirkontak

Aspek	Elektroda nirkontak	Pengolahan citra wajah	Konsep radar	Gelombang ultrasonik
Nirkontak perangkat	Elektroda perlu disematkan pada tempat yang dekat dengan jantung (beberapa centimeter)	Tanpa ada perangkat yang perlu dekat dengan subyek (beberapa meter)	Tanpa ada perangkat yang perlu dekat dengan subyek (beberapa meter)	Posisi perangkat perlu agak dekat dengan subyek (20-25 cm)
	Perangkat memerlukan sumber daya listrik yang juga disematkan pada tempat yang sama	Kamera dapat menangkap wajah subyek	Perangkat antena berhadapan dengan dada subyek	Tranduser ultrasonik dekat dengan leher subyek
Akurasi	>90%	>90%	>90%	>90%
Kebebasan gerak subyek	Subyek bebas bergerak, namun akurasi menurun dan agak terganggu karena tambahan perangkat baterai, dan pemancar yang disematkan bersamaan dengan elektroda	Bebas bergerak namun harus tetap menghadap kamera	Tidak banyak bergerak	Tidak banyak bergerak
Deteksi multi subyek	Sangat dimungkinkan, karena masing-masing subyek disematkan elektroda yang berbeda	Ada kemungkinan mendeteksi multi subyek menggunakan satu kamera	Ada kemungkinan mendeteksi multi subyek menggunakan satu antena radar	Tidak dimungkinkan karena posisi tranduser yang dekat dengan leher subyek

Berdasarkan rangkuman Tabel 2, diketahui bahwa metode prediksi EKG dengan kamera nampaknya cukup ideal diterapkan untuk kriteria sistem nirkontak. Namun akan lebih ideal lagi jika ia punya kemampuan deteksi tidak hanya di area wajah saja, sehingga subyek tidak perlu menghadap ke kamera. Selain itu perlu dikaji kemungkinan algoritma deteksi untuk jumlah subyek lebih dari satu, karena sangat dimungkinkan kamera dapat menangkap multi subyek secara bersamaan.

4. Kesimpulan

Pada artikel ini kami telah menelusuri berbagai sumber ilmiah terkait dengan estimasi sinyal EKG secara nirkontak dengan berbagai metode. Terdapat empat jenis metode yang dapat digunakan, yaitu elektroda nirkontak, pengolahan citra, konsep radar dan gelombang ultrasonik. Masing-masing metode mempunyai kelebihan dan kekurangan. Namun berdasarkan kriteria nirkontak yang kami rumuskan, metode dengan menggunakan pengolahan citra dari kamera nampaknya memiliki potensi yang paling unggul. Sehingga pengembangan dan pendalaman prediksi sinyal EKG secara nirkontak dengan menggunakan pengolahan citra perlu diintensifkan.

Ucapan Terima Kasih

Kegiatan penelitian ini didukung dari hibah penelitian dasar Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi No. 181/E5/PG.02.00.PL/2023; 0423.1/LL5-INT/AL.04/2023.

Referensi

- [1] WHO, "Cardiovascular diseases (CVDs)," World Health Organization, 11 June 2021. [Online]. Available: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds)). [Diakses 28 September 2023].
- [2] WHO, "Ageing and health," World Health Organization, 1 October 2022. [Online]. Available: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health>. [Diakses 29 September 2023].
- [3] M. AlGhatrif dan J. Lindsay, "A brief review: history to understand fundamentals of electrocardiography," *Journal of community hospital internal medicine perspectives*, vol. 2, no. 1, pp. 1-5, 2012.
- [4] O. S. Hoon, S. Lee, S. M. Kim dan J. H. Jeong, "Development of a heart rate detection algorithm using a non-contact doppler radar via signal elimination," *Biomedical Signal Processing and Control*, vol. 64, p. 102314, 2021.
- [5] D. Shuqin, Y. Zhang, C. Ma, C. Zhu, Z. Gu, Q. Lv, B. Zhang, C. Li dan L. Ran, "Doppler cardiogram: A remote detection of human heart activities," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 68, no. 3, pp. 1132-1141, 2019.
- [6] A. Sahroni, I. Miladiyah dan N. Widiastara, "Short-term Pulse Rate Variability to Assess Psychophysiological Changes during Online Trier Social Stress Test (TSST)," dalam *44th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC)*, Scotland, United Kingdom, 2022.
- [7] A. Sahroni, N. Widiastara, I. Miladiyah dan H. Setiawan, "Short-Term Pulse Rate Variability to Measure Changes in Emotion during Trier Social Stress Test," dalam *9th International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE)*, Semarang, Indonesia, 2022.
- [8] Z. Chen, F. Tian, Q. Zhao dan B. Hu, "A Non-contact and unconstrained sleep health monitoring system," dalam *Human Centered Computing: 5th International Conference, HCC 2019*, Čačak, Serbia, 2019.
- [9] M.-M. Adrián, G. C. Gutiérrez-Tobal, L. Kheirandish-Gozal, F. Vaquerizo-Villar, D. Álvarez, F. D. Campo, D. Gozal dan R. Hornero, "Heart rate variability as a potential biomarker of pediatric obstructive sleep apnea resolution," *Sleep*, vol. 45, no. 2, pp. 1-9, 2022.
- [10] K. Lu, A. S. Dahlman, J. Karlsson dan S. Candefjord, "Detecting driver fatigue using heart rate variability: A systematic review," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 178, p. 106830, 2022.
- [11] S. Arefnezhad, A. Eichberger, M. Frühwirth, C. Kaufmann, M. Moser dan I. V. Koglbauer, "river monitoring of automated vehicles by classification of driver drowsiness using a deep convolutional neural network trained by scalograms of ECG signals," *Energies*, vol. 15, no. 2, p. 480, 2022.
- [12] A. Jaenal dan E. Usada, *Elektronika Biomedik – Pembahasan Sinyal dan Citra Elektrokardiografi (EKG)*, Lentera, 2019.
- [13] I. Fahrudi, "Mengurangi Pengaruh Noise Baseline Wander pada Sinyal Electrocardiogram (ECG)," *urnal Integrasi*, vol. 5, no. 1, pp. 10-14, 2013.
- [14] H. Beyramienanlou dan N. Lotfivand, "Shannon's energy based algorithm in ECG signal processing," *Computational and mathematical methods in medicine*, vol. 2017, 2017.
- [15] S. Peng, S. Bao dan W. Chen, "Capacitive Coupled Electrodes based Non-contact ECG," dalam *41st annual international conference of the IEEE engineering in medicine and biology society (EMBC)*, Berlin, Germany, 2019.
- [16] K. Osinski, A. Bujnowski, P. Przystup dan J. Wtorek, "Electrodes array for contactless ECG measurement of a bathing person-a sensitivity analysis," dalam *41st annual international conference of the IEEE engineering in medicine and biology society (EMBC)*, Berlin, Germany, 2019.
- [17] Y. Sakajiri dan A. Ueno, "Feasibility Study on Fabric-Sheet Unified Sensing Electrode for Non-Contact In-Bed Measurements of ECG, Body Proximity and Respiratory Movement," dalam *7th International Symposium on Sensor Science*, 2019.

- [18] S. Peng, K. Xu dan W. Chen, "Comparison of Active Electrode Materials for Non-Contact ECG Measurement," *Sensor*, vol. 19, no. 16, p. 3585, 2019.
- [19] S. Pehr, D. Zollitsch, J. Güttler dan T. Bock, "Development of a Non-Contact ECG Application Unobtrusively Embedded into a Bed," dalam *IEEE Sensors Applications Symposium (SAS)*, Sophia Antipolis, France, 2019.
- [20] M. Stork dan J. Houzar, "Non-contact ECG Monitoring for Driver," dalam *30th International Conference Radioelektronika (RADIOELEKTRONIKA)*, Bratislava, Slovakia, 2020.
- [21] Z. Xiao, Y. Xing, Y. Li, C. Yang, J. Li dan C. Liu, "Non-contact Capacitive ECG Signal Acquisition Using an Electrode Array," dalam *2021 International Conference on Sensing, Measurement & Data Analytics in the era of Artificial Intelligence (ICSMD)*, Nanjing, China, 2021.
- [22] K. Anurudhya dan N. M. Mohan, "Analysis of a Contactless ECG Monitoring System," *IETE Journal of Research*, vol. 67, no. 4, pp. 538-545, 2021.
- [23] A. Aftab, A. A. Quaiyum dan U. Shabana, "Design of Contactless Capacitive Electrocardiogram (ECG) Belt System," dalam *IEEE Delhi Section Conference (DELCON)*, New Delhi, India, 2022.
- [24] M. J. Ansari, A. Alam dan A. Q. Ansari, "Development of Contactless Dry ECG Electrodes for Long-Term Monitoring," dalam *9th International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)*, New Delhi, India, 2022.
- [25] A. Bujnowski, K. Osiński, P. Przystup dan J. Wtorek, "Non-Contact Monitoring of ECG in the Home Environment Selecting Optimal Electrode Configuration," *Sensors*, vol. 22, no. 23, p. 9475, 2022.
- [26] G. Wu, K. Wang, B. Feng, B. Shi, Z. Liu, G. Zuo dan C. Shi, "A highly integrated flexible array non-contact ECG sensing electrode based on FPC," dalam *8th International Conference on Intelligent Computing and Signal Processing (ICSP)*, Xi'an, China, 2023.
- [27] N. Ibrahim, R. Tomari, W. N. W. Zakaria dan N. Othman, "Non-contact Heart Rate Monitoring Analysis from Various Distances with different Face Regions," *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 7, no. 6, p. 3030, 2017.
- [28] S. K. A. Prakash dan C. S. Tucker., "Bounded Kalman filter method for motionrobust, non-contact heart rate estimation," *Biomedical optics express*, vol. 9, no. 2, pp. 873-897, 2018.
- [29] C. G. Viejo, S. Fuentes, D. D. Torrico dan F. R. Dunshea, "Non-Contact Heart Rate and Blood Pressure Estimations from Video Analysis and Machine Learning Modelling Applied to Food Sensory Responses: A Case Study for Chocolate," *Sensors*, vol. 18, no. 6, p. 1802, 2018.
- [30] C. Tang, J. Lu dan J. Liu, "Non-contact heart rate monitoring by combining convolutional neural network skin detection and remote photoplethysmography via a low-cost camera," dalam *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*, Salt Lake City, UT, USA, 2018.
- [31] M. Das, T. Choudhary, M. K. Bhuyan dan L. N. Sharma, "Non-Contact Heart Rate Measurement From Facial Video Data Using a 2D-VMD Scheme," *IEEE Sensors Journal*, vol. 22, no. 11, pp. 11153-11161, 2022.
- [32] H. Li, H. Zhang dan X. Wang, "Vital Signs Detection Based On Millimeter Wave Radar," dalam *5th International Conference on Communication, Image and Signal Processing (CCISP)*, Chengdu, China, 2020.
- [33] Z. Xia, M. M. H. Shandhi, Y. Li, O. T. Inan dan Y. Zhang, "The Delineation of Fiducial Points for Non-contact Radar Seismocardiogram Signals without Concurrent ECG," *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, vol. 25, no. 4, pp. 1031-1040, 2020.
- [34] S. H. Oh, S. Lee, S. M. Kim dan J. H. Jeong, "Development of a heart rate detection algorithm using a non-contact doppler radar via signal elimination," *Biomedical Signal Processing and Control*, vol. 64, p. 102314, 2021.
- [35] Z. Ling, W. Zhou, Y. Ren, J. Wang dan L. Guo, "Non-Contact Heart Rate Monitoring Based on Millimeter Wave Radar," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 74033-74044, 2022.
- [36] D. Toda, R. Anzai, K. Ichige, R. Saito dan D. Ueki, "ECG Signal Reconstruction Using FMCW Radar and a Convolutional Neural Network for Contactless Vital-Sign Sensing," *IEICE Transactions on Communications*, vol. 106, no. 1, pp. 65-73, 2023.

- [37] J. Kranjec, S. Beguš, G. Geršak, M. Šinkovec, J. Drnovšek dan D. Hudoklin, “Design and Clinical Evaluation of a Non-Contact Heart Rate Variability Measuring Device,” *Sensors*, vol. 17, no. 11, p. 2637, 2017.
- [38] B. R. Hayes-Gill, T. R. Martin, C. Liu dan W. R. Cohen, “Relative accuracy of computerized intrapartum fetal heart rate pattern recognition by ultrasound and abdominal electrocardiogram detection,” *Acta Obstetricia et Gynecologica Scandinavica*, vol. 99, no. 3, pp. 413-422, 2020.
- [39] P. Hamelmann, M. Mischi, A. F. Kolen, J. O. V. Laar, R. Vullings dan J. W. Bergmans, “Fetal Heart Rate Monitoring Implemented by Dynamic Adaptation of Transmission Power of a Flexible Ultrasound Transducer Array,” *Sensors*, vol. 19, no. 5, p. 1195, 2019.
- [40] M. Ambrosanio, S. Franceschini, G. Grassini dan F. Baselice, “A Multi-Channel Ultrasound System for Non-Contact Heart Rate Monitoring,” *IEEE Sensors Journal*, vol. 20, no. 4, pp. 2064-2074, 2019.

Pengembangan Database Terdistribusi Administrasi Kependudukan Berbasis RFID E-KTP

Development of Distributed Database System for RFID-based e-ID Population Administration

Hidar Maulana^{1*}, Allan Deniro², Abdul Hafid paronda³, Andi Hasad⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Islam “45” Bekasi, Jl Cut Meutia No.83
Bekasi Timur, Kota bekasi, 17113

hidarmaulana7@gmail.com^{1*}, allandeniro09@gmail.com², hafid_paronda@unismabekasi.ac.id³,
andi_hasad@unismabekasi.ac.id⁴

Abstrak – Pelayanan administrasi kependudukan di Kabupaten Bekasi hingga saat ini masih dalam tahap penyesuaian berbasis daring, dimana pelayanan administrasi kependudukan dengan memanfaatkan fitur Google Forms dan pesan whatsapp yang mana kedua fitur tersebut berpeluang terjadinya tidak terlayani permintaan pelayanan administrasi kependudukan yang disebabkan oleh penumpukan antrean pelayanan. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Sukarno berjudul kegagalan implementasi e-government pasca pandemi di Kabupaten Bekasi, menunjukkan angka sebesar 75% pelayanan administrasi kependudukan masyarakat tidak terpenuhi, penyebab nya adalah hambatan infrastruktur di Kabupaten Bekasi. Daripada itu, berdasarkan hasil survei BPS pada tahun 2021 jumlah penduduk Kabupaten Bekasi rentang usia 20 – 24 mencapai 4,1 juta jiwa sehingga apabila pelayanan sistem administrasi kependudukan terus dilakukan tanpa memanfaatkan aplikasi pelayanan administrasi kependudukan, maka peluang terjadinya penumpukan antrean pelayanan administrasi kependudukan semakin besar. Merujuk pada objek masalah tersebut salah satu solusi yang dapat digunakan adalah dengan cara memanfaatkan RFID yang tertanam pada KTP Elektronik. Pemanfaatan RFID pada E-KTP memerlukan sebuah sistem yang terdiri dari 2 bagian yaitu pembaca RFID dan antarmuka website pelayanan yang sudah terkoneksi dengan database terdistribusi. Hasil penelitian skripsi menyimpulkan bahwa kinerja perangkat pembaca E-KTP yaitu mampu membaca dan menulis data KTP Elektronik pada database terdistribusi.

Kata Kunci: RFID, Prototipe E-KTP, Website, Administrasi Kependudukan

Abstract – Population administration services in Bekasi Regency are still in the online-based adjustment stage, where population administration services by utilizing the Google Forms feature and WhatsApp messages which both features have the opportunity to be underserved by requests for population administration services caused by the buildup of service queues. According to research conducted by Sukarno entitled Stuttering of post-pandemic e-government implementation in Bekasi Regency, it shows that 75% of community population administration services are not fulfilled, the cause of which is infrastructure obstacles in Bekasi Regency. Therefore, based on the BPS survey results in 2021, the population of Bekasi Regency range age 20-24 reached 4.1 million people, so that if population administration system services continue to be carried out without utilizing population administration service applications, the chances of a buildup of queues for population administration services are even greater. Referring to the object of the problem, one solution that can be used is to utilize RFID embedded in the Electronic ID Card. The use of RFID on E-KTP requires a system consisting of 2 parts, namely an RFID reader and a service website interface that has been connected to a distributed database. The results of the thesis research concluded that the performance level of the E-KTP reader device is able to read and write electronic ID card data on a distributed database.

Keywords: RFID, E-KTP Prototype, Website, Population Administration.

1. Pendahuluan

Pelayanan administrasi kependudukan adalah kegiatan penataan dan penertiban dokumen kependudukan melalui pendaftaran penduduk, pencatatan sipil, pengelolaan informasi penduduk serta pendayagunaan hasilnya untuk pelayanan publik dan pembangunan sektor lain. Setiap petugas pelayanan administrasi kependudukan bertanggung jawab atas apapun dalam melayani keperluan administrasi masyarakat nya. Beberapa hal yang biasanya masyarakat perlukan dari pegawai pencatatan sipil misalnya pembaharuan data kartu keluarga, akta lahir, surat keterangan domisili dan surat keterangan pindah domisili. Sebab penting nya proses pelayanan administrasi kependudukan, semestinya pelayanan administrasi kependudukan dapat dilakukan dengan efisien menggunakan sistem *e-government* [1]–[3], Namun fakta menyebutkan bahwa melalui penelitian Bilal Sukarno, dkk menyimpulkan bahwa pemerintahan Kabupaten Bekasi belum dapat dengan maksimal dalam mengimplementasikan *e-government* di lingkungan kerja dinas kependudukan dan pencatatan sipil, bukti hasil penelitian menunjukkan angka 75% masyarakat Kabupaten Bekasi menilai bahwa kebutuhannya tidak terpenuhi dengan baik, disebabkan hambatan infrastruktur nampaknya masih menjadi persoalan klasik dalam implementasi *e-government* di Kabupaten Bekasi [4].

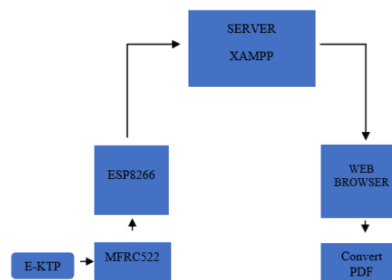
Menurut permendagri nomor 76 tahun 2020 dalam ketentuan umum dan lampirannya menyebutkan E-KTP merupakan kartu identitas penduduk Indonesia sudah ditanam chip teknologi RFID dengan frekuensi 13,56 MHz [2], adanya sebuah teknologi RFID di dalam E-KTP sudah digunakan sebagai pengecekan keaslian identitas penduduk yang data nya terpusat pada *database* pemerintahan. Namun, sebenarnya teknologi RFID pada E-KTP pun dapat dimanfaatkan lebih maksimal misalnya adalah membantu dalam pelayanan administrasi kependudukan dengan teknik *TAP-CARD* [5]–[7]. Teknik *TAP-CARD* adalah proses identifikasi *unique identification* (UID) yang dimiliki kartu RFID (E-KTP) dibaca oleh modul pembaca MFRC522 13,56 MHz dengan bantuan perlakuan manusia berupa mendekatkan kartu ke alat pembaca prototipe E-KTP.

Atas dasar permasalahan yang dipaparkan sebelumnya, oleh sebab itu pada penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan rancang bangun sistem *database* terdistribusi administrasi kependudukan berbasis RFID pada KTP elektronik. Sehingga proses pelayanan administrasi kependudukan di Kabupaten Bekasi dapat dilakukan secara efektif bahkan memungkinkan pendistribusian data dapat dimulai dari tingkatan pemerintah desa hingga kabupaten.

2. Metode Penelitian

2.1. Perancangan Sistem

Dalam mengimplementasikan penggunaan RFID di dalam E-KTP untuk kepentingan administrasi kependudukan diperlukan sebuah sistem dimana RFID *reader* harus melewati proses identifikasi, akses *database*, dan pencetakan. Berikut merupakan diagram alir sistem berikut yang ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 12. Diagram Alir Sistem

2.2. Perakitan Perangkat Pembaca RFID

Penyelesaian akhir dari sebuah perakitan perangkat pembaca RFID pada E- KTP melalui tahapan perencanaan dan pengabelan untuk menghasilkan barang yang nyata yang dapat dipegang, disentuh, dan dapat digunakan dengan semestinya.

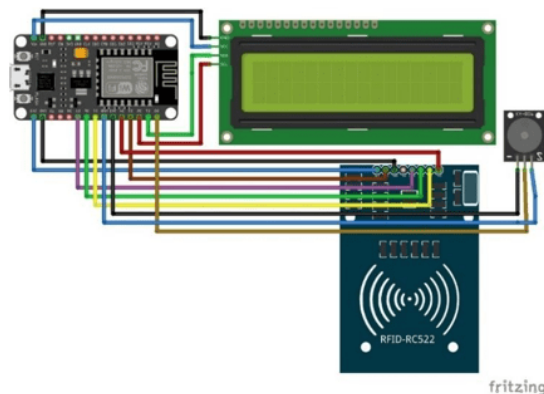
Perencanaan Pembaca RFID

Dalam memulai sebuah perencanaan untuk merakit alat pemindai RFID ada beberapa komponen elektronik yang perlu digunakan misalnya seperti NodeMcu, LCD, MFRC522, dan buzzer. Cara Kerja Perangkat Pemindai RFID yaitu NodeMCU sebagai mikrokontroler diprogram agar dapat terhubung ke setiapkomponen elektronik dengan panggilan library, setelah semua komponen terhubung dan dapat diolah datanya oleh NodeMCU maka proses pembacaan data UID RFID pada E-KTP akan dilakukan. Hal pertama adalah modul MFRC522 akan mengeluarkan frekuensi 13,5 MHz ke udara kemudian, apabila sudah dihadapkan dengan antenna RFID pasif 13,5 MHz maka NodeMcu akan mengidentifikasi alamat RFID.

Setelah mendapatkan hasil yang sesuai maka NodeMCU akan menyimpannya didalam memori kemudian akan mengaktifkan buzzer agar berbunyi. Pada pemrograman buzzer akan dihadapkan pada kondisi normalnya sinyal nya berupa *low* dan pada saat UID RFID teridentifikasi maka sinyal buzzer berubah menjadi *high* selama 100 ms sehingga berbunyi bip. Bersamaan dengan buzzer berubah sinyal menjadi *high* NodeMCU mengakses alamat I2C yang telah bergabung dengan LCD 1602 untuk menampilkan pesan karakter berupa teks nomor UID dalam waktu 100 ms.

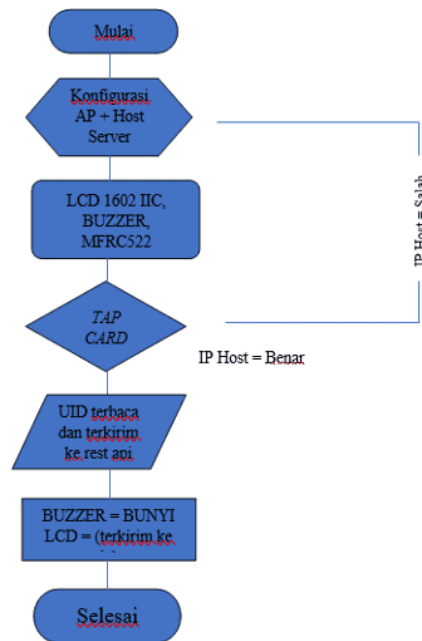
Pengkabelan Sistem Pembaca RFID

Pengkabelan sistem pembaca RFID menggunakan perangkat lunak fritzing, dengan menggunakan perangkat lunak seperti fritzing maka dapat memudahkan dalam penyambungan ke tiap-tiap pinout komponen elektronika. Berikut adalah tampilan hasil dari pengabelan (*wiring*) perangkat pemindai melalui simulasi padaFritzing yang ditunjukkan pada gambar 2.



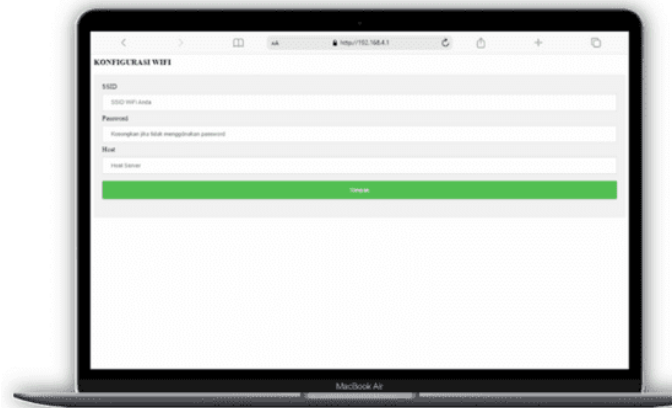
Gambar 13. Pengkabelan Perangkat Pembaca RFID E-KTP

Daigram Alir Perangkat Pembaca RFID



Gambar 14. Diagram Alir Perangkat Pembaca RFID

Kode program perangkat pembaca RFID berikut dibangun dengan menggunakan Bahasa pemrograman C dan HTML. Kode program yang di *upload* ke NodeMCU ESP8266 memiliki fasilitas untuk melakukan konfigurasi wifi/akses point, membaca UID RFID kartu, mengirim data UID ke REST API penerima. Metode login akses point berbasis web browser ini bermaksud bahwa jika server berpindah jalur koneksi akses point nya maka koneksi jaringan komputer pada ESP8266 dapat dihubungkan ke wifi apapun yang menggunakan keamanan WPA (Wi-Fi Protected Access) sesuai dengan yang terhubung ke server.



Gambar 15. Website Konfigurasi WiFi NodeMCU ESP8266

Kode program ini ditulis berdasarkan fungsinya dan dihubungkan dengan panggilan-panggilan yang dituliskan didalam ruang kerja void baru. Kode program untuk pembacaan RFID ditampilkan pada lampiran a.1. dan kode program untuk login wifi berbasis web browser ditulis

didalam file html.h (konfigurasi wifi) yang dibangun dengan struktur bahasa pemrograman C dan HTML yang dapat dilihat pada lampiran a.2. Tampilan web konfigurasi wifi ini otomatis muncul apabila perangkat apapun terhubung ke pembaca RFID(SCANNER E-KTP) yang biasa disebut sebagai *captive portal*. Tampilan web konfigurasi wifi ini ditunjukkan pada gambar 4.

2.3. Perancangan Rest API

Perancangan Rest API memerlukan beberapa aspek yang harus disediakan, misalnya adalah web browser yang digunakan komunikasi mesin dengan pengguna, *database* yang digunakan untuk menampung data yang diolah oleh mesin, dan memanfaatkan web server Apache untuk menjalankan website didalamlocalhost.

Website

Website untuk sistem administrasi kependudukan dibangun dengan menggunakan bahasa pemrograman HTML 5, Bootstrap 5, php, jquery, dan javascript. Berikut adalah tampilan website sistem administrasi kependudukan yang ditunjukkan pada gambar 5.

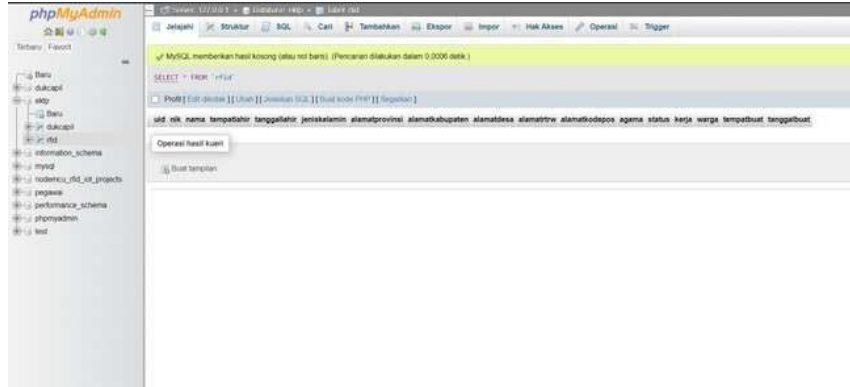


Gambar 16. Website Administrasi Kependudukan

Tampak dalam gambar 5. yaitu antarmuka website untuk pelayanan administrasi kependudukan dari bagian atas sampai bawah menunjukkan bahwa paling atas adalah judul, ditengah merupakan wadah hasil pencarian, dibawah keterangan UID adalah *search engine* data, dan tombol dibawahnya itumerupakan tombol pelayanan administrasi kependudukan seperti pelayanan pembaharuan data kartu keluarga, akta kelahiran, surat pindah domisili, dan surat keterangan domisil yang menghasilkan *end-user database* berupa file dokumen ekstensi docx, adapun tombol aktivasi UID merupakan tombol yang digunakan untuk mengidentifikasi RFID didalam kartu KTP elektronik tersebut sehingga sewaktu-waktu data yang sudah diinput kedalam *database* dibutuhkan dapat diakses kembali dengan identitas *primary key* nya adalah UID kartu tersebut.

Database MySQL

Pengelola data ini menggunakan manajemen *database* versi MySQL dan memanfaatkan PHPMyAdmin agar pengelolaan *database* dapat dengan mudah dilakukan. Tiap-tiap tombol menu pelayanan kartu keluarga, akta kelahiran, surat keterangan domisili, dan surat keterangan pindah domisili yang di tunjukkan di gambar 1.9 tersebut akan tersimpan di dalam *database* ektp, tabel RFID untuk wadah data aktivasi UID, tabel kk untuk wadah data kartu keluarga, tabel akte untuk wadah data akta, tabel suket_dom untuk wadah data surat domisilis, dan tabel suket_a_dom untuk wadah data surat keterangan domisili. Antarmuka PHPMyAdmin yang menunjukkan *database* administrasi kependudukan dapatditunjukkan pada gambar 6. berikut.



Gambar 17. Tabel Database Administrasi Kependudukan

2.4. Analisis Data

Analisa data pengujian dilakukan dengan dua pengujian, pertama adalah pengujian kemampuan alat pembaca KTP elektronik, dan yang kedua adalah pengujian tombol aksi pelayanan website sistem administrasi kependudukan. Pada pengujian pembaca KTP elektronik dilakukan dengan cara memberikan sebuah halangan berupa kertas diatas alat pembaca KTP elektronik, sedangkan untuk website diuji dengan cara mencoba setiap fungsi dari tombol aksi pelayanan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Perakitan Pembaca RFID

Hasil perakitan alat pembaca RFID E-KTP ditunjukkan pada gambar 7. Tampak luar perangkat pemindaian dan gambar 8. Tampak dalam perangkat pemindaian



Gambar 7. Tampak Luar Perangkat Pemindaian



Gambar 18. Tampak Dalam Perangkat Pembaca RFID

3.2. Hasil Perancangan Web Server Terdistribusi

Web Server dapat dibangun secara lokal dengan menggunakan perangkat lunak xampp, didalam xampp telah tersedia APACHE yang berfungsi untuk membuka ruang webserver, PHPMyAdmin untuk mengelola MySQL dengan webpage, dan PHP bahasa pemrograman untuk menghubungkan tampilan website dengan data dari database. Website dibangun dengan menggunakan bahasa pemrograman php dan javascript dan menggunakan penyimpanan ruang server berbasis MySQL. Website digunakan untuk sebagai media untuk mengaktifkan teknologi RFID pada KTP Elektronik dan meneruskan data-data pada KTP Elektronik untuk kegiatan administrasi kependudukan. Berikut adalah gambar dari tampilan awal website yang ditunjukkan pada gambar 9.



Gambar 19. Website Administrasi Kependudukan

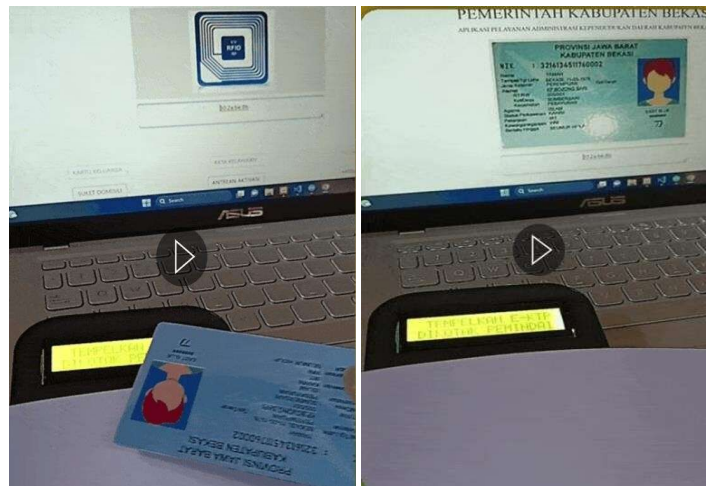
Pada website berikut menampilkan beberapa tombol yang digunakan untuk kebutuhan administrasi kependudukan seperti pelayanan pembaharuan data kartu keluarga, akta kelahiran, surat keterangan domisili, dan surat keterangan pindah domisili, antrean aktivasi dan pengaktifan teknologi RFID pada E-KTP. Berkonsentrasi pada tombol aktivasi E-KTP yang digunakan untuk mengaktifkan teknologi RFID pada E-KTP didalamnya terdapat halaman antrean validasi data, didalam halaman antrean validasi data memuat data-data yang sebelumnya dimasukkan secara manual oleh masyarakat didalam halaman form aktivasi E-KTP. Berikut ini merupakan tampilan halaman web form aktivasi E-KTP yang ditunjukkan pada gambar 10.

Gambar 20. Halaman Web Form Aktivasi RFID

Halaman web aktivasi RFID ini didapatkan oleh masyarakat pada saat petugas mengirimkan URL melalui QR-Code yang ditempel di papan informasi penggunaan teknologi RFID.

3.3. Pengujian Kinerja Perangkat Pembaca RFID

Analisis kinerja perangkat pembaca dilakukan dengan menggunakan prototype kartu pintar *white card* yang telah dimodifikasi seperti E-KTP karena untuk data UID E-KTP langsung belum ditemukan sumber token API UID KTP elektronika dan disebabkan oleh kesulitan untuk mendapatkan data asli masyarakat secara langsung. Oleh karena itu, pengujian dilakukan dengan cara menggunakan prototipe KTP Elektronik (*white card*) dengan cara diberikan halangan berupa tumpukkan kertas setebal 0,5 mm untuk perhitungan jarak maksimal dalam pembacaan kartu pintar 13,56 MHz. Salah satu proses pengujian tap card di tampilkan pada gambar 11 dan 12.



Gambar 21. (a) Proses mendeteksi UID pada prototipe E-KTP dan gambar dan (b) Proses menampilkan hasil Tap-Card

Sedangkan data hasil pengujian halangan kertas untuk pembacaan prototipe E-KTP selengkapnya ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Pengujian Kinerja Perangkat Pembaca

No.	Nama	Jumlah Kertas									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1.	Surya	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
2.	Warin	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
3.	Kemin	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
4.	Saemah	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
5.	Eka Sartika	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
6.	Yamah	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
7.	Tatang	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
8.	Warsih	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
9.	Lia	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
10.	Endi	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√

3.4. Pengujian Kinerja Pelayanan Website

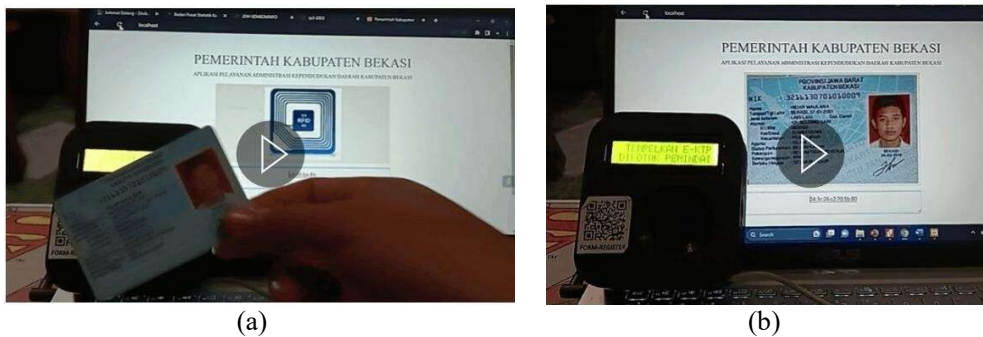
Pengujian pelayanan website dilakukan dengan menempelkan masing- masing kartu RFID selanjutnya mengakses tombol pelayanan administrasi kependudukan dilakukan dengan

menggunakan server dan akses point. Pada pengujian ini menggunakan spesifikasi server yang ditunjukkan pada tabel 2 berikut.

Tabel 2. Spesifikasi Server yang Digunakan Pada Saat Pengujian

Spesifikasi	Keterangan
Device name	ASUS LAPTOP-L3O1BVTD
Processor	Intel(R) Celeron(R) N4020 CPU @ 1.10GHz 1.10 GHz
Installed RAM	4.00 GB (3.83 GB usable)
Device ID	72CDCF7E-553E-433F-A646-5C975C902F92
Product ID	00356-24576-12908-AAOEM
System type	64-bit operating system, x64-based processor
Pen and touch	No pen or touch input is available for this display
System Operasi	Windows 11 Home Single Language 22H2

Pengujian pencarian data menggunakan metode Tap-Card berhasil dilakukan yang ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. (a) Proses mendeteksi UID pada E-KTP pribadi dan gambar 4.6 (b) Proses menampilkan hasil Tap-Card

Sebanyak 10 kartu e-KTP diuji untuk 6 jenis layanan yaitu aktivasi KTP, Kartu Keluarga, Akte Kelahiran, Surat Keterangan Domisili, Surat Keterangan Pindah Domisili, dan Perbaruan Data. Semua pengujian menggunakan IP Address 192.168.4.1. Kemudian, data hasil pengujian akses tombol aksi pelayanan website administrasi kependudukan lainnya diringkas didalam tabel 3

Tabel 3 Pengujian Akses Pelayanan Website dengan berbagai layanan

No	Nama	Pengujian Akses Pelayanan Website					Update Data
		Aktivasi E-KTP	Kartu Keluarga	Akte Kelahiran	Suket Domisili	Suket Pindah Domisili	
1	Surya	√	√	√	√	√	√
2	Warin	√	√	√	√	√	√
3	Kemin	√	√	√	√	√	√
4	Saemah	√	√	√	√	√	√
5	Eka Sartika	√	√	√	√	√	√
6	Yamah	√	√	√	√	√	√

No	Nama	Pengujian Akses Pelayanan Website					Update Data
		Aktivasi E-KTP	Kartu Keluarga	Akte Kelahiran	Suket Domisili	Suket Pindah Domisili	
7	Tatang	√	√	√	√	√	√
8	Warsih	√	√	√	√	√	√
9	Lia	√	√	√	√	√	√
10	Endi	√	√	√	√	√	√

4. Kesimpulan

Rancang bangun sisetem *database* terdistribusi administrasi kependudukan berbasis RFID adalah rangka awal sebuah sistem yang di mana *database* nya tersebar keseluruhan komputer sesrver yang di izinkan yang dapat mengaksesnya secara lokal, sehingga proses pelayanan masih dapat di lakukan walaupun tidak ada jaringan internet. Fitur khusus yang dimiliki pada sistem pelayanan administrasi kependudukan ini adalah penggunaan dan pengaktifan RFID pada E-KTP, akan tetapi pada penelitian ini dibatasi pada metode pengidentifikasi RFID dengan sample kartu pinter *White Card* disebabkan belum ada akses API *database* UID RFID yang terdata di kemendagri dan kesulitan mendapatkan data asli milik Masyarakat untuk di input ke dalam from aktivitas Hasil Analisa dan pengujian yang telah dilakukan adalah mendapatkan hasil kinerja pembacaan RFID masih dapat bekerja pada halangan 100 lembar kertas dengan ketebalan 0,5 mm. Perihal hasil pengujian aksi layanan website menunjukkan bahwa tombol hanya tombol aktivasi E-KTP yang dapat bekerja dan wadah hasil pencarian data dari hasil TAP-CARD.

Referensi

- [1] H. Hatma, M. N. Akbar, and M. Masnur, "Sistem Database Terdistribusi Dalam Implementasi e-Government Pada Dinas Pencatatan Sipil Kab. Pangkep," *J. Syst. Comput. Eng.*, vol. 4, no. 1, pp. 82–91, 2023, doi: 10.47650/jsce.v4i1.715.
- [2] N. N. H. Puspita, W. Wedashwara, and C. Ahmadi, "Purwarupa Sistem Administrasi Desa Petang berbasis Web menggunakan RFID dan Raspberry Pi," *E-Proceedings KNS&I STIKOM Bali*, pp. 220–224, 2017.
- [3] A. Shafira and A. Kurniasiwati, "Implementasi E-Government Dalam Upaya Peningkatan Pelayanan Berbasis Online Di Kabupaten Kulon Progo," *J. Caraka Prabhu*, vol. 5, no. 1, pp. 52–68, 2021, doi: 10.36859/jcp.v5i1.457.
- [4] B. Sukarno, N. F. Ginting, R. Ichwanusafa, S. Kinar Qamara, and S. Annisa Rochmani, "Kegagalan Implementasi E-Government Dinas Kependudukan dan Pencatatan Sipil Kabupaten Bekasi di Era Pandemi," *J. Identitas*, vol. 1, no. 2, pp. 1–13, 2021, doi: 10.52496/identitas.v1i2.146.
- [5] A. Susanto, "Aplikasi Pembuatan Kartu Tanda Penduduk Elektronik (E-KTP) Pada Kabupaten Pringsewu," *Prociding Kmsi*, vol. 3, no. 1, pp. 9–16, 2017.
- [6] H. Y. Fauziah, A. I. Sukowati, and I. Purwanto, "Rancang Bangun Sistem Absensi Mahasiswa Sekolah Tinggi Teknik Cendekia (STTC) Berbasis Radio Frequency Identification (RFID) menggunakan Arduino UNO R3," *J. Ilm. Komputasi*, vol. 16, no. 2, pp. 1–2, 2017, doi:10.32409/jikstik.16.2.2288.
- [7] I. Samsudin and M. Muslihudin, "Implementasi Web Government Dalam Meningkatkan Potensi Produk Unggulan Desa Berbasis Android," *J. Teknol. Komput. Dan Sist. Inf.*, vol. 1, no. 2, pp. 10–16, 2018.

- [8] Peraturan Mendagri, “Peraturan Menteri Dalam Negeri Republik Indonesia Nomor 76 Tahun 2020 tentang Perangkat Pembaca dan Penulis Serta Perangkat Pembaca Kartu Tanda Penduduk Elektronik,” *Kementeri. DalamNegeri RI*, pp. 1–56, 2020.
- [9] A. Solichin, “MySQL 5 Dari Pemula hingga Mahir” Achmad Solichin UNIVERSITAS BUDI LUHUR, JAKARTA.
- [10] Modul Sistem Basis Data UBSI, “Konsep Dasar Basis Data (Database) Pengenalan Basis Data,” *Tek. Inform.*, vol. 1 No.1, pp. 1–18, 2019, [Online].

Pemantauan Pembangkit Listrik *Hybrid* Tenaga Surya-Angin Sistem Off-grid Berbasis Internet of Things (IoT) untuk Rumah Tinggal

Monitoring Solar-Wind Hybrid Power Plants Off-Grid Systems Based on Internet of Things (IoT) for Residential Homes

Rangga Julfian Hakim^{1*}, Nur Ishaq Mahmudi², Nike Sartika³

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

Jl. A.H. Nasution No. 105A, Cibiru, Kota Bandung, Jawa Barat, Indonesia

ranggajulfianhakim07@gmail.com^{1*}, nurishaq1000@gmail.com², nikesartika@uinsgd.ac.id³

Abstrak – Penerapan sumber energi terbarukan dalam sistem pembangkit listrik telah menjadi fokus utama dalam upaya mengurangi emisi gas rumah kaca dan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil yang terus mengalami fluktuasi. Beberapa tahun terakhir, Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) menjadi sebuah solusi dalam kategori pembangkit listrik terbarukan untuk mengatasi pengurangan gas emisi rumah kaca akibat pembangkitan sumber daya listrik konvensional. Namun, penggunaan masing-masing pembangkit listrik terbarukan ini masih memiliki keterbatasan dalam mengatasi fluktuasi pasokan energi dan penyimpanannya. Penelitian ini merancang Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) yang dipadukan dengan teknologi Internet of Things (IoT) untuk mengetahui efisiensi masing-masing pembangkit dan efisiensi maksimal yang didapatkan ketika dua pembangkit tersebut dipadukan menjadi satu sistem yang sama. Internet of Things digunakan untuk memaksimalkan pemantauan jarak jauh sebagai implementasi sistem otomasi yang memiliki teknologi yang dapat dipantau secara langsung, real-time, dimanapun, dan kapanpun. Hasil penelitian menunjukkan penggunaan PLTH memiliki nilai efisiensi konversi energi yang tinggi dengan rata-rata efisiensi yang dicapai sebesar 20.004%. Rata-rata efisiensi PLTS sebesar 14.12% dan rata-rata efisiensi PLTB sebesar 0.85%. Daya yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebuah lampu 9Watt dengan rentang pengujian dimulai pukul 8.00 – 16.00 WIB, dari waktu tersebut didapat rentang efisiensi sebesar 14.17% - 22.96%.

Kata Kunci: Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid, Pembangkit Listrik Tenaga Surya, Pembangkit Listrik Tenaga Bayu, Internet of Things, Efisiensi Energi.

Abstract – The application of renewable energy sources in electricity generation systems has become the main focus in efforts to reduce greenhouse gas emissions and dependence on fossil fuels which continue to fluctuate. In recent years, Solar Power Plants (PLTS) and Wind Power Plants (PLTB) have become a solution in the renewable electricity generation category to overcome the reduction of greenhouse gas emissions due to conventional electricity generation. However, the use of each of these renewable power plants still has limitations in dealing with fluctuations in energy forces and storage. This research designs a Hybrid Power Plant (PLTH) combined with Internet of Things (IoT) technology to determine the efficiency of each generator and the maximum efficiency obtained when the two generators are combined into the same system. The Internet of Things is used to maximize remote monitoring as an implementation of an automation system that has technology that can be monitored directly, in real-time, anywhere and at any time. The research results show that the use of PLTH has a high energy conversion efficiency value with an average efficiency achieved of 20,004%. The average efficiency of PLTS is 14.12% and the average efficiency of PLTB is 0.85%. The power used in this research was a 9Watt lamp with a testing range starting at 8.00 - 16.00 WIB, from this time an efficiency range of 14.17% - 22.96% was obtained.

Keywords: Hybrid Power Plants, Solar Power Plants, Wind Power Plants, Internet of Things, Energy Efficiency.

1. Pendahuluan

Dalam beberapa tahun terakhir, konsumsi listrik di Indonesia terus meningkat secara signifikan. Menurut data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), selama tahun 2022 penggunaan listrik di Indonesia per Kapita berada di angka 1.172 kilowatt hour (kWh). Angka tersebut naik sebesar 4,5% dibandingkan pada tahun 2021 [1]. Hal ini mendorong upaya manusia untuk mengeksplorasi berbagai potensi energi yang tersedia di negara ini. Meskipun saat ini energi listrik masih didominasi oleh sumber konvensional seperti batu bara dan minyak bumi, namun terdapat keterbatasan dalam hal pasokan sumber daya konvensional dan dampak negatifnya terhadap lingkungan [2]. Oleh karena itu, di Indonesia telah muncul dorongan untuk mengembangkan sumber energi alternatif. Salah satu potensi yang menjanjikan adalah energi terbarukan seperti angin, surya, air, dan yang lainnya.

Sebagai negara tropis, Indonesia memiliki tingkat radiasi matahari yang tinggi dengan rata-rata harian sebesar 4,8 kWh/m²/hari [3]. Selanjutnya, potensi energi angin di Indonesia juga memiliki nilai yang besar dalam mendukung upaya pemanfaatan energi bersih untuk masa depan. Menurut Dewan Energi Nasional, Indonesia memiliki potensi pembangkitan energi angin mencapai 154,9 gigawatt (GW) [4]. Energi terbarukan pada saat ini memiliki peluang yang sangat bagus untuk di terapkan di Indonesia, karena sesuai dengan misi Indonesia pada tahun 2045 yaitu menuju Indonesia emas. Potensi ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternative yang murah dan tersedia sepanjang tahun. Selain itu, kondisi geografis Indonesia yang terdiri dari ribuan pulau menyebabkan masih banyak daerah terpencil yang belum terjangkau oleh listrik PLN [3].

Adanya energi terbarukan tidak menutup kemungkinan untuk memaksimalkan penggunaan pembangkit listrik terbarukan dengan menggunakan segala cara yang ada. Misalnya, pembangkitan energi listrik dengan cara *hybrid* artinya menggabungkan 2 ataupun lebih pembangkit tenaga listrik menjadi satu sistem yang sama. Potensi pembangkit listrik tenaga *hybrid* ini sangat penting diterapkan karena dapat menggantikan dan memaksimalkan pemakaian energi fosil. Hal ini menjadi inovasi yang penting untuk terus mengembangkan pembangkit listrik dengan energi bersih dan terbarukan [5].

Selain pemanfaatan teknologi *hybrid* pada pembangkitan tenaga listrik, untuk mengoptimalkan penggunaan energi bisa dilakukan dengan menggunakan teknologi *Internet of Things* (IoT). *Internet of Things* digunakan untuk melakukan pemantauan kinerja pembangkit listrik secara *real-time*. Data yang dihasilkan dalam pemantauan bersifat terus-menerus yang artinya operator tidak perlu melakukan pemantauan secara berkala dengan pengujian secara manual.

Dalam konteks instalasi penerangan rumah tinggal, penerapan sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* angin dan surya dengan metode *off-grid* menjadi salah satu solusi yang cocok untuk diimplementasikan. Sistem ini dapat menyediakan listrik yang diperlukan untuk penerangan rumah secara mandiri, tanpa harus bergantung pada jaringan listrik PLN saja [6].

Namun, dalam penerapan teknologi ini, perlu ada panduan yang praktis dalam merancang dan memilih komponen yang sesuai untuk memastikan masyarakat dapat mengimplementasikan dan menikmati listrik yang dibuat seperti masyarakat yang sudah terjangkau oleh listrik PLN. Oleh karena itu dilakukan penelitian untuk merancang sistem pembangkit listrik *hybrid* surya dan angin untuk rumah tinggal yang dimaksimalkan dengan teknologi *Internet of Things*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui inovasi yang tepat dan nilai efisiensi dari penggunaan pembangkit listrik tenaga *hybrid* sebagai salah satu pemanfaatan energi bersih dan terbarukan.

Penelitian mengenai pembangkit listrik tenaga *hybrid* telah banyak dilakukan. Diana Hidayanti, Galih Dewangga, Prakash Yoreniko M. P, Ineke Sarita, F. Gatot Sumarno, Wiwik Purwati [7] menguji kinerja pembangkit *hybrid* dengan pemasangan mikrokontroler untuk

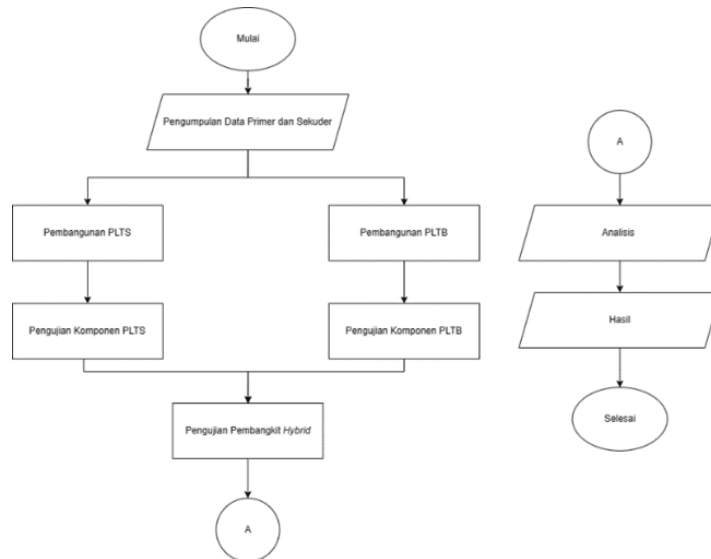
penggerak panel surya. Hasil uji karakteristik pada masing-masing beban didapatkan efisiensi tertinggi pada kecepatan 2,5 m/s. Efisiensi pada beban 15 Watt sebesar 20,968%, beban 19 Watt sebesar 39,48%, beban 23 Watt sebesar 49,57%, dan pada beban 33 Watt sebesar 78,39%. Sedangkan efisiensi terendah didapatkan pada kecepatan 5 m/s . Efisiensi pada beban 15 Watt sebesar 11,27%, beban 19 Watt sebesar 21,64%, beban 23 Watt sebesar 27,96%, beban 33 Watt sebesar 44,29%. Hasil dari pengujian yaitu penggunaan PLTH menghasilkan efisiensi yang lebih baik dibanding penggunaan PLTB maupun PLTS yang digunakan secara terpisah. Berdasarkan hasil pengujian pembangkit *hybrid* dengan pemberian kecepatan angin yang semakin besar nilainya maka efisiensi yang didapatkan semakin kecil dan dengan dipasangnya mikrokontroler pada panel surya, panel surya dapat menangkap energi matahari secara optimal. Semakin besar beban yang diberikan maka semakin besar efisiensi yang didapatkan.

Penelitian Wijaya Kusuma Nasution, Natalia Pratamasari, Sinta Wiranda, Tiurmarizky Waruwu [8] membahas mengenai Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* (Angin dan Surya) menggunakan Metode *Brainstorming* untuk mengatasi permasalahan biaya listrik yang besar pada UMKM sarang burung walet. Setelah dilakukan kegiatan *brainstorming*, dilakukan pembuatan *mind mapping*. Dari *brainstorming* didapatkan hasil perancangan produk pembangkit listrik tenaga *hybrid* (surya dan angin), fungsi utama pembangkit listrik tenaga surya, fungsi pendukung adalah pembangkit listrik tenaga angin, tenaga yang dikeluarkan 18 volt, kapasitas panel surya 100 watt, menggunakan mikrokontroler arduino uno, penopang kincir angin dan panel surya menggunakan bahan PVC, bahan penopang produk secara keseluruhan adalah kayu, dan bahan pendukung adalah *step-up* (16 A).

2. Metode Penelitian

2.1. Alur Penelitian

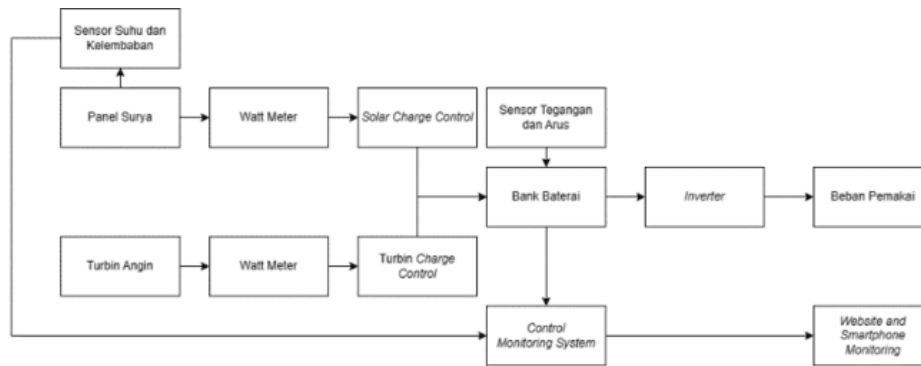
Alur penelitian dari proses pembuatan rancangan pembangkit *hybrid* ini dimulai dari pengumpulan data dan kajian literatur untuk menentukan sumber informasi yang dapat digunakan sebagai bahan uji coba serta dijadikan sebagai parameter utama dalam pembentukan rancangan sistem pembangkit listrik *hybrid* ini. Alur penelitian ditunjukkan pada gambar 1.



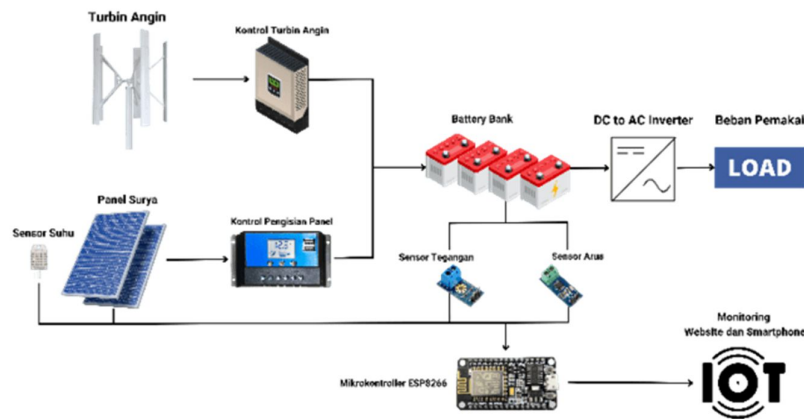
Gambar 22. Diagram alir penelitian.

2.2. Skema Rancangan Pembangkit Hybrid Off-Grid

Desain sistem *off-grid* pembangkit listrik *hybrid* tenaga surya dan angin terdiri dari 1 buah panel surya dengan kapasitas 60Wp, 4 buah kincir turbin angin vertikal dengan generator 120 VDC 300 Watt, *inverter* DC ke AC 1000 Watt, 1 buah baterai aki 12VDC, *Solar Charge Control*, *Wind Turbin Control*, Watt meter, sensor suhu dan kelembaban, tegangan. Sedangkan beban yang dijadikan objek menggunakan dua skema, yaitu pengujian dengan beban lampu 9 Watt dan pengujian rumah tinggal sesuai dengan kondisi nyatanya dengan total KWh sebesar 9800 KWh/Hari atau jika dikonversi kedalam satuan watt maka total daya yang dibutuhkan oleh satu rumah tinggal sesuai dengan kebutuhan sebesar 194 Watt. Skema rancangan pembangkit listrik *hybrid off-grid* ditunjukkan pada gambar 2. Gambar 3 merupakan visualisasi dari skema rancangan yang dibuat.



Gambar 23. Skema rancangan pembangkit listrik *hybrid off-grid*.



Gambar 24. Visualisasi skema rancangan pembangkit listrik *hybrid off-grid*.

Efisiensi dari PLTH dapat ditentukan dengan menggunakan rumus berdasarkan Hukum Termodinamika II sebagai berikut [9]:

$$\eta_{PLTH} = \frac{P_{beban}}{P_{K+E}} \times 100\% \tag{1}$$

Keterangan:

P_{beban} = Daya pada beban (W)

Pk = Daya kinetik turbin angin (W)
 E = Daya masukan pada panel surya (W)

2.3. Skema Beban yang Digunakan

Skema pertama pengujian dilakukan hanya menggunakan 1 buah lampu dengan daya 9 Watt. Total beban yang digunakan kemudian diakumulasikan dengan menggunakan *software* PVSYSYST untuk analisis daya dalam sebuah sistem yang digunakan dalam pembangkit listrik tenaga surya. Jumlah beban yang digunakan ditunjukkan pada gambar 4.

Total daya yang digunakan dalam rumah tinggal untuk penelitian ini ialah sebesar 108 Wh/hari dengan total peralatan rumah tinggal yang digunakan untuk 1 lampu 9 Watt total kebutuhan energi sebesar 108 Wh. Pada gambar 4 kebutuhan energi juga telah diatur waktu penggunaanya mulai dari selama 12 Jam pemakaian.

Daily consumptions						
Number	Appliance	Power	Daily use	Hourly distrib.	Daily energy	
1	Lamps (LED or fluo)	9 W/lamp	12.0 h/day	OK	108 Wh	
0	TV / PC / Mobile	0 W/app	0.0 h/day		0 Wh	
0	Domestic appliances	0 W/app	0.0 h/day		0 Wh	
0	Fridge / Deep-freeze	0.00 kWh/day	0.0		0 Wh	
0	Dish- and Cloth-washer	0.0 W aver.	0.0 h/day		0 Wh	
0	Magic Com (Penanak Nasi)	0 W/app	0.0 h/day		0 Wh	
0	Kipas Angin	0 W/app	0.0 h/day		0 Wh	
Stand-by consumers		0 W tot	24 h/day		0 Wh	
Total daily energy					108 Wh/day	
Monthly energy					3.2 kWh/mth	

Gambar 25. Data penggunaan beban.

2.4. Desain Solar Panel

Desain solar panel yang digunakan menggunakan perhitungan dengan bantuan sebuah website Global Solargis untuk menentukan *Peak Sun Hour* (PSH) yang terhitung. Di Indonesia, proses panel surya bekerja secara optimal dalam menangkap sinar matahari berlangsung selama 5 jam saja. Hal ini sesuai dengan hasil yang di tetapkan oleh Global Solargis dengan nilai 5.007 kWh/m² per hari [10].

SITE INFO		
Map data Per day -		
Specific photovoltaic power output	PVOUT specific	4.039 kWh/Wp per day
Direct normal irradiation	DNI	3.396 kWh/m ² per day
Global horizontal irradiation	GHI	5.007 kWh/m ² per day
Diffuse horizontal irradiation	DIF	2.499 kWh/m ² per day
Global tilted irradiation at optimum angle	GTI opta	5.079 kWh/m ² per day
Optimum tilt of PV modules	OPTA	12 / 0 °
Air temperature	TEMP	23.6 °C
Terrain elevation	ELE	706 m

Gambar 26. (1) *Peak Sun Hour* di Cipadung, Bandung, (2) Sudut kemiringan solar panel.

Penentuan jumlah nilai Wp pada solar panel yang akan digunakan dapat dihitung dengan rumus persamaan berikut [11]:

$$Watt\ peak\ (Wp)\ sunny\ weather = \frac{DEC}{PSH} \tag{2}$$

Keterangan:

DEC = Total energi dalam sehari (Wh)

PSH = Jumlah jam sinar matahari puncak (jam)

Pengujian skema 1 menggunakan beban 1 buah lampu dengan daya 9 Watt dengan durasi pemakaian 6 jam sehingga total besar pemakaian listrik adalah sebesar 54 Wh/hari. Penentuan jumlah panel yang digunakan berdasarkan persamaan (2) adalah:

$$Watt\ peak\ (Wp)\ sunny\ weather = \frac{DEC}{PSH} = \frac{54\ Wh}{5\ jam} = 10.8\ Wp$$

Hasil perhitungan diambil ketika cuaca sedang mendung dan disesuaikan dengan penggunaan solar panel yang dimiliki yaitu dengan kapasitas 60Wp. Maka kebutuhan jumlah solar panel yang digunakan dapat dihitung dengan persamaan (3) [12]:

$$\Sigma PV = \frac{DEC}{Cap_{pv} \times PSH} \tag{3}$$

Keterangan:

DEC = Total energi dalam sehari (Wh)

Cap_{pv} = Kapasitas panel surya pada beban puncak

PSH = Jumlah jam sinar matahari puncak (Jam)

$$\Sigma PV = \frac{DEC}{Cap_{pv} \times PSH} = \frac{54\ Wh}{60\ Wp \times 5} = 0.18 \approx 1\ Buah$$

Penentuan sudut kemiringan berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan *software* Global Solargis menghasilkan bawa sudut *tilt* (sudut antara panel surya dan permukaan bumi) sebesar 12° dengan *azimuth* (arah mata angin dari cahaya matahari datang) sebesar 0°. Maka skema penentuannya seperti ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 27. Skema sudut *tilt* dan *azimuth*.

Efisiensi dari solar panel dapat ditentukan dengan menggunakan rumus berdasarkan Hukum Termodinamika II sebagai berikut [9]:

$$\eta_{PLTS} = \frac{Vm \times Im}{Pi \times a} \times 100\% \tag{4}$$

Keterangan:

- V_m = Tegangan maksimum (V)
- I_m = Arus maksimum (A)
- P_i = Intensitas radiasi matahari (W/m^2)
- A = Luas penampang panel surya (m^2)

2.5. Desain Solar Charge Control

Desain solar panel terdapat 3 buah koneksi yang masing masing terhubung sesuai dengan fungsinya. Koneksi pertama yaitu untuk disambungkan oleh solar panel, koneksi kedua disambungkan ke dalam baterai yang digunakan, dan koneksi ketiga adalah sambungan untuk ke beban yang dipakai.



Gambar 28. Desain solar charge control

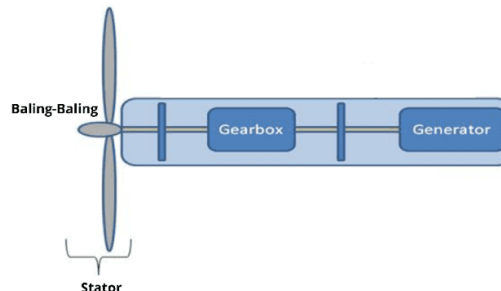
Perhitungan kebutuhan arus maksimal dari solar charge control yang digunakan bisa menggunakan rumus berikut [13]:

$$SCC = \frac{Capt_{pv}}{V_{batt}} \quad (5)$$

$$SCC = \frac{Capt_{pv}}{V_{batt}} = \frac{60 W}{12 v} = 5 \text{ Ampere}$$

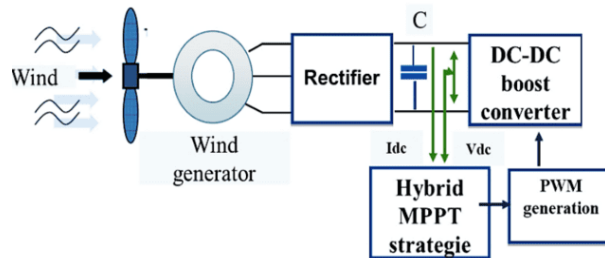
2.6. Desain Turbin Angin

Desain mekanis turbin angin terdiri dari 4 buah bilang kincir dengan bentuk vertikal, gearbox, dan generator DC. Bahan turbin angin yang digunakan menggunakan paralon PVC dengan diameter 3 inch. Desain turbin angin dapat dilihat pada gambar 8 [14].



Gambar 29. Desain turbin angin.

Untuk menstabilkan tegangan keluaran dari turbin angin digunakan rangkaian elektronika berupa rangkaian DC-DC Converter (DC Chopper). Konverter ini berperan untuk mengubah tegangan DC dari sumber yang tetap ataupun berubah-ubah menjadi tegangan keluaran yang tetap dengan cara mengatur faktor kerja (*duty cycle*). Konverter ini memanfaatkan sistem *charging* dan *discharging* pada induktor dengan metode *switching*. Bentuk rangkaian konverter dapat dilihat pada gambar 9 [15].



Gambar 30. Konverter DC-DC turbin angin.

Daya yang dihasilkan oleh turbin kincir angin yang dibuat dapat dihitung dengan menggunakan rumus persamaan matematis berdasarkan Hukum Kekekalan Energi. Maka dapat diketahui bahwa [16]:

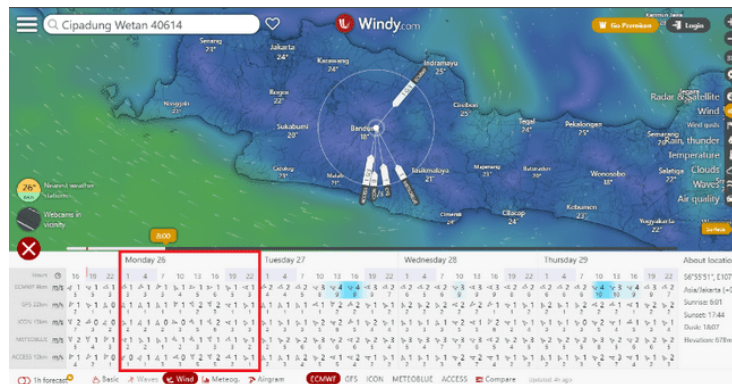
$$P_k = \frac{1}{2} \rho \times p \times A \times V^3 \tag{6}$$

Keterangan:

- P_k = Daya kinetik (W)
- ρ = massa jenis udara (Kg/m^3)
- A = Luas sapuan baling-baling turbin (m^2)
- V = kecepatan angin (m/s)

2.7. Skema Perhitungan Kecepatan Angin

Penentuan kecepatan angin pada suatu wilayah dapat dilakukan pengukuran dengan menggunakan 2 cara yaitu dengan menggunakan alat ukur berupa anemometer ataupun dengan melakukan pemantauan pada sebuah aplikasi berbasis *website*. Pada penelitian ini pengukuran arah dan kecepatan angin diukur dengan menggunakan sebuah aplikasi yang bernama *windy.com* dimana aplikasi ini menyediakan berbagai fitur yang lengkap untuk mendapatkan parameter pengukuran kecepatan angin yang diinginkan. Data pengukuran kecepatan angin diambil pada hari minggu tanggal 25 Juni 2023 dengan rentang waktu pengukuran dimulai dari jam 08:00 – 16:00 WIB. Hasil penentuan kecepatan angin ditunjukkan pada gambar 10.



Gambar 31. Penentuan kecepatan angin.

Tegangan keluaran yang dihasilkan oleh turbin menggunakan generator DC. Maka untuk penentuan daya keluaran angin dapat menggunakan Hukum Kekalan Energi dengan rumus [17]:

$$P_{keluaran\ angin} = V_a \times I_a \tag{7}$$

Keterangan:

- $P_{keluaran\ angin}$ = Daya keluaran generator DC (W)
- V_a = Tegangan keluaran generator DC (V)
- I_a = Arus keluaran generator DC (A)

Efisiensi dari PLTB dapat ditentukan dengan menggunakan rumus berdasarkan Hukum Termodinamika II sebagai berikut [18]:

$$\eta_{PLTB} = \frac{P_{keluaran\ Angin}}{P_k} \times 100\% \tag{8}$$

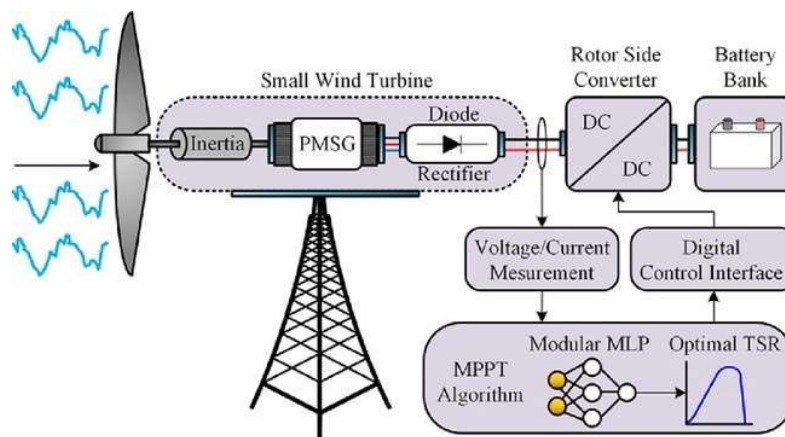
Keterangan:

- V_m = Tegangan maksimum (V)
- I_m = Arus maksimum (A)
- P_i = Intensitas radiasi matahari (W/m^2)
- A = Luas penampang panel surya (m^2)

2.8. Desain Wind Turbin Control

Maximum Power Point Tracking (MPPT) merupakan sebuah metodologi yang biasa digunakan pada pembangkit tenaga angin atau pembangkit tenaga tenaga surya sehingga dapat memaksimalkan pemanenan daya dari sumber energi terbarukan [19].

Perbandingan daya sebelum dan setelah proses perturbasi digunakan sebagai referensi untuk menyesuaikan tegangan pada langkah berikutnya dan mencapai titik daya maksimum (MPP) [19]. Gambar desain *wind turbine controller* dan konsep nya di tampilkan pada gambar 11 [20].



Gambar 32. Desain MPPT *wind turbine controller*.

2.9. Desain Inverter

Inverter adalah alat yang berguna untuk mengubah arus DC menjadi AC [21]. Acuan penggunaan *inverter* ada pada beban. Beban yang digunakan untuk penelitian antara 9 watt,

sehingga inverter yang digunakan harus lebih dari 9 watt. Inverter yang digunakan pada penelitian ini memiliki kapasitas 1000 Watt dan bertipe *pure sine wave* (PSW).

2.10. Desain Baterai

Pada penelitian ini baterai digunakan pada siang hari, sehingga pada saat proses *charging* selesai, baterai digunakan sebagai *storage* dan untuk memuat *router* agar proses pengambilan data berjalan dengan baik. Baterai memiliki kutub negatif dan positif yang terhubung ke *inverter* dan jalur ke SCC dan WTC. Persyaratan nilai minimal arus baterai yang digunakan adalah sebagai berikut [22]:

$$\text{Kapasitas Baterai} = \frac{DEC}{V_{batt}} \tag{10}$$

$$\text{Kapasitas Baterai} = \frac{108Wh}{12 V} = 1.5 \text{ Ah.}$$

Batas debit baterai disebut *Depth of Discharge* (DoD), yang dinyatakan dalam satuan persen. Baterai memiliki DOD 80%, artinya hanya 80% dari energi yang tersedia yang dapat digunakan dan 20% tersisa sebagai cadangan. Semakin dalam DoD diterapkan pada baterai, semakin pendek siklus baterai. Jika baterai tidak menyimpan daya yang cukup untuk memenuhi permintaan selama periode tanpa matahari, sistem akan kehabisan daya dan tidak dapat memenuhi konsumsi beban.

Salah satu caranya adalah dengan memperkirakan jumlah hari sistem beroperasi secara mandiri atau otonom. Pada penelitian ini, karena beban yang digunakan kecil, estimasi jumlah hari adalah 2 hari. Kapasitas baterai dengan DoD dan otonomi diketahui, maka baterai yang dibutuhkan adalah [23]:

$$\Sigma_{Batt} = \left(\frac{DEC}{Cap_{Batt} \times DOD} \times \text{days of autonomy} \right) \tag{11}$$

$$\frac{54}{12 V \times 3,5 Ah \times 80\%} \times 2 = 1.6$$

Karena penelitian ini menggunakan baterai VRLA 12 V, 3.5 Ah maka perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\Sigma_{Batt} = \frac{54}{12 V \times 3.5 Ah \times 80\%} \times 2 = 3.2 \approx 4 \text{ pcs}$$

2.11. Implementasi

Sistem PLTH *off-grid* diimplementasikan dengan merangkai hasil desain berupa gambar atau diagram untuk direalisasikan menjadi perangkat keras. Pada sistem PLTH *off-grid*, panel surya dengan kapasitas 60 Wp dan kincir angin vertikal digunakan sebagai alat utama yang dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Keluaran yang dihasilkan pada panel surya dan kincir angin berupa arus listrik DC yang tersimpan di dalam baterai dan dikendalikan menggunakan *solar charge controller* dan *wind turbin controller*. Arus listrik yang dibutuhkan untuk beban rumah tangga adalah listrik AC, maka penelitian ini menggunakan inverter 1000 Watt sebagai penyearah DC ke AC. Pada tahap awal penerapan alat yaitu pemasangan solar panel di atap rumah tinggal. Gambar 12 menunjukkan implementasi pemasangan panel surya dan kincir angin beserta instalasi nya.



Gambar 12. Implementasi pembangkit listrik tenaga *hybrid*.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Data Hasil Pengujian

Data hasil pengujian diperoleh dari berbagai macam pengukuran dari turbin angin, panel surya, baterai, dan beban dengan menggunakan berbagai macam alat ukur seperti sensor tegangan, sensor arus, anemometer dan integrasi *website*, sensor suhu, sensor kelembaban dan sensor intensitas cahaya. Tabel 1 menunjukkan hasil pengukuran beberapa parameter yang diuji sedangkan hasil pengujian sistem pembangkit *hybrid* ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 1. Data hasil pengujian sistem pembangkit *hybrid*.

Waktu	Turbin Angin			Panel Surya		Baterai		Beban	
	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Daya (W)
08:00	2	5	0.08	17.5	2.17	13.66	0.3	0.04	9
09:00	2	5.2	0.08	18.2	2.36	13.66	0.3	0.04	9
10:00	6.5	6	0.1	20	2.48	13.64	0.3	0.04	9
11:00	6.5	6.9	0.11	21.5	2.66	13.64	0.3	0.04	9
12:00	6.5	7	0.11	21.9	2.71	13.59	0.3	0.04	9
13:00	11.5	10	0.16	22	2.73	13.59	0.3	0.04	9
14:00	11.5	10.1	0.16	19.4	2.41	13.59	0.3	0.04	9
15:00	11.5	10.2	0.17	19	2.36	13.54	0.3	0.04	9
16:00	11.5	10.4	0.17	18	2.24	13.54	0.3	0.04	9

Pengujian dilakukan selama 9 jam dalam waktu 1 hari dimulai pada pukul 08:00 hingga 16:00. Nilai kecepatan angin yang terukur memiliki rata-rata sebesar 7.72 m/s, nilai rata-rata tegangan yang dihasilkan oleh turbin angin, panel surya, baterai, dan beban berturut-turut adalah 7.86 V, 19.72 V, 13.6 V, dan 0.04 V. Nilai arus yang dihasilkan oleh turbin angin, panel surya, dan aki berturut-turut adalah 0.12 A, 2.45 A, 0.3 A.

Tabel 2. Data hasil pengujian sistem pembangkit *hybrid*.

Waktu	Intensitas Matahari (W/m ²)	Kelembaban (%)	Suhu (°C)
08:00	890	79.09	26.79
09:00	907	79.19	26.79
10:00	915	79.3	26.79
11:00	1023	79.4	29.74
12:00	1023	79.5	29.74
13:00	1023	79.59	29.74
14:00	895	79.69	26.7
15:00	880	79.59	26.7
16:00	870	79.4	26.7

Data hasil pengukuran lanjutan terdapat pada 3 berupa hasil pengukuran dari intensitas matahari, kelembaban lingkungan, dan suhu. Nilai rata-rata yang didapatkan pada parameter intensitas matahari, kelembaban, dan suhu berturut-turut adalah 936.2 W/m², 79.4 %, dan 27.74 °C. Nilai parameter yang diukur mempunyai peran pada masing-masing hasil yang nanti digunakan untuk menentukan efisiensi dari setiap pembangkit listrik yang dibuat.

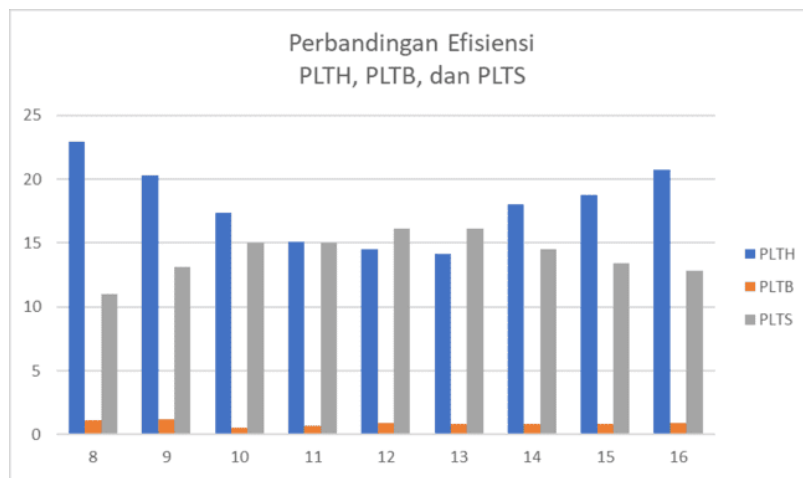
Tabel 3. Data hasil pengujian sistem pembangkit *hybrid*.

Waktu	Massa Udara (Kg/m ³)	Pk (W)	E (W)	Pkeluaran (W)	Efisiensi PLTH (%)	Efisiensi PLTB (%)	Efisiensi PLTS (%)
08:00	11.7	0.35	37.97	8.8	22.96	1.14	11
09:00	11.7	0.35	42.95	8.8	20.32	1.18	13.15
10:00	11.7	1.14	49.6	8.8	17.34	0.52	15.05
11:00	11.7	1.14	57.19	8.8	15.08	0.66	15
12:00	11.7	1.14	59.42	8.76	14.53	0.87	16.11
13:00	11.7	2.01	60.06	8.76	14.17	0.79	16.11
14:00	11.7	2.01	46.75	8.8	18.04	0.8	14.51
15:00	11.7	2.01	44.84	8.76	18.78	0.86	13.4
16:00	11.7	2.01	40.32	8.76	20.78	0.87	12.8

Data hasil pengukuran dan perhitungan berikut diambil sesuai dengan kondisi nya masing-masing. Nilai efisiensi ditampilkan pada PLTH, PLTS, dan PLTB. Nilai rata-rata efisiensi PLTB sebesar 0.85%, sedangkan nilai rata-rata efisiensi PLTS yang digunakan sebesar 14.12% Nilai efisiensi PLTH sebesar 20.004%. Hal ini menandakan bahwa penggunaan PLTS berhasil digunakan dan menaikkan nilai efisiensi dari pembangkit listrik surya dan angin.

3.2. Analisis Karakteristik Waktu Terhadap Efisiensi

Analisis waktu terhadap efisiensi digunakan untuk mengetahui perbandingan atau tingkat efisiensi pada saat penerapan PLTH dengan PLTB, dan PLTS. Pada gambar 13 terlihat bahwa penggunaan PLTH menghasilkan rata-rata efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan penggunaan PLTB ataupun PLTS nya saja. Hal ini telah dibuktikan dengan tabel perhitungan yang tertera pada data tabel Pengujian pada tabel 1 dan 2 serta tabel 3 untuk hasil perbandingan efisiensi penggunaan PLTH terhadap PLTB dan PLTS nya saja.

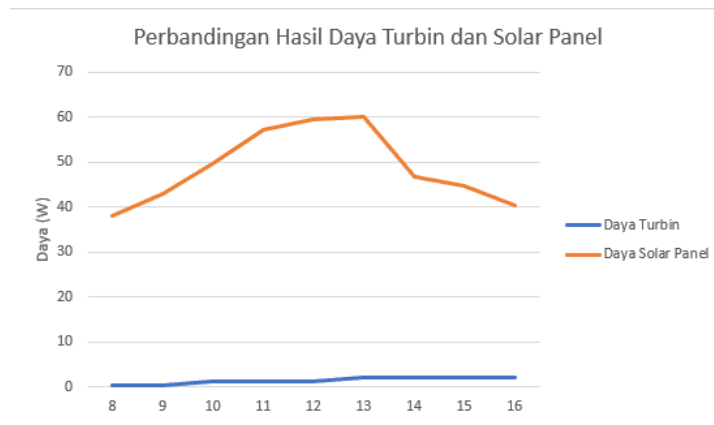


Gambar 33. Grafik perbandingan waktu dan efisiensi PLTH, PLTS, dan PLTB.

3.3. Analisis Daya Turbin dan Solar Panel Terhadap Waktu

Gambar 14 menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan solar panel lebih besar dibandingkan daya yang dihasilkan oleh turbin angin. Hal ini dipengaruhi oleh kondisi lingkungan sekitar pengukuran. Pada pukul 8.00 perbandingan daya turbin yang dihasilkan dengan daya yang dihasilkan pada solar panel memiliki selisih persentase sebesar 62.70%. Pada pukul 9.00 memiliki selisih sebesar 71%. Pada pukul 10.00 memiliki selisih sebesar 80.77%. Pada pukul 11.00 memiliki selisih sebesar 93.42%. Pada pukul 12.00 memiliki selisih sebesar 97.13%. Pada pukul 13.00 memiliki selisih sebesar 96.65%. Pada pukul 14.00 memiliki selisih sebesar 74.57%. Pada pukul 15.00 memiliki selisih sebesar 71.38%. Pada pukul 16.00 memiliki selisih sebesar 63.85%.

Nilai daya maksimum pada panel surya dengan persentase terbesar berada pada pukul 12.00 atau siang hari. Hal ini menandakan bahwa intensitas cahaya matahari pada pukul 12.00 di daerah Cipadung sangat terik dan terang yang membuat solar panel mampu mengeluarkan daya maksimalnya. Sedangkan pada penggunaan turbin angin, daya maksimum dengan persentase terbesar berada pada rentang pukul 13.00 sampai 16.00, ini menandakan bahwa pada pukul tersebut kecepatan angin lebih besar dari pada pukul 8.00 hingga 12.00 sehingga membuat turbin dapat menghasilkan daya yang terbesar dari waktu lainnya.

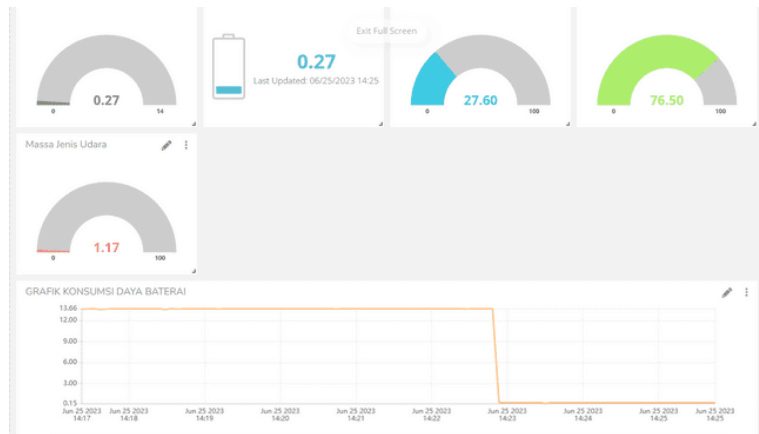


Gambar 34. Grafik perbandingan hasil daya turbin dan solar panel

3.4. Sistem Monitoring Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid

Sistem *monitoring* pada sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* berfungsi untuk memantau kapasitas dari perangkat yang digunakan seperti tegangan baterai, arus baterai, tegangan yang dikeluarkan oleh panel surya dan turbin, arus yang dikeluarkan oleh panel surya dan turbin, nilai suhu dan kelembaban lingkungan yang digunakan. Sehingga memudahkan para pengguna untuk melakukan analisis data untuk mengetahui kesehatan ataupun riwayat pengukuran yang dihasilkan oleh sistem pembangkit *hybrid* ini.

Sistem *monitoring* ini menggunakan Platform Ubidots, dimana platform ini memiliki berbagai macam keunggulan dan mudah digunakan seperti pengguna lain bisa melakukan *monitoring* secara langsung tanpa harus memiliki akun. Akan tetapi tidak bisa mengubah desain ataupun parameter yang diukur oleh sistem *monitoring* ini. Hasil tampilan sistem *monitoring* terdapat pada gambar 15.



Gambar 35. Sistem *monitoring* pembangkit listrik tenaga *hybrid*.

Keluaran data ini berupa data *logger* yang tersimpan di dalam *platform* tersebut yang dapat diakses oleh pemilik yang sudah memiliki akun tersebut. Sehingga data *logger* yang didapatkan bisa dilakukan analisis kesehatan ataupun penyakit ketika terdapat nilai yang terukur tidak sesuai standar yang telah ditetapkan.

4. Kesimpulan

Sistem pembangkit listrik *hybrid* yang menggunakan tenaga angin dan surya dapat memaksimalkan produksi energi dan mengurangi ketergantungan pada sumber daya yang biasa digunakan (PLN) ketika beban yang digunakan sebesar 9Watt pada lampu penerangan, nilai efisiensi didapatkan pada penggunaan sistem pembangkit listrik *hybrid* sebesar 14.17% - 22.96%.

Kombinasi tenaga angin dan surya dalam sistem ini memungkinkan untuk produksi energi yang lebih stabil. Ketika satu sumber energi sedang tidak aktif atau mengalami penurunan produksi, sumber energi lainnya masih dapat memberikan pasokan listrik. Hal ini membantu memastikan ketersediaan energi yang konsisten untuk penerangan rumah tinggal, terlepas dari kondisi cuaca atau waktu. Untuk jangka waktu yang panjang, sistem pembangkit listrik *hybrid* tenaga angin dan surya *off-grid* dapat menghasilkan penghematan biaya yang signifikan.

Secara keseluruhan, sistem pembangkit listrik *hybrid* tenaga angin dan surya *off-grid* merupakan solusi yang efisien, ekonomis, ramah lingkungan, dan memberikan kemandirian energi. Dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan, sistem ini dapat menjadi alternatif yang menarik untuk memenuhi kebutuhan penerangan rumah tinggal.

Referensi

- [1] A. M. H. Putri, "Tak Sampai Target, Konsumsi Listrik RI Naik 4,45% pada 2022," CNBC Indonesia.
- [2] M. Yu, "Assessment on the Environmental Impact of Conventional Energy Forms," *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*, vol. 680, no. 1, p. 012002, Mar. 2021, doi: 10.1088/1755-1315/680/1/012002.
- [3] "Matahari untuk PLTS di Indonesia," Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- [4] Dewan Energi Nasional, *Outlook Energi Indonesia 2022*. Jakarta, 2022.
- [5] "Mengenal Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid," Fakultas Teknologi Maju dan Multidisiplin Universitas Airlangga.
- [6] N. Q. Nawafilah, H. R. Agustapraja, and N. Purnomo, "Penerapan Sistem Hybrid Pembangkit Listrik Tenaga Angin Dan Tenaga Surya Di Desa Pataan, Kec.Sambeng, Kab.Lamongan," *Jurnal Mandala Pengabdian Masyarakat*, vol. 3, no. 2, pp. 174–180, Dec. 2022, doi: 10.35311/jmpm.v3i2.91.

- [7] Hidayanti Diana, G. Dewangga, P. Yoreniko, I. Sarita, G. Sumarno, and W. Purwati, "Rancang Bangun Pembangkit Hybrid Tenaga Angin dan Surya dengan Penggerak Otomatis Pada Panel Surya," *EKSERGI*, vol. 15, no. 3, pp. 93–101, 2019.
- [8] W. K. Nasution, N. Pratamasari, S. Wiranda, and T. Waruwu, "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (Angin dan Surya) Menggunakan Metode Brainstorming," *Talenta Conference Series: Energy and Engineering (EE)*, vol. 5, no. 2, pp. 427–432, Dec. 2022.
- [9] University of Wisconsin Steven Points, "Energy Efficiency and the Second Law of Thermodynamics," <https://www.uwsp.edu/wcee/wcee/pd/keep-pd/energy-module/unit-2-section-d/>.
- [10] Cakrawala, "Cara Menghitung Kebutuhan PLTS Skala Rumahan," GESAINSTECH.
- [11] Z. Hyder, "What is a peak sun hour? What are peak sun hour numbers for your state?," <https://www.solarreviews.com/blog/peak-sun-hours-explained>.
- [12] M. Y. Mappedasse, Mustakim, and Firdaus, "Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sebagai Sumber Listrik untuk Kapal Pinisi," *Jurnal Media Elektrik*, vol. 19, no. 3, pp. 194–199, Aug. 2022.
- [13] A. Jaenul, S. Wilyanti, A. L. Rifai, and F. Anjaya, "Rancang Bangun Pemanfaatan Solar Cell 100Wp untuk Charger Handphone di Taman Bambu Jakarta Timur," *Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat*, pp. 194–198, Sep. 2021.
- [14] Emerson, "Wind Turbine Control Methods," <https://www.ni.com/en/solutions/energy/condition-monitoring/wind-turbine-control-methods.html#:~:text=You%20can%20use%20different%20control,pitch%20and%20yaw%20control%2C%20respectively>.
- [15] K. Dahmane *et al.*, "Hybrid MPPT Control: P&O and Neural Network for Wind Energy Conversion System," *Journal of Robotics and Control (JRC)*, vol. 4, no. 1, pp. 1–11, Jan. 2023, doi: 10.18196/jrc.v4i1.16770.
- [16] PennState College of Earth and Mineral Sciences, "Wind Energy and Power Calculations," <https://www.e-education.psu.edu/emsc297/node/649>.
- [17] Windy Nation, "Wind Turbine Dump and Diversion Loads: What They Do and How to Choose the Right System," <https://www.windnation.com/blogs/articles/wind-turbine-dump-and-diversion-loads-what-they-do-and-how-choose-right-s>.
- [18] Y. Charabi and S. Abdul-Wahab, "Wind turbine performance analysis for energy cost minimization," *Renew Wind Water Sol*, vol. 7, no. 1, p. 5, Dec. 2020, doi: 10.1186/s40807-020-00062-7.
- [19] M. L. D. Kadarnis and A. Hamzah, "Desain Dan Simulasi Maximum Power Point Tracking (Mppt) Perturb And Observe (P&O) Dengan Kendali Arduino Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin Kecepatan Rendah," *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik*, vol. 6, no. 1, pp. 1–7, Jun. 2019.
- [20] D. R. Lopez-Flores, J. L. Duran-Gomez, and M. I. Chacon-Murguia, "A Mechanical Sensorless MPPT Algorithm for a Wind Energy Conversion System based on a Modular Multilayer Perceptron and a Processor-in-the-Loop Approach," *Electric Power Systems Research*, vol. 186, p. 106409, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.epsr.2020.106409.
- [21] Ardiansa and A. A. Akbar, "PERANCANGAN ALAT PENGUBAH ARUS DC KE AC BERBASIS MIKROKONTROLER SEBAGAI PENGGANTI PAGAR KEBUN," *Antivirus: Jurnal Ilmiah Teknik Informatika*, vol. 15, no. 2, pp. 199–208, Nov. 2021, doi: 10.35457/antivirus.v15i2.1721.
- [22] Yamato and B. B. Rijadi, "Analisis Kebutuhan Modul Surya Dan Baterai Pada Sistem Penerangan Jalan Umum (PJU)," *JET Jurnal Elektro Teknik*, vol. 1, no. 1, pp. 30–38, Mar. 2021.

ID: 25

Sistem Pemantauan Tingkat Nutrisi dan pH Menggunakan Arduino berbasis *Internet of Things*

Nutrition and pH Level Monitoring System Using Arduino based on Internet of Things

M. Syauqi Arrobbani^{1*}, Nike Sartika²

^{1,2}Teknik Elektro UIN Sunan Gunung Djati Bandung

Jl. A.H. Nasution No. 105A, Cibiru, Kota Bandung, Jawa Barat, Indonesia

syauqikiu@gmail.com^{1*}, nikesartika@uinsgd.ac.id²

Abstrak - Hidroponik merupakan salah satu metode budidaya tanaman dengan air sebagai mediana, dengan membuat sirkulasi pada air sehingga nutrisi mengalir ke akar tanaman. Masalah yang kerap terjadi pada hidroponik yaitu penurunan kualitas nutrisi tanaman dan juga penurunan kadar keasaman pH pada saat proses sirkulasi air terjadi. Akibatnya tanaman kurang bugar bahkan terjadi penurunan kualitas yang sangat signifikan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan penstabil nilai nutrisi dan kadar agar dapat menjaga kestabilan dengan nilai yang telah ditentukan. Selain itu teknologi *Internet of Things* dimanfaatkan untuk sistem monitoring yang berkerja selama real time. Sistem ini menggunakan arduino sebagai mikrokontroler, penggunaan TDS meter dan E-201C sebagai sensor untuk mendeteksi nilai nutrisi dan kadar keasaman pH serta pompa sebagai aktuator untuk menyalurkan cairan nutrisi dan pH. Dari hasil pengujian didapatkan nilai rata-rata kesalahan yang didapatkan dari sensor ph dan pH meter sebesar 0,71% dan nilai rata-rata kesalahan yang didapatkan dari sensor nutrisi dan TDS meter sebesar 0,03%. Dengan demikian sistem mampu mempertahankan nilai nutrisi dan kadar pH pada tanaman. Nilai tingkat nutrisi dan pH kemudian dapat dipantau melalui website Blynk sebagai sistemmonitorin gsecara real-time.

Kata kunci : arduino, hidroponik, *Internet of Things*, kadar nutrisi, pH

Abstract - Hydroponics is a method of cultivating plants using water as a medium, by creating circulation in the water so that nutrients flow to the plant roots. Problems that often occur in hydroponics are a decrease in the quality of plant nutrition and also a decrease in pH acidity levels during the water circulation process. As a result, the plants are less fit and there is even a very significant reduction in quality. This research aims to design and implement a stabilizer of nutritional values and levels so that it can maintain stability with predetermined values. Apart from that, *Internet of Things* technology is used for monitoring systems that work in real time. This system uses Arduino as a microcontroller, uses a TDS meter and E-201C as a sensor to detect nutritional value and pH acidity levels and a pump as an actuator to distribute nutrient fluid and pH. From the test results, it was found that the average error value obtained from the pH sensor and pH meter was 0.71% and the average error value obtained from the nutrition sensor and TDS meter was 0.03%. In this way, the system is able to maintain the nutritional value and pH levels of the plants. Nutrient level and pH values can then be monitored via the Blynk website as a real-time monitoring system.

Keyword : arduino, hydroponics, *Internet of Things*, nutrient levels, pH.



1. Pendahuluan

Keterbatasan lahan tidak menjadikan seseorang untuk tidak bisa bercocok tanam. Hidroponik menjadi salah satu alternatif bagi petani untuk bisa terus membudidayakan tanamannya. Dengan sistem tanam hidroponik maka petani tidak butuh lahan yang sangat luas dikarenakan hidroponik hanya membutuhkan air sebagai media tanamnya. Berbeda dengan media konvensional yang memerlukan lahan yang sangat luas. Dengan menggunakan air sebagai media tanamnya, maka perlu adanya pengawasan untuk memastikan kadar nutrisi dan pH pada tanaman sehingga tanaman akan tetap mendapatkan nutrisi dan kadar pH yang sesuai. Dengan demikian hidroponik menjadi salah satu metode yang dapat dilakukan di pekarangan rumah dan lahan sempit [1].

Sistem hidroponik terbagi menjadi dua bagian, yaitu sistem pasif dan sistem aktif. Sistem pasif bisa diperuntukkan untuk para pemula, sedangkan sistem aktif adalah sistem pompa dan beberapa alat yang berfungsi mengalirkan nutrisi pada akar tanaman [2]. Beberapa komponen yang penting untuk pertumbuhan dan kesuburan tanaman hidroponik ini yaitu proses penyerapan nutrisi pada akar tanaman. Pemberian nutrisi yang sesuai membuat tanaman sehat sehingga dapat bertahan dari serangan hama dan penyakit [2]. Hidroponik dapat menggunakan sistem NFT (*nutrient film technique*) dimana air nutrisi akan dipompa sehingga masuk ke dalam sirkulasi air dan akar akan bersentuhan dengan nutrisi.

Permasalahan yang terjadi saat ini adalah tidak adanya pengawasan lebih lanjut terhadap nilai nutrisi dan kadar keasaman pH yang ada pada tanaman hidroponik sehingga terjadi penurunan kualitas kebugaran dan Kesehatan pada tanaman. Masalah tersebut bisa terjadi dikarenakan kurangnya pengawasan pada setiap aspek yang berpengaruh terhadap tanaman seperti nilai nutrisi dan kadar keasaman pH [3].

Penelitian terkait pemantauan kadar nutrisi dan pH pada tanaman hidroponik telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Teknologi hidroponik menjadi salah satu solusi bagi petani yang memiliki waktu yang terbatas sehingga petani dapat dengan mudah mengakses tanamannya dengan menggunakan teknologi hidroponik. Salah satu pemanfaatan mikrokontroler pada tanaman hidroponik adalah dengan pembuatan sistem pasang surut otomatis untuk mengatur waktu menghidupkan dan mematikan pompa berdasarkan kadar air media tanam hidroponik [4]. Mikrokontroler yang digunakan dalam sistem ini adalah mikrokontroler berbasis ArduinoUno. Dalam sistem ini pompa air akan aktif secara otomatis apabila kadar air dalam media hidroponik kurang dari variabel yang telah ditentukan. Dengan memanfaatkan teknologi pada tanaman maka diharapkan mempermudah untuk melakukan perawatan secara rutin, dengan mikrokontroler berbasis arduino dan sensor lingkungan yang mampu menguji hipotesis secara benar dalam hal hubungan kasual melalui tahapan *design science research method* (DSRM) [5].

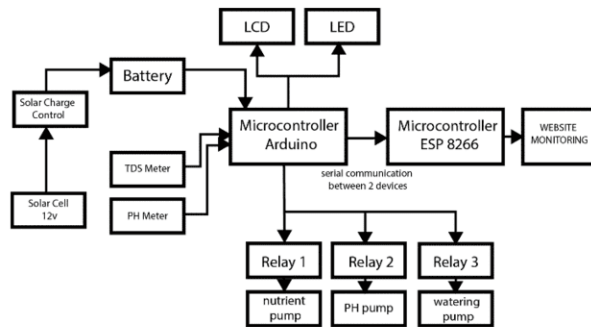
Dalam penelitian ini alat dirancang untuk membuat nilai nutrisi dan kadar keasaman pH tetap stabil sesuai dengan kebutuhan tanaman. Selain itu dilengkapi dengan sistem *monitoring* yang dilakukan secara *real-time* agar kualitas tanaman akan selalu tepat terjaga sehingga menghasilkan tanaman yang sehat. Pemberian nilai nutrisi dengan nilai yang telah ditentukan merupakan *set point* dimana nutrisi akan dipompa kedalam satu bak penampung air menggunakan arduino sebagai mikrokontroler dan sensor pH sebagai komponen untuk memastikan kadar keasaman pH yang dibutuhkan. Kadar nutrisi akan dipompa menuju bak penampung dengan menggunakan arduino sebagai mikrokontroler dan TDS meter sebagai komponen untuk memastikan nilai nutrisi yang dibutuhkan, sehingga nilai nutrisi dan kadar keasaman pH akan selalu terpenuhi di setiap harinya untuk kebutuhan tanaman [6].

2. Metode Penelitian

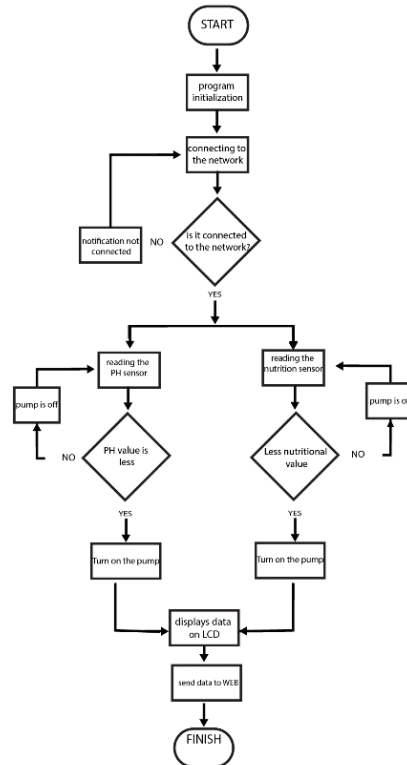
Penelitian ini diawali dengan studi literatur. Studi kepustakaan adalah metode pengumpulan data melalui pengkajian literatur-literatur terdahulu dan pembelajaran manual teknis dan teori yang dapat digunakan sebagai bahan penelitian [7]. Studi literatur kemudian didukung dengan

observasi lapangan sehingga dapat mengidentifikasi permasalahan yang terjadi. Proses identifikasi ini dilakukan dengan metode observasi dan wawancara mengenai narasumber terkait. Berdasarkan hasil identifikasi, ditemukan beberapa masalah, yaitu: *controlling* yang harus rutin, analisis kondisi lingkungan tanaman yang memakan waktu, penstabilan kadar keasaman manual yang memakan waktu, dan pemberian nutrisi yang harus tepat waktu. Selanjutnya adalah membuat desain sistem dan mengimplementasikannya. Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah sistem yang dibuat berfungsi sesuai dengan spesifikasi atau tidak sehingga analisis bisa dilakukan.

Dalam merancang dan mengimplementasikan sistem yang dibuat, diagram blok digunakan untuk menginterpretasikan sistem yang terdiri dari *input*, proses dan *output*. Diagram blok dari sistem yang dibuat ditunjukkan pada gambar 1 dan diagram alir sistem ditunjukkan pada gambar 2.



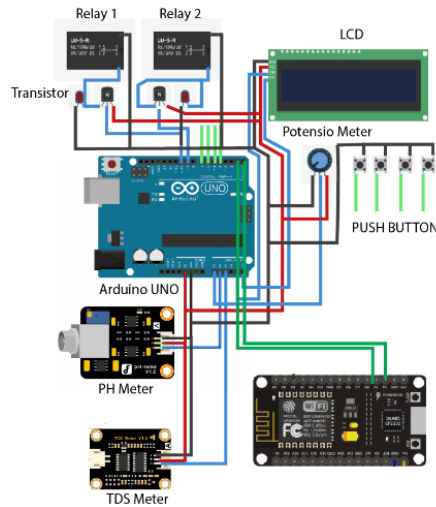
Gambar 1. Diagram blok sistem.



Gambar 2. Diagram alir sistem

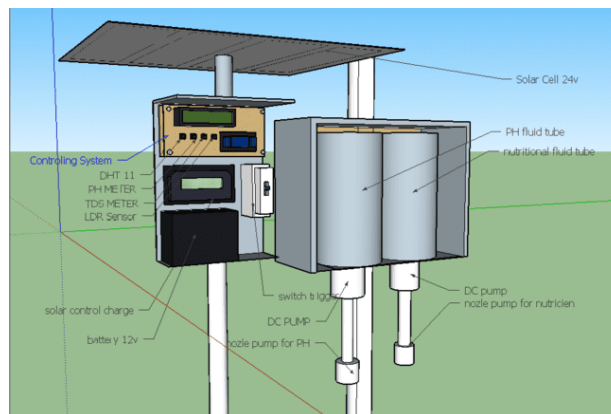
2.1. Desain Sistem

Prosedur selanjutnya adalah merancang alat dan sistem kerjanya untuk menjawab permasalahan-permasalahan yang teridentifikasi. Desain rancangan alat tersebut dibuat menggunakan *software* SketchUp. Desain alat *monitoring* dan penstabil kondisi lingkungan ini berbentuk *project box* yang dapat fleksibel dipasang di permukaan tinggi seperti tiang dan dinding. Desain skematik dari alat penstabil kondisi lingkungan memiliki fungsi menstabilkan kadar keasaman, mengalirkan cairan nutrisi, dan menyesuaikan konsentrasi nutrisi. Penstabilan tersebut disesuaikan dengan *input* dari setiap sensor, dan disesuaikan dengan kebutuhan spesies tanaman. Desain skematik sistem ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Rancangan sistem.

Gambar 4 menunjukkan visualisasi 3D dari sistem yang dibuat. Sistem yang dibuat menggunakan panel surya sebagai sumber energi. Kemudian di bagian utama terdapat sistem *monitoring*, *controlling*, dan *setting*. Pada bagian ini sebuah mikrocontroler ditanamkan agar sistem berjalan sesuai dengan rencana. Bagian ini akan terhubung dengan 2 komponen lainnya yaitu *solar charge control* yang berfungsi meneruskan arus dari panel surya ke baterai sekaligus untuk mengisi baterai apabila kehabisan daya dan terhubung ke *actuator* yaitu pompa. Sementara bagian *project box* kecil yang terpisah merupakan *actuator* sistem penstabil yang berfungsi memompa cairan nutrisi dan menstabilkan kadar keasaman.



Gambar 4. Visualisasi 3D sistem.

2.2. Implementasi Sistem

Setelah desain sistem selesai maka prosedur selanjutnya adalah perakitan alat. Secara umum, alat ini terbagi menjadi alat penstabil kadar keasaman dan cairan nutrisi, dan *monitoring system*. Alat penstabil kadar keasaman dan cairan nutrisi berproses dengan cara melihat nilai nutrisi dan kadar keasaman ph secara langsung. Apabila didapatkan nilai nutrisi ataupun kadar keasaman ph yang kurang dari *range set point* yang telah di tentukan, maka sensor akan mengirimkan sinyal sebagai tanda bahwa tanaman perlu diberikan nutrisi dan ph. Data-data tersebut kemudian di-*input* ke *website* sebagai sarana *monitoring*. Gambar 5 menunjukkan implementasi sistem.



Gambar 5. Implementasi sistem.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini menggunakan 3 jenis tanaman yang berbeda disertai dengan kebutuhan nutrisi dan pH yang berbeda untuk setiap minggunya. Tabel 1 menunjukkan kebutuhan nutrisi untuk setiap tanaman dan tabel 2 menunjukkan kebutuhan pH untuk setiap tanaman.

Tabel 1. Kebutuhan nutrisi untuk setiap tanaman.

Tanaman	Kebutuhan nutrisi dalam 1 minggu			
	Minggu ke-1	Minggu ke-2	Minggu ke-3	Minggu ke-4
Selada	500	600	700	800
Pakcoy	500	700	900	1000
Seledri	500	700	900	100

Tabel 2. Kebutuhan pH untuk setiap tanaman.

Tanaman	Kebutuhan Ph dalam 1 minggu			
	Minggu ke-1	Minggu ke-2	Minggu ke-3	Minggu ke-4
Selada	5,5-6,5	5,5-6,5	5,5-6,5	5,5-6,5
Pakcoy	6,0-7,0	6,0-7,0	6,0-7,0	6,0-7,0
Seledri	5,5-6,5	5,5-6,5	5,5-6,5	5,5-6,5

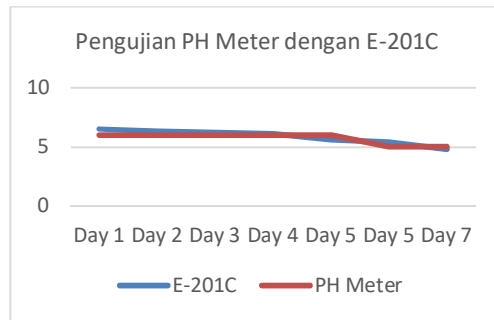
3.1. Pengujian Sensor pH

Sensor PH berfungsi sebagai alat untuk mendeteksi kadar PH pada tanaman agar sesuai dengan *set point* yang diberikan. Nilai kit E-201C yaitu module PH meter dan juga PH meter konvensional bertujuan untuk mengukur keakuratan dari module kit E-201C dengan mencari nilai *Analog to Digital Converter* (ADC) pada module kit E-201C dan juga nilai tegangan sehingga didapatkan nilai PH pada sebuah tanaman.

Rentang nilai atau *setpoint* yang diberikan pada tanaman yaitu 6 – 7. Apabila terdapat nilai pH yang kurang dari nilai *setpoint* maka pompa akan hidup dan apabila nilai pH berkisaran 6-7 maka pompa akan mati. Proses menyalakan dan mematikan pompa yaitu dengan tujuan untuk menstabilkan nilai PH pada tanaman, dengan begitu tanaman akan selalu dalam keadaan optimal. Hasil pengujian sensor pH selama satu minggu ditunjukkan pada tabel 3 dan gambar 6.

Tabel 3. Hasil pengujian sensor pH.

Waktu pengujian	Kit E-201C	PH meter	Error (%)	Output
Hari ke-1	6,5	6	0,83	Pump off
Hari ke-2	6,3	6	0,5	Pump off
Hari ke-3	6,2	6	0,33	Pump off
Hari ke-4	6,1	6	0,16	Pump off
Hari ke-5	5,6	5	1	Pump off
Hari ke-6	5,5	5	0,83	Pump off
Hari ke-7	4,8	4	1,33	Pump On
Rata-rata	5,8	5,4	0,71	



Gambar 6. Grafik perbandingan hasil pengujian menggunakan pH meter dengan E-201C.

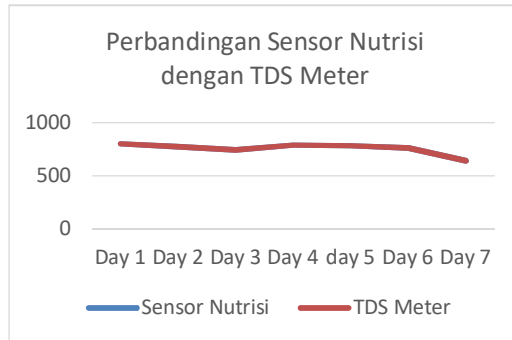
Berdasarkan pengujian yang dilakukan didapat bahwa sensor pH memiliki nilai eror yang kecil dan pompa berfungsi dengan baik sesuai dengan kondisi pH yang terjadi.

3.2. Pengujian Sensor TDS

Pengujian sensor TDS Meter dilakukan selama 7 hari dengan jumlah sample sebanyak 7. Proses pengambilan data didapatkan dari hasil pembacaan nilai *Analog To Digital Converter* (ADC) yang kemudian didapatkan nilai tegangan sehingga TDS meter dapat membaca nilai nutrisi pada tanaman. Pada pengujian di hari pertama nutrisi akan diberikan sebanyak 800 ppm sesuai dengan kebutuhan nutrisi pada tanaman. Di setiap harinya nutrisi akan mengalami penurunan. Dalam kasus ini *set point* diberikan dengan *range* 750 ppm – 800ppm sehingga apabila nilai yang terbaca dari sensor berada dalam *range* tersebut maka pompa akan mati dan apabila nilai nutrisi kurang dari nilai *range* maka pompa akan menyala sehingga nutrisi akan kembali terpenuhi. Hasil pengujian sensor TDS selama satu minggu ditunjukkan pada tabel 4 dan gambar 7.

Tabel 4. Hasil pengujian sensor TDS.

Waktu pengujian	Nutrisi meter	TDS meter	Error (%)	Output
Hari ke-1	800 ppm	800,12 ppm	0,015	Pump off
Hari ke-2	770 ppm	770,12 ppm	0,015	Pump off
Hari ke-3	740 ppm	741,43 ppm	0,18	Pump on
Hari ke-4	790 ppm	790,10 ppm	0,015	Pump off
Hari ke-5	780 ppm	780,15 ppm	0,019	Pump off
Hari ke-6	760 ppm	760,10 ppm	0,013	Pump off
Hari ke-7	640 ppm	640,13 ppm	0,014	Pump on
Rata-rata	754,28 ppm	668,87 ppm	0,03%	

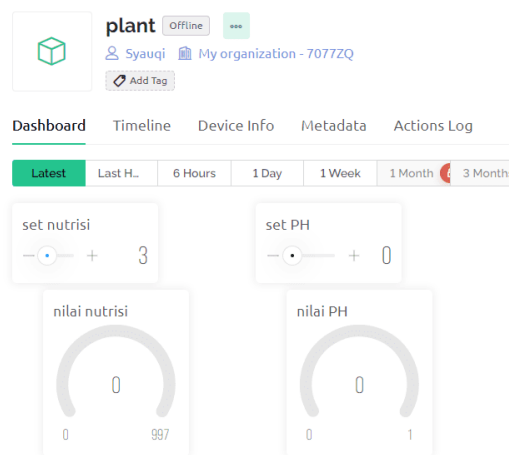


Gambar 7. Grafik perbandingan hasil pengujian menggunakan sensor nutrisi dengan TDS meter.

Berdasarkan pengujian yang dilakukan didapat bahwa sensor TDS memiliki nilai eror yang sangat kecil dan pompa berfungsi dengan baik sesuai dengan kondisi nutrisi yang terjadi.

3.3. Sistem Monitoring

Sistem monitoring ditampilkan pada *website* Blynk seperti yang ditunjukkan pada gambar 8. Pada *user interface* tersebut menampilkan *widget monitoring* kepekatan konsentrasi cairan nutrisi, dan kadar keasaman, serta pengaturan *set point* pada kepekatan konsentrasi cairan nutrisi, dan kadar keasaman, sehingga user atau pengguna dapat memonitoring tumbuhan dengan mudah dan pengguna dapat mengatur tingkat nutrisi juga kadar keasaman pH.



Gambar 8. User interface sistem monitoring pada website Blynk

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian yang dilakukan, didapatkan bahwa sensor pH memiliki nilai eror sebesar 0.71% sedangkan sensor TDS 0,03%. Hal ini menunjukkan bahwa sistem yang telah dibuat dapat digunakan untuk menstabilkan tingkat nutrisi dan juga pH pada tanaman hidroponik. Selain itu, teknologi *Internet of Things* yang diimplementasikan pada penelitian ini berhasil menampilkan kondisi pH dan nutrisi melalui *website* Blynk dimanapun dan kapanpun. Pengguna juga dipermudah dalam proses pengairan instalasi hidroponik dari jarak jauh menggunakan *website*. Selain itu, pengguna pun dapat mengendalikan tingkat kepekatan dan kadar keasaman cairan nutrisi tanaman secara otomatis. Dengan adanya sistem ini para petani hidroponik dapat bekerja lebih efektif dan efisien.

Referensi

- [1] G. Nurifah dan R. Fajarfika, “Pengaruh Media Tanam pada Hidroponik terhadap Pertumbuhan dan Hasil Kailan (*Brassica Oleracea L.*),” *Jagros J. Agroteknologi dan Sains (Journal Agrotechnology Sci.*, vol. 4, no. 2, hal. 281, 2020, doi: 10.52434/jagros.v4i2.925.
- [2] and A. B. Fitriady, B. Amri, “Sistem Pengaturan pH Larutan Nutrisi Tanaman Hidroponik Berbasis Arduino Uno (pH of Hydroponic Plants Nutrient Solution Control System),” *J. Innov*, vol. 8, no. 1, hal. 1–4, 2019.
- [3] P. Denanta Bayuguna Perteka, I. N. Piarsa, dan K. S. Wibawa, “Sistem Kontrol dan Monitoring Tanaman Hidroponik Aeroponik Berbasis Internet of Things,” *J. Ilm. Merpati (Menara Penelit. Akad. Teknol. Informasi)*, vol. 8, no. 3, hal. 197, 2020, doi: 10.24843/jim.2020.v08.i03.p05.
- [4] M. Zhulfa, W. Yudhistira, dan J. Aprilio, “Analisis Pemanfaatan Teknologi Mikrokontrolerarduino Dalam Membantu Pemeliharaan Tanaman Sayur Pada Mediatanam Hidroponik,” *Semin. Nas. Sist. Inf.*, vol. 5, no. 1, hal. 2879–2888, 2021.
- [5] G. Devira Ramady dan A. Ghea Mahardika, “Analisis Uji Implementasi Smart Agriculture System Pada Lahan Terbatas Rumah di Wilayah Perkotaan Berbasis Kontrol Menggunakan Mikrokontroler Arduino Uno,” *Smart Comp Jurnalnya Orang Pint. Komput.*, vol. 10, no. 2, hal. 54–60, 2021, doi: 10.30591/smartcomp.v10i2.2310.
- [6] D. R. Wati dan W. Sholihah, “PengonWati, D. R., & Sholihah, W. (2021). Pengontrol pH dan Nutrisi Tanaman Selada pada Hidroponik Sistem NFT Berbasis Arduino. *Multinetics*, 7(1), 12–20. <https://doi.org/10.32722/multinetics.v7i1.3504>trol pH dan Nutrisi Tanaman Selada pada Hidroponik Sist,” *Multinetics*, vol. 7, no. 1, hal. 12–20, 2021.
- [7] W. Darmalaksana, “Metode Penelitian Kualitatif Studi Pustaka dan Studi Lapangan,” *Pre-print Digit. Libr. UIN Sunan Gunung Djati Bandung*, hal. 1–6, 2020.

Analisa Eksplisit Pada Spotify Berbasis Big Data

Explicit Analysis of Spotify Based on Big Data

Yoga Putra Pratama^{1*}, Heribertus Rudi Kusumantoro²

^{1,2}Politeknik Negeri Jakarta

Jl. Prof. DR. G.A. Siwabessy, Kampus Universitas Indonesia Depok, 16425, 021-7270036

yoga.putra.pratama@grafika.pnj.ac.id^{1*}, rudi.kusumantoro@grafika.pnj.ac.id²

***Abstraks-** Internet merupakan bagian yang tidak terpisahkan dalam kehidupan saat ini. Banyak aplikasi yang menggunakan internet untuk diakses dalam kehidupan seperti salah satunya yaitu SPOTIFY, Spotify merupakan platform musik online yang terdapat banyak daftar lagu maupun musisi didunia. Namun pada spotify terdapat jenis lagu eksplisit yaitu lagu yang didalam liriknya terdapat kata kata umpatan, kasar atau diskriminatif. Big data digunakan untuk analisis data dalam aplikasi Snowflake. Untunya, k mengetahui dibuat daftar terbaru music dan Musisi yang menggunakan kalimat eksplisit dengan mengintegrasikan data yang bersumber dari Kaggle berupa CSV. Setelah dilakukan integrasi maka didapatkan hasil lagu ataupun Musisi yang menggunakan kata eksplisit bertujuan agar mengetahui isi konten dari lagu tersebut.*

***Kata kunci:** eksplisit,spotify,bigdata*

***Abstract -** Internet is of life today. There are many applications that use the internet to access life, which one is SPOTIFY, Spotify is an online music platform that has many song lists and musicians in the world. However, on Spotify they have explicit songs, namely songs whose lyrics contain curse words, rude or discrimination. Big data is used for data analysis in the Snowflake application. Fortunately, we know that a new list of music and musicians has been created that uses explicit sentences by integrating data sourced from Kaggle in the form of CSV. After integration, we get the results of songs or musicians who use explicit words with the aim of knowing the content of the song.*

***Keywords:** Explicit,spotify,bigdata*

1. Pendahuluan

Saat ini internet merupakan bagian yang tidak terpisahkan dalam kehidupan sehari-hari. Banyaknya aplikasi yang menggunakan internet untuk mengakses berbagai kebutuhan seperti sosial media[1], Selain kebutuhan internet, terdapat Big Data yang merupakan salah satu cara dalam menganalisis strategi untuk menemukan jawaban yang memiliki kemungkinan serta dapat mendukung dalam melakukan pengambilan sebuah keputusan[2].

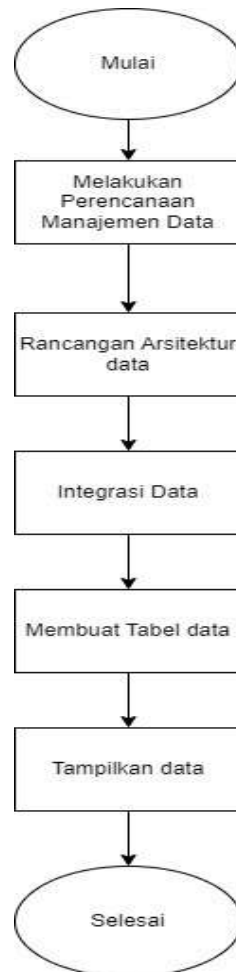
Sosial media memiliki perkembangan yang pesat saat ini yang menghasilkan budaya baru. Dan dapat diakses oleh seluruh lapisan Masyarakat untuk mencari berbagai informasi dan memiliki dampak terhadap Masyarakat[3]. Dengan adanya perkembangan internet, saat ini terdapat sosial media yang bergerak sebagai *online streaming* musik yaitu spotify. Spotify sendiri merupakan *platform* yang berasal dari Swedia yang digunakan dalam karya musik[4]. Banyaknya musisi yang berkarya melalui media spotify ini, terdapat karya karya memiliki catatan khusus yaitu lagu yang memiliki eksplisitas dengan lirik yang mengandung umpatan dan kritik yang keras. Saat ini spotify bisa diakses secara gratis ataupun berbayar dengan berbagai paket yang tersedia[5].

Untuk menganalisa data tersebut, penulis menggunakan perangkat lunak Snowflake dalam menganalisis dataset music pada spotify yang terdapat dari tahun 1950 – 2010. Sehingga dari data ini, penulis mendapatkan jenis jenis musik dari Musisi yang menggunakan kata-kata umpatan, kata kata kasar dan diskriminatif.

2. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, penulis merancang menggunakan metode kualitatif perangkat lunak Snowflake dan dataset yang diambil dari website keagle untuk list spotify. Dalam penelitian ini, penulis merancang tabel di Snowflake kemudian mengambil data – data yang diperlukan untuk di analisis sesuai dengan flowchart pada gambar 1.

2.1. Alur Perancangan



Gambar 1 Alur Perancangan

Berdasarkan alur penelitian, maka prosesnya adalah sebagai berikut :

1. Sebelum dilakukan analisa, maka diperlukan terlenih dahulu perencanaan manajemen data, untuk data yang diperlukan adalah ID,name,account_name,artists,popularity dan explicit
2. Pada rancangan arsitektur data, format yang dibutuhkan adalah dalam bentuk csv

3. Setelah merancang arsitektur data, tabel yang sudah dibuat diintegrasikan dengan file spotify yang sudah diunduh dari website keagle.
4. Setelah diintegrasikan, maka selanjutnya dibuat tabel untuk menampilkan data hasil integrasi
5. Setelah itu data ditampilkan dengan hasil urutan Musisi pada spotify yang memiliki jumlah eksplisit terbanyak

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Perancangan Tabel

Tabel data yang akan dianalisa dibuat dengan menampilkan ID, Account_name, Judul, Artist, Popularity, dan Explicit dengan tipe data variable character dan jumlah karakter sebanyak 16777216. Jumlah karakter dimaksimalkan sesuai kapasitas maksimum ukuran karakter. Pada gambar 2 tabel sukses dibuat pada perangkat lunak snowflake.

Tabel 1. Perancangan tabel.

Nama	Tipe data	Jumlah Karakter
ID	Varchar	16777216
Account_name	Varchar	16777216
Judul	Varchar	16777216
Artists	Varchar	16777216
Popularity	Varchar	16777216
Explicit	Varchar	16777216

```

1050 Row(s) produced. Time Elapsed: 0.711s
yogaputr4#WH_SPOTIFY@DB_SPOTIFY.PUBLIC>create or replace table spotify_data (
    id VARCHAR,
    name VARCHAR,
    account_name STRING,
    artists STRING,
    popularity STRING,
    explicit STRING );
+-----+
| status |
+-----+
| Table SPOTIFY_DATA successfully created. |
+-----+
    
```

Gambar 2. Tabel rancangan Basis Data.

3.2. Hasil Integrasi Data Dengan SnowFlake

Hasil integrasi antara Snowflake yaitu snowSQL dengan data yang diunduh dari keagle tercantun pada gambar 3. Dari hasil tersebut data sudah berhasil terintegrasi file dalam bentuk csv dan snowSQL

```

1 Row(s) produced. Time Elapsed: 0.195s
yogaputr4#WH_SPOTIFY@DB_SPOTIFY.PUBLIC>copy into spotify_data
from @DB_SPOTIFY@PUBLIC.spotify_list
file_format = (
    type = csv
    skip_header = 1
    error_on_column_count_mismatch = false
    field_optionally_enclosed_by = '' );
+-----+
| file | status | rows_parsed | rows_loaded | error_limit | errors_seen | first_error | first_error_line | first_error_character | first_error_column_name |
+-----+
| spotify_list/spotify.csv.gz | LOADED | 1050 | 1050 | 1 | 0 | NULL | NULL | NULL | NULL |
+-----+
1 Row(s) produced. Time Elapsed: 1.673s
yogaputr4#WH_SPOTIFY@DB_SPOTIFY.PUBLIC>select * from SPOTIFY_DATA;
    
```

Gambar 3. Unggah file CSV

3.3. Hasil Analisis Data

Setelah dilakukan integrasi maka didapatkan hasil yaitu daftar lagu yang memiliki kata kata eksplisit yaitu lagu dengan judul *All Shock Up* dari Elvis Preley merupakan lagu yang memiliki kata kata yang mengandung umpatan atau kata kata kasar atau diskriminatif.

```

1 mysql> describe; Time elapsed: 3.090 sec
yogaputr4#WH_SPOTIFY@DB_SPOTIFY.PUBLIC>select * from SPOTIFY_DATA;
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| ID | ACCOUNT_NAME | POPULARITY | EXPLICIT | JUDUL | ARTISTS |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 1 | 3a2c311c8219b3c1a0 | 117898 | 45 | All Shock Up | Elvis Presley |
| 2 | 221704 | 90 | 45 | I've Got You Under My Skin - Remastered 1998 | Frank Sinatra |
| 3 | 2c4c19a9e74f00f0e86 | 188933 | 40 | Snake Gets In Your Eyes | The Platters |
| 4 | 592842f3c8c8708a10b | 347853 | 45 | What'd I Say, Pt. 1 & 2 | Ray Charles |
| 5 | 9ba3c0e8d97793a07e | 178048 | 40 | Dream A Little Dream of Me | Louis Armstrong |
| 6 | 908a9e83d9250f1a2f | 135133 | 41 | That'll Be the Day | Buddy Holly |
| 7 | 8ba8e208d970e1a0e | 122893 | 47 | Don't Be Cruel | Elvis Presley |
| 8 | 4f011a1f0a919107f0 | 122893 | 47 | Banana Boat (Day-O) | Harry Belafonte |
    
```

Gambar 4. Hasil Analisis Data Lagu Dengan Konten Eksplisit

Selain itu, didapatkan juga bahwa artist yang banyak mengandung konten eksplisit adalah album dari Fleetwood Mac yang memiliki total 648. Hasilnya terdapat pada gambar 5.

```

yogaputr4#WH_SPOTIFY@DB_SPOTIFY.PUBLIC>select ARTISTS, sum(explicit) as total
from "DB_SPOTIFY"."PUBLIC"."SPOTIFY_DATA"
group by ARTISTS
order by total desc;
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| ARTISTS | TOTAL |
+-----+-----+-----+-----+-----+
| Fleetwood Mac | 648 |
| Stevie Wonder | 601 |
| Elton John | 591 |
| Coldplay | 573 |
| Simon & Garfunkel | 532 |
| Adele | 502 |
| Whitney Houston | 490 |
| U2 | 474 |
| Taylor Swift | 451 |
| Prince | 451 |
| Billy Joel | 443 |
| Bruce Springsteen | 431 |
| The Beach Boys | 384 |
| Ed Sheeran | 371 |
| Amy Winehouse | 364 |
| Sam Cooke | 363 |
| The Beatles | 354 |
| Elvis Presley | 353 |
| Daryl Hall & John Oates | 336 |
| The Cure | 322 |
| Frank Sinatra | 311 |
| Ray Charles | 304 |
| Lana Del Rey | 303 |
| Sam Smith | 303 |
| The Platters | 301 |
| Justin Timberlake | 298 |
| Alicia Keys | 296 |
| ABBA | 295 |
| The Drifters | 291 |
| Phil Collins | 287 |
| Billie Holiday | 287 |
| The Everly Brothers | 285 |
    
```

Gambar 5. Hasil Analisis Data Album Dengan Konten Eksplisit.

4. Kesimpulan

Dari Hasil analisa data yang sudah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa dalam perkembangan internet kedepannya, perlu untuk mengetahui konten-konten pada sebuah aplikasi yang memiliki konten dengan catatan khusus seperti aplikasi *spotify* yang memiliki konten yang

mengandung unsur umpatan, kata kata kasar dan diskriminatif dan agar orang tua dapat mengawasi penggunaan internet kepada anak anak agar tidak mengakses konten tersebut.

Referensi

- [1] Nur Amalia, K., Halim, U. (2022). "Penggunaan Internet sebagai Media Pembelajaran." In Jurnal Publish (Vol. 37, Issue 1).
- [2] Ferdiansyah, V., Irwan, M., Nasution, P. (2023). "Penerapan Teknologi Big Data Dalam Pengembangan Database Pendidikan. Jurnal Riset Manajemen", (3), 22–29. <https://doi.org/10.54066/jurma.v1i3.591>
- [3] Vinka, A. M., Michele, N., Industri, F. T., Rupa, S., Desain, D. (2021). "PENGARUH TEKNOLOGI INTERNET TERHADAP PENGETAHUAN MASYARAKAT JAKARTA SEPUTAR INFORMASI VAKSINASI COVID-19"(Vol. 8, Issue 1).
- [4] Andry, J. F., Tjee, C. (2019). "ANALISIS MINAT MAHASISWA MENDENGARKAN APLIKASI MUSIK BERBAYAR DAN UNDUHAN MUSIK GRATIS". JBASE - Journal of Business and Audit Information Systems, 2 (2). <https://doi.org/10.30813/jbase.v2i2.1727>
- [5] Febriani, A., Tiorida, E. (2019). "Pengaruh Perceived Value Spotify Premium Terhadap Kepuasan Pelanggan (Studi Pada Mahasiswa di Wilayah Bandung Raya)", IRWNS (Politeknik Negeri Bandung)
- [6] www.kaggle.com (<https://www.kaggle.com/datasets/tamle507/spotify-all-out-playlists-songs-1950s-2010s?resource=download>)

ID: 28

Sistem Pengukuran Larutan Nutrisi Hidroponik Menggunakan Raspberry Pi 3B+

Measurement System For Hydroponic Nutrient Solution Using Raspberry Pi B+

Iman izzaqi Al-Gumay^{1*}, Anisa Herviyana², Putra Wisnu Agung Sucipto³, M. Ilyas Sikki⁴

¹Program Studi Teknik Elektro, Universitas Islam 45

Bekasi, Jl.Cut Meutia No.83

Bekasi Timur, Kota Bekasi, 17113

imamalgumay@gmail.com^{1*}, anisaherviana12@gmail.com²

wisnu@unismabekasi.ac.id³, ilyas_sikki@unismabekasi.ac.id⁴

Abstrak - Tanaman melon adalah tanaman semusim yang banyak tumbuh di Indonesia dan banyak di budidayakan di Indonesia tanaman melon dapat di budidayakan dengan metode konvensional menggunakan tanah sebagai media tanamnya atau dengan metode yang sudah modern dengan menggunakan metode hidroponik karena metode ini tidak membutuhkan media tanam berupa tanah. Yang perlu di perhatikan dalam budidaya menggunakan metode hidroponik adalah asupan nutrisi yang harus terus di jaga supaya tanaman tetap sehat dan hasil panennya bagus. Akan tetapi untuk mengetahui kualitas dari nutrisi di butuhkan pengukuran secara langsung dan hal tersebut akan memakan banyak waktu belum lagi jika sedang berada pada jarak yang jauh dari tempat budidaya. Untuk mengatasi masalah tersebut sebuah sistem yang mampu melakukan pengukuran secara otomatis dan dapat di lakukan da jarak jauh dibutuhkan untuk menyelesaikan masalah ini, yaitu dengan menggunakan sensor tds, flow meter, dan suhu. Selain sensor juga di butuh sebuah pencatat data yang berfungsi untuk menampung semua hasil pembacaan sensor. Raspberry Pi 3 B+ adalah sebuah mini komputer yang memiliki kemampuan luar biasa dimana pada penelitian ini digunakan sebagai server. Raspberry Pi 3 B+ sudah mendukung penggunaan protokol http. Dengan menggunakan Protokol http NgRok untuk mengirimkan data hasil pengukuran. Hasil di dapat pada penelitian ini adalah keluran berupa nilai ppm, volume, dan suhu yang nantinya nilai tersebut akan di tampilkan pada dashboard.

Kata kunci: Hidroponik, Raspberry, Telemetry, Sensor TDS

Abstract - Melon plants are seasonal plants that are widely cultivated in Indonesia. It can be cultivated using conventional methods by using soil as a planting medium or using modern methods by using hydroponic methods because this method does not require planting media in the form of soil. What needs to be considered in cultivating using hydroponic methods is the nutrient intake that must be continuously maintained so that the plants remain healthy and the harvest is good. However, to know the quality of nutrients, direct measurement is required and this will take a lot of time, not to mention if it is at a distance from the cultivation site. Thus, a system that is able to measure automatically and can be done from a distance is needed to solve this problem by using TDS, flow meter, and temperature sensors. In addition to sensors, a data recorder is also needed that functions to collect all sensor readings. Raspberry Pi 3 B+ is a mini computer that has extraordinary capabilities, which in this study is used as a server. Raspberry Pi 3 B+ already supports the use of http protocols. By using the http NgRok protocol to send measurement data. The results obtained in this study are output in the form of ppm, volume, and temperature values which will later be displayed on the dashboard.

Keywords: Hydroponics, Raspberry, Telemetry, TDS Sensor

1. Pendahuluan

Tanaman melon merupakan tanaman semusim yang banyak dibudidayakan di Indonesia dan salah satu produk hortikultura yang disukai oleh masyarakat Indonesia [1]. Seiring perkembangan zaman tanaman melon dapat dibudidayakan tidak hanya menggunakan cara konvensional saja (Lahan), Sekarang melon sudah dapat dibudidayakan dengan sistem hidroponik. Hidroponik adalah teknik budidaya yang dilakukan tanpa perlu menggunakan media tanam untuk perkembangan tanaman melon [2].

Dalam proses tumbuh kembang Melon Hidroponik hal yang harus diperhatikan adalah kebutuhan nutrisinya, karena dalam metode hidroponik kebutuhan nutrisi itu sangat penting dalam proses pertumbuhan melon untuk mengukur kebutuhan nutrisi membutuhkan sebuah sistem pengukuran dengan menggunakan sensor. Sensor adalah perangkat yang digunakan untuk mendeteksi perubahan besaran fisik seperti kelembaban dan suhu [5][6]. Sensor digunakan untuk mempermudah dalam melakukan proses pengukuran larutan nutrisi melon hidroponik. Sensor Kepekatan Nutrisi dan Suhu air digunakan untuk mengukur kepekatan nutrisi dan Suhu air pada larutan. Sensor kepekatan Nutrisi digunakan untuk mengukur konsentrasi nutrisi yang ada dalam larutan apakah baik atau tidak untuk tanaman Melon, sedangkan sensor suhu digunakan untuk memantau suhu pada larutan nutrisi Melon [7][8]. Begitu juga dengan *flow meter* sensor yang dalam penelitian ini digunakan untuk mengukur jumlah air yang dibutuhkan untuk kebutuhan nutrisi melon hidroponik [9], diharapkan para petani melon hidroponik dapat mendapatkan informasi yang akurat tentang kondisi larutan nutrisi tanpa harus melakukan pengujian manual yang memakan waktu dan tenaga para petani [10].

Budidaya melon dengan menggunakan sistem hidroponik dapat dilakukan tanpa harus menggunakan lahan yang luas [3]. Budidaya melon dapat dilakukan dengan media tanam selain tanah seperti *cocopeat* atau olahan serabut kelapa dan beberapa jenis media tanam selain tanah yang dapat digunakan untuk membudidayakan buah melon. Budidaya dengan sistem hidroponik memiliki beberapa keuntungan seperti menghemat penggunaan air, mudah menghindari tanaman dari penyakit dan hama, serta hasil panen yang bagus [4].

Dalam proses tumbuh kembang melon hidroponik membutuhkan alat pemindai yang dapat memindai kebutuhan air, nutrisi, dan suhu pada larutan. Alat pemindai ini menggunakan sensor TDS, Flow Meter, dan DS18B20 [5][6] [7][8]. Ketiga sensor ini yang nantinya akan membantu proses tumbuh kembang melon hidroponik, karena dapat membantu para petani melon hidroponik untuk memantau tanaman dari jarak jauh [9] [10] [13].

Untuk dapat memantau larutan nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman melon bukan hanya membutuhkan sensor tapi juga sebuah sistem telemetri [11][12]. Telemetri adalah sebuah sistem yang dapat mengukur satuan yang dapat dilakukan dari jarak jauh. Pada penelitian ini penulis menggunakan Raspberry Pi 3 Model B+ sebagai Boardnya dan mengkombinasikan protokol http agar dapat diakses melalui jaringan internet [14][15].

2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini objek yang diteliti atau alat yang nantinya digunakan untuk mengumpulkan data hasil penelitian ditunjukkan pada gambar 1. Objek yang diamati pada penelitian ini adalah berupa alat yang terdiri dari Raspberry pi 3 B+ sebagai *board* utama dan juga sebagai tempat penampungan data yang telah dibaca dan dikirimkan oleh Arduino uno. Dalam alat tersebut terdapat beberapa sensor yaitu TDS sensor dan sensor suhu ds18b20 yang diletakkan pada wadah penampung pengadukan campuran air dan juga biang nutrisi yang berkapasitas 80 liter. Sensor tersebut berada di dasar wadah penampung. Kemudian terdapat juga sensor yang terletak pada jalur pengisian air yang bersal dari sumber air utama yaitu tangki air yang tersedia. Aliran air yang mengalir akan melewati sebuah sensor untuk mengukur aliran air dan volume air yang digunakan dan Sensor itu berupa Flow meter. Dari semua sensor yang digunakan tersebut

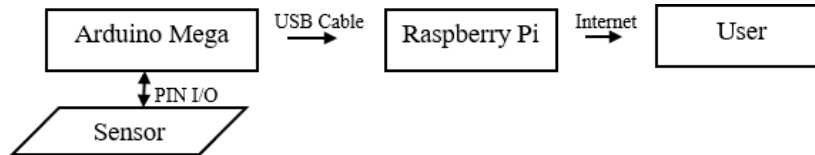
akan di kelola oleh *board* Raspberry pi 3 B+ dan hasil semua pembacaan sensor akan di simpan pada *database server* yang kemudian akan di tampilkan pada *dashboard*.



Gambar 1. Alat penelitian

2.1. Perancangan Sistem

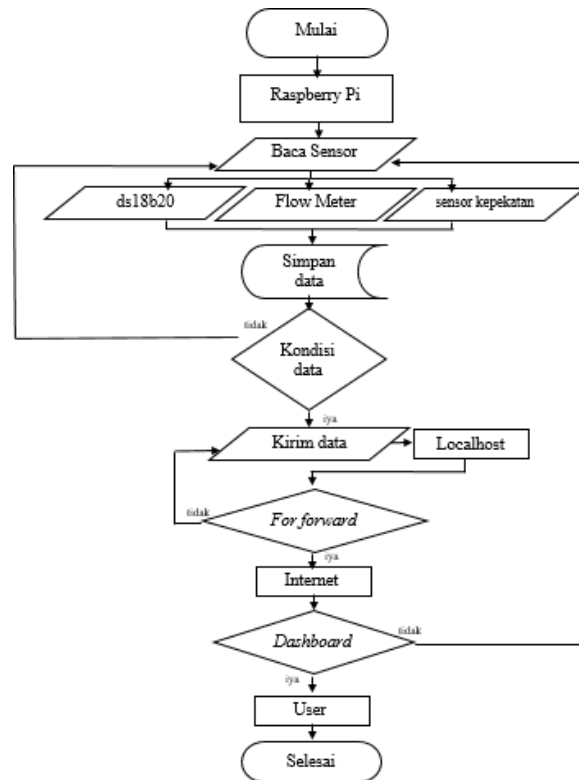
Perancangan sistem dibuat dalam bentuk blok diagram. Blok diagram digunakan untuk memudahkan proses pembuatan kode program dan menganalisis kesalahan dalam sistem, sistem ini di haruskan dapat menampilkan hasil pembacaan sensor ke pada User



Gambar 2. Diagram Blok Sistem Pengukuran Larutan Nutrisi

Sensor yang digunakan pada sistem ini terdapat tiga jenis sensor yaitu sensor TDS untuk membaca kepekatan air nutrisi, sensor DS18B20 yang digunakan untuk membaca suhu yang terdapat pad air nutrisi, dan terdapat flow meter sensor yang di gunakan untuk membaca aliran air atau volume air yang digunakan untuk proses pencampuran nutrisi melon. Semua nilai sensor akan di proses oleh mikrokontroler Arduino Mega dan akan di kirimkan ke Raspberry dengna menggunakan komunikasi menggunakan kabel USB. Data yang telah dikirim oleh Arduino Mega akan di tampung oleh Raspberry yang sekaligus berfungsi sebagai mini server. Data tersebut nantinya akan di tampilkan pada *dashboard* yang dapat dilihat oleh *User*.

2.2. Perancangan Komunikasi Data



Gambar 3. Diagram Alir Komunikasi Data Sistem Pengukuran Larutan Nutrisi Melon Hidroponik

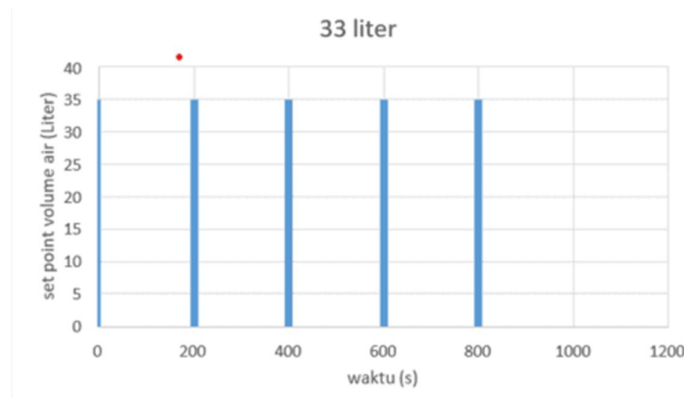
Raspberry pi yang berfungsi sebagai mini server atau wadah penampungan data memiliki sebuah OS untuk mengoprasikan nya, pada penelitian ini raspberry pi menggunakan OS Linux sebagai platfromnya. Seperti yang apa sudah di tampilkan pada gambar 3., bahwa proses komunikasi data di lakukan mulai dari pembacaan sensor yang digunakan pembacaan sensor di program dengan menggunakan bahasa pemrograman Python. Setelah semua sensor berhasil di baca, maka data tersebut akan di tampung dalam sebuah wadah dengan menggunakan MySQL milik MariaDB. Data yang tersimpan di MySQL akan memiliki dua kondisi yaitu *true or false* jika data yang di simpan tidak sesuai dengan apa yang dibaca sensor pembacaan sensor harus di lakukan lagi sampai mendapat yang terbaik. Data yang tersimpan di wadah data akan dikirimkan ke localhost terlebih dahulu untuk melihat apakah seusai atau tidak data tersebut. Setelah data tersbut berkondisi *true* maka akan di kirimkan ke internet atau User dengan menggunakan *For Forward*. Jika data yang di kirim sesuai maka akan di tampilkan pada *dashboard*.

3. Hasil dan Pembahasan

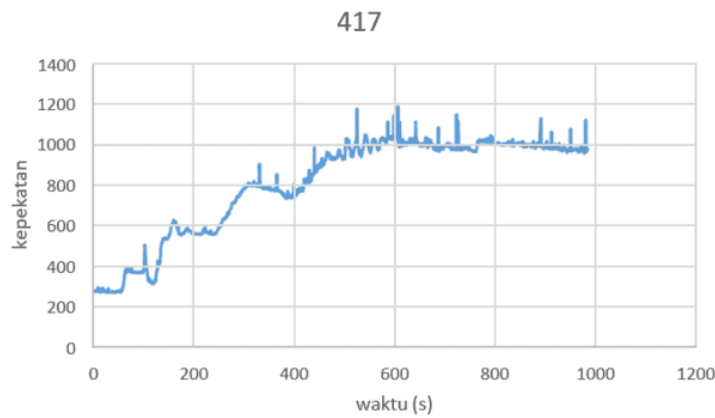
3.1. Pengujian Sensor

Pengujian sensor dilakukan untuk memastikan kualitas pembacaan sebelum data disimpan ke dalam database. Pengujian dilakukan dengan menggunakan gelas takar sebagai set point, dan waktu yang dibutuhkan untuk sensor mencapai set point diukur. Pada Gambar 4., menampilkan hasil pembacaan sensor flow meter. Selain itu, pengujian sensor TDS dilakukan untuk memverifikasi kecocokan pembacaan dengan set-point yang telah ditetapkan, dengan menggunakan TDS ec sebagai alat pengukur kepekatan, dan hasilnya dapat dilihat di Gambar 5., Dan pengujian sensor suhu DS18B20 dilakukan untuk memantau suhu larutan, dengan hasil

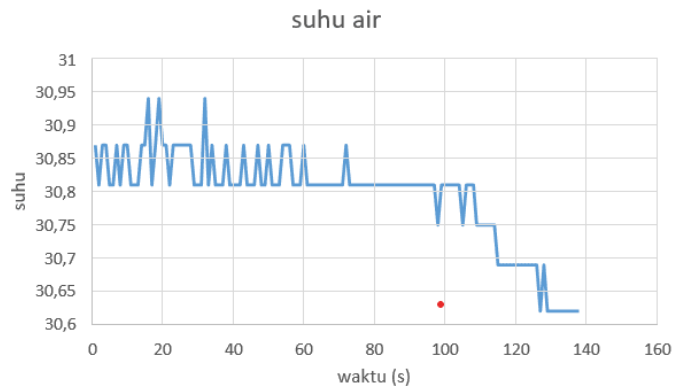
pembacaan suhu larutan ditampilkan di serial monitor dan tampilan pengujian sensor suhu DS18B20 dapat di lihat pada Gambar 6.



Gambar 4. Hasil Pembacaan Sensor Flow Meter



Gambar 5. Hasil Pengujian Sensor TDS



Gambar 6. Hasil Pengujian Suhu Dengan Sensor DS18B20

Dari gambar 4., hasil pengujian menunjukkan bahwa pembacaan sensor flow meter berjalan dengan baik dan membutuhkan waktu 985 detik untuk mencapai set point yang dituju dengan jumlah volume yang terbaca sebesar 34,5 liter air. Pada gambar 5., hasil pengujian menunjukkan

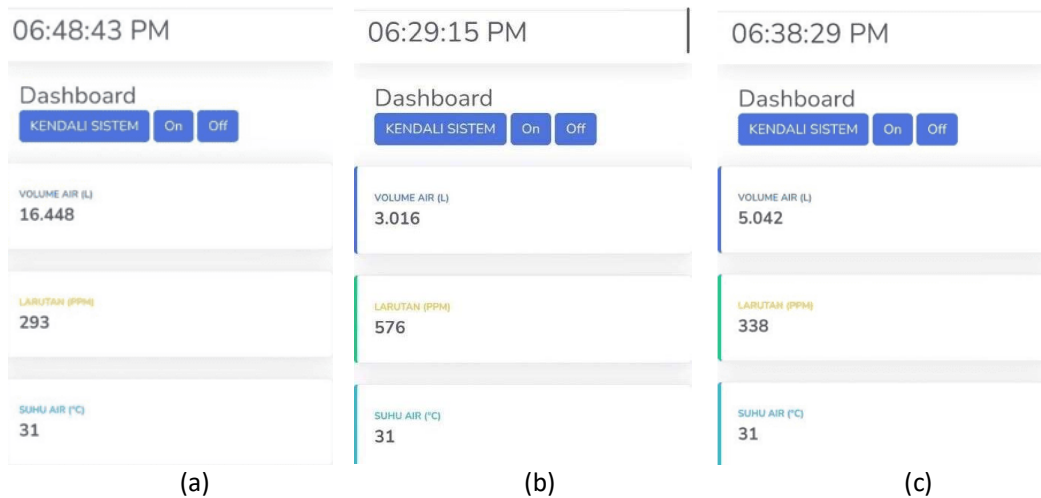
bahwa pembacaan sensor TDS dalam waktu kurang dari 1000 detik menunjukkan tingkat kepekatan yang terbaca lebih dari set point yang telah ditentukan, dengan nilai kepekatan sebesar 982 PPM. Hasil pengujian pada gambar 6., menunjukkan bahwa suhu yang terdapat pada larutan nutrisi berkisar antara 30,6°C sampai 30,97°C dengan suhu yang dibaca oleh sensor dalam waktu 139 detik sebesar 30,6°C.

3.2. Pengujian Sistem Pengukuran Larutan Nutrisi

Pengujian ini dilakukan untuk melihat selisih antara nilai yang dibaca oleh sensor dengan yang di tampilkan pada *dashboard web server* untuk melihat apakah hasil pembacaan dapat di lihat secara *real-time* atau tidak.

Tabel 1 hasil pembacaan sensor pada serial monitor dan dashboard

Waktu(s)	Suhu (c)		Kepekatan (PPM)		Volume (Liter)	
	Serial Monitor	Dashboard	Serial Monitor	Dashboard	Serial Monitor	Dashboard
1	30,87	31	566	566	16.312	16.312
2	30,81	31	603	603	16.344	16.344
3	30,87	31	558	558	16.382	16.382
4	30,87	31	556	556	16.404	16.404
5	30,81	31	566	566	16.44	16.44
6	30,81	31	580	580	16.448	16.448
7	30,87	31	576	576	16.448	16.448



Gambar 7. Tampilan hasil pengujian pada Dashboard, (a) Volume Air, (b) larutan ppm dan (c) suhu air.

Berdasarkan data yang tercantum dalam tabel 1., proses pengukuran berlangsung selama 7 detik dengan set-point sebesar 16 liter. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai yang muncul di dashboard selama periode tersebut sesuai secara akurat dengan yang ditampilkan pada serial monitor, dan bukti pada data ke-7 dapat ditemukan dalam Gambar (a). Pada tabel 1., pengukuran larutan (ppm) berlangsung selama 7 detik. Hasilnya sesuai dengan yang ada di dashboard pada tabel 1 dan serial monitor pada data ke-7 di Gambar (b), demikian juga, di tabel 1, pengukuran

suhu selama 7 detik. Nilai di dashboard sesuai dengan serial monitor, terlihat pada data ke-7 di Gambar (c).

3.3. Pembahasan

Pada pengujian sensor TDS, terjadi kesalahan karena nilai yang terbaca tidak sesuai dengan setpoint yang diinginkan, karena sensor berada di bawah sehingga campuran nutrisi mengendap dan mencapai 982 PPM, dapat dilihat pada gambar 5. set point yang di inginkan adalah 417 PPM. Solusinya adalah dengan mengaduk campuran nutrisi agar nilainya sesuai dengan *set point*. Hasil pengujian yang di tunjukan gambar 4. sensor flow meter juga tidak sesuai dengan setpoint yang seharusnya 15 liter, tetapi terbaca 16 liter. Hal ini memerlukan kalibrasi ulang pada sensor flow meter. Hasil pengujian suhu pada Gambar 6. menunjukkan suhu yang stabil, menandakan bahwa larutan nutrisinya dalam kondisi normal, dengan suhu sekitar 30 hingga 30,7 derajat Celsius.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah di laksanakan, dapat di simpulkan bahwa sistem Telemetri larutan nutrisi melon hidroponik menggunakan Raspberry Pi 3 Model B+ dapat bekerja dengan baik. Raspberry Pi 3 B+ digunakan sebagai sever untuk mengelola dan mennyimpan data hasil pengukuran sensor tds, flow meter, dan ds18b20. Hasil pengukuran tersebut tersimpan di dalam *database* dan kemudain di proses dan ditampilkan pada *dashboard* dengan menampilkan nilai PPM, Volume, dan Suhu. Proses pengiriman data yang tersimpan pada *database* dilakukan dengan menggunakan protokol HTTP melalui layanan NgRok. NgRok berfungsi sebagai perantara untuk mengamankan komunikasi dan data dapat di kirim dengan aman, cepat dan *real-time*. Dari hasil pengukuran sensor yang dilakukan menunjukan bahwa perbandingan antara nilai pengukuran yang di tampilkan pada serial monitor dengan nilai yang di tampilkan pada *dashboard* it memiliki nilai yang sama hal ini menandakan bahwa sistem yang di buat dapat bekerja dengan semestinya.

Referensi

- [1] S. Nora, M. Yahya, M. Mariana, and E. Ramadhani, "Teknik Budidaya Melon Hidroponik Dengan Sistem Irigasi Tetes (Drip Irrigation) Hydroponic Melon Cultivation Technique With Drip Irrigation," vol. 23, no.1, pp. 21–26, 2020.
- [2] A. S. Mardika and T. Rahajoeningroem, "Sistem Kendali Dan Monitoring Parameter Limbah Cair Tahu Sebagai Larutan Nutrisi Tanaman Hidroponik Berbasis Internet Of Things," *Telekontran J. Ilm. Telekomun. Kendali dan Elektron. Terap.*, vol. 9, no. 1, pp. 48–59, 2021, doi: 10.34010/telekontran.v9i1.5622.
- [3] M. Saipudin, S. Samsiana, and S. Marini, "Perancangan Pengendali Ph Air Dan Sistemtelemetri Padatanaman Hidroponik," no. L.
- [4] E. Supriyanto, "Konsentrasi Larutan Nutrisi Tanaman Melon Politeknik Negeri Semarang jl . Prof . Sudarto , Tembalang , kec . Tembalang , Kota Semarang , Jawa Tengah 50275 ," vol. 5, pp. 171–177, 2023.
- [5] M. Muhtar and Z. Huda, "Desain Kontrol Sistem Telemetri pH Larutan Nutrisi Hidroponik Berbasis Fuzzy Logic," *IJEIS (Indonesian J. Electron. Instrum. Syst.*, vol. 9, no. 2, p. 151, 2019, doi: 10.22146/ijeis.49198.
- [6] M. Hidayatullah, J. Fat, and T. Andriani, "Prototype Sistem TelemetriPemantauan Kualitas Air Pada Kolam Ikan Air Tawar Berbasis Mikrokontroler," *Positron*, vol. 8, no. 2, p. 43, 2018, doi: 10.26418/positron.v8i2.27367.
- [7] M. T. Tamam and D. N. Aji, "Perancangan dan Pembuatan Sistem Pengaturan pH dan Suhu Air pada Kolam Ikan," vol. 5, no. 1, pp. 81–84.
- [8] S. Kontrol *et al.*, "Digital Digital Repository Repository Universitas Universitas Jember Jember Digital Digital Repository Repository Universitas Universitas Jember Jember," 2020.
- [9] A. R. Ardiliansyah, M. D. Puspitasari, and T. Arifianto, "Rancang Bangun Prototipe Pompa

- Otomatis Dengan Fitur Monitoring Berbasis IoT Menggunakan Sensor Flow Meter dan Ultrasonik,” vol. 5, no. 36, pp. 59–67, 2021.
- [10] F. SURYATINI, S. PANCONO, S. B. BHASKORO, and P. M. S. MULJONO, “Sistem Kendali Nutrisi Hidroponik berbasis Fuzzy Logic berdasarkan Objek Tanam,” *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 9, no. 2, p. 263, 2021, doi: 10.26760/elkomika.v9i2.263.
- [11] S. Mulyono, M. Qomaruddin, and M. S. Anwar, “Penggunaan Node-RED pada Sistem Monitoring dan Kontrol Green House berbasis Protokol MQTT,” vol. 3, no. 1, pp. 31–44, 2018.
- [12] A. Harvyandha, M. Kusumawardani, and R. Abdul, “Telemetry Pengukuran Derajat Keasaman Secara Realtime Menggunakan Raspberry pi,” *J. Jartel*, vol. 9, no. 4, pp. 519–524, 2019.
- [13] L. Setiyani, “Perancangan Dan Implementasi Iot (Internet Of Things) Pada Smarthome Menggunakan Raspberry Pi Berbasis Android,” vol. 10, no. 2, pp. 459–466, 2019.
- [14] D. Salsabila, A. T. Hanuranto, and A. I. Irawan, “Sistem Monitoring Denyut Jantung Berbasis Iot Menggunakan Protokol Xmp,” vol. 2, no. 2, pp. 171–178, 2022.
- [15] M. Ikhwanusshofa, A. Nuramal, and N. I. Supardi, “Pemanfaatan Internet Of Things Untuk Monitoring Suhu Di Bppt – Meppo,” pp. 19–24.
- [16] M. Priyono, T. Sulistyanto, K. Suharsono, and D. A. Nugraha, “monitoring dan kendali peralatan elektronik menggunakan logika fuzzy melalui website dengan protokol http,” vol. 2, no. 2, pp. 49–54, 2016

Sistem Pemantauan dan Pengendalian Kualitas Air Pada *Cooling Tower* Berbasis *IoT*

IoT-Based Water Quality Monitoring and Control System in Cooling Tower

M. Syamsyuri¹, M. Aulia Wicaksono², Aeri Sujatmiko³, M. Amin Bakri⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Islam 45 Bekasi,

Jl. Cut Metutia No.83 Bekasi Timur, Kota Bekasi, 17113

mssyamsyuri@gmail.com¹, 41187003200027.mhs@unismabekasi.ac.id²,

aeri.sujatmiko@gmail.com³, amin.bakri@unismabekasi.ac.id⁴

Abstrak – Di dalam instalasi pendingin terdapat unit pendingin (*heat exchanger*) dan menara pendingin (*cooling tower*). Pendinginan keseluruhan adalah air hangat yang berasal dari penukar panas dialirkan ke menara pendingin untuk meluncurkan panas ke udara. Sedangkan pelepasan kalor dilakukan, tentu saja diikuti dengan cara penguapan air yang tidak henti-hentinya sehingga volume air untuk pendinginan menjadi lebih sedikit dan keruh, sehingga kualitas air didalam *cooling tower* perlu dijaga karena jika konsentrasinya sudah melewati batas kejenuhan akan menimbulkan masalah pada unit alat pendingin lainnya. Pengukuran kualitas air dilakukan dengan menggunakan sensor TDS dan sistem kontroler pengendalian menggunakan *arduino uno*, sedangkan untuk sistem pemantauan menggunakan kontroler *wemos D1R1* dimana data hasil pengukuran dikirimkan ke *web thingspeak* sebagai penyimpanan data yang dapat diakses secara online. Berdasarkan hasil pengujian, sensor tds memiliki tingkat akurasi 96.80% dan hasil pengujian sistem akurasi kontroler memiliki tingkat keberhasilan 100%. Untuk performansi *IoT*, *Wemos* mengirimkan data setiap 15 detik sekali dan terdapat delay pengiriman ke *thingspeak* selama 5 detik sehingga data sensor bisa dikatakan *realtime*.

Kata Kunci: *Regenerasi Air, Kualitas Air, Sensor TDS, IoT, Thingspeak*

Abstract - In a cooling installation, there are cooling units (*heat exchangers*) and cooling towers. The overall cooling is warm water coming from the heat exchanger flowed into the cooling tower to launch heat into the air. While the release of heat is carried out, the water is also evaporation which is incessant so that the volume of water for cooling becomes lesser and murky, so that the quality of water in the cooling tower needs to be maintained because when the concentration has passed the saturation limit it will cause problems in other cooling equipment units. Measurement of water quality is perform using tds sensor and control system using *arduino uno* while for monitoring system using *wemos D1R1* controller where measurement data is sent to *web thingspeak* as data storage that can be accessed online. Based on experiment result, the tds sensor experiment has an accuracy rate of 96.80% and controller has 100% accuracy. As for the *IoT* performance, *Wemos* sent data every 15 seconds and there is a 5 second delay to *thingspeak* so that sensor data can be said to be *realtime*.

Keywords: *Water Regeneration, Water Quality, Tds Sensor, IoT, Thingspeak.*

1. Pendahuluan

Sebuah instalasi pendingin biasanya terdapat unit pendingin (*heat exchanger*) dan menara pendingin (*cooling tower*). *Cooling tower* adalah perangkat yang menggunakan kombinasi panas dan massa transfer untuk mendinginkan air [1]. Metode pendinginan keseluruhan adalah air hangat yang berasal dari penukar panas dialirkan ke menara pendingin untuk meluncurkan panas ke udara. Sedangkan pelepasan kalor dilakukan, tentu saja diikuti dengan cara penguapan air yang



tidak henti-hentinya sehingga volume air untuk pendinginan menjadi lebih sedikit. Demikian pula, mineral terlarut dalam air pendingin secara bertahap akan bertambah atau meningkatkan keadaan karena penguapan [2], [3]. Sehingga kualitas air didalam *cooling tower* perlu dijaga dimana jika konsentrasinya sudah melewati batas kejenuhan akan menimbulkan masalah pada unit alat pendingin lainnya [4].

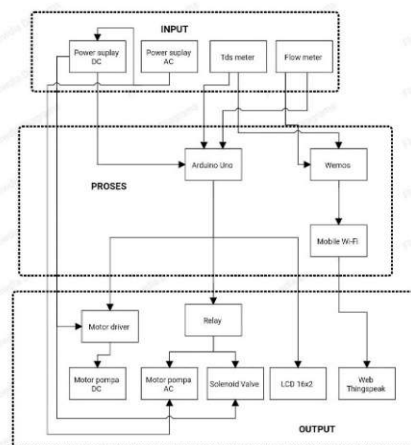
Agar kualitas air dapat terjaga maka sistem menara pendingin harus melakukan demineralisasi pada tangki *softener* dimana tangki *softener* harus di regenerasi ketika nilai saturasi sudah melebihi 10 ppm [5][6]. Dengan demikian kualitas air pada menara pendingin dapat di kendalikan. Keadaan seperti ini perlu mendapat perhatian karena regenerasi air pada tangki *softener* dipantau dan dikendalikan secara manual memiliki kelemahan dan ketidakpastian. Ketergantungan tenaga manusia untuk memantau maupun pengendalian kualitas air secara rutin juga sangat diperlukan, serta kemungkinan tercapainya batas maksimum konsentrasi air pendingin sebelum petugas mengambil sampel air dapat terjadi. Dari permasalahan tersebut perlu dibuat sistem *monitoring* dan pengendalian kualitas air untuk mendukung proses demineralisasi pada tangki *softener* yang kontinyu [7].

Ketika ppm air melebihi batas standar maka sistem pengendalian akan otomatis meregenerasi tangki *softener* dengan cara mencampurkan larutan HCL pada tangki kation dan mencampurkan larutan NaOH air pada tangki anion selama 15 menit kemudian *solenoid valve* pembuangan akan menguras air yang kotor dan mengisi ulang air secara terus menerus sampai air memiliki kadar ppm yang standar [7][8].

Pemantauan kualitas air pada tangki *softener* dapat dilakukan secara lebih praktis dan efisien dengan memungkinkan data ditampilkan secara langsung melalui koneksi internet. Konsep ini melibatkan kemampuan objek tertentu untuk mentransfer data melalui jaringan tanpa perlu interaksi manusia ke manusia atau manusia ke perangkat. Dikenal dengan istilah *Internet of Things* (IoT), teknologi ini memungkinkan pengguna untuk mengakses data, melakukan operasi manual, dan memonitor kondisi serta kualitas air di mana pun mereka berada [9][10].

2. Metode Penelitian

2.1. Perancangan Perangkat Keras



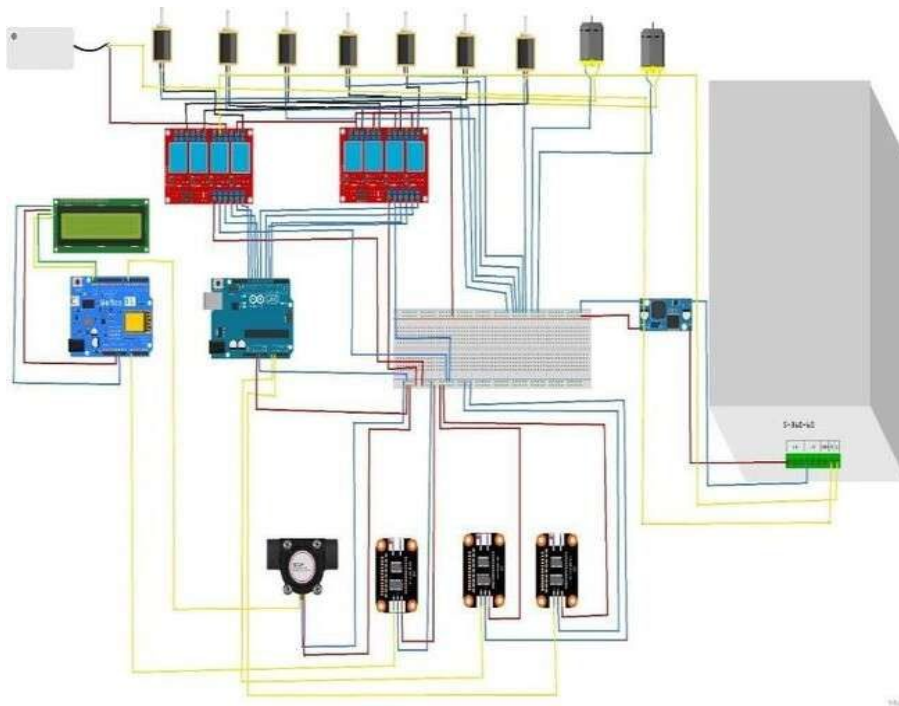
Gambar 2. Blok diagram perangkat keras

Perangkat keras yang dibutuhkan pada pembuatan rancang bangun penelitian ini terdiri dari sensor tds meter, sensor *flow* meter, sensor TDS, arduino uno, LCD 16x4, serta bahan pendukung lainnya. Gambar 2 menunjukan blok diagram perangkat keras terbagi atas 3 proses sistem, yaitu *input*, proses, dan *output*. *Input* terdiri dari *power supply* DC dan AC, sensor TDS, dan *flow* meter.

Power supply AC memberikan daya untuk *power supply* DC, arduino uno, wemos, mobile Wi-Fi, sensor TDS, *flow meter*, LCD 16x2, relay, *motor driver*, *solenoid valve* dan *motor pompa* DC dan AC.

Bagian proses terdiri dari arduino uno, wemos dan mobile Wi-Fi. Pada arduino uno terjadi akuisi data hasil pembacaan sensor TDS dan *flow meter*. Setelah itu data yang diterima oleh arduino uno akan dikirimkan oleh wemos ke mobile Wi-Fi dimana *mobile Wi-Fi* akan memancarkan gelombang internet yang akan menghubungkan wemos ke internet. Sedangkan output terdiri dari motor pompa AC dan DC, *solenoid valve*, LCD 16x2, *web thingspeak* dan penunjangnya seperti *motor driver* dan *relay*. Dimana motor pompa dan *valve* memiliki peranan mengatur menyalurkan air dan larutan ketangki, sedangkan LCD 16x2 untuk menampilkan bacaan sensor TDS dan *web thingspeak* berfungsi sebagai sistem *internet of things* untuk mengirimkan data analisa pengukuran air yang dapat dilihat maupun diakses dari jauh.

2.2. Perancangan Sistem Elektrik



Gambar 3. Perancangan sistem elektrik

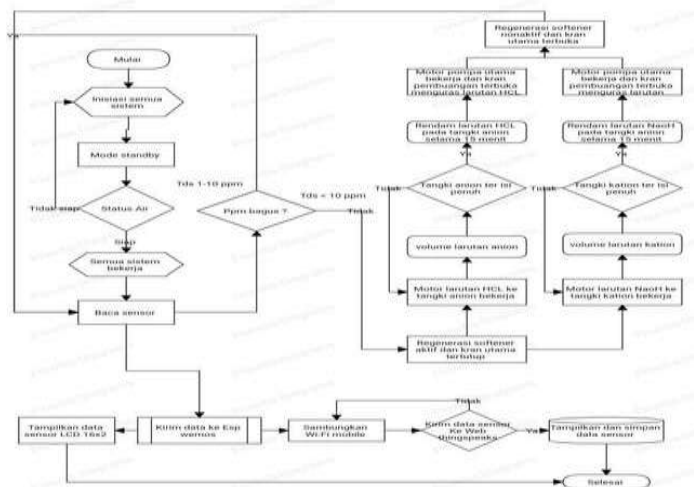
Rancangan sistem elektrik (Gambar 3) dimulai dari sensor TDS yang akan membaca kondisi air dimana sensor akan mengukur kadar ppm air dan akan mengubahnya dari nilai saturasi air menjadi sumber tegangan, yang disesuaikan dengan nilai pada ppm air. Sinyal tegangan pada sensor TDS akan diolah dengan mikrokontroler arduino uno sebagai pengaturan semua sistem dimana sensorTDS tangki 1 akan mengatur nilai saturasi ppm pada tangki *softener* 1 dan akan diolah pada arduino uno sebagai input arduino uno ke pin A0. untuk sensor TDS 2 pada pipa pembuangan akan mengatur nilai saturasi ppm air pada tangki *softener* 2 dan akan diolah pada arduino sebagai input arduino uno ke pin A1. dan untuk sensor T D S *monitoring cooling tower* akan mengirimkan data kondisi air terkini pada pipa yang akan mengirimkan suplai air ke *cooling tower* dan akan diolah pada wemos sebagai input wemos ke pin A0 dan nilai penggunaan air akan dimasukkan di pin D4 pada wemos. sensor akan dimasukkan sebagai masukan ke arduino uno

sebagai pin analog yang nanti akan diolah sebagai acuan pengendalian kualitas air maupun wemos sebagai masukan untuk *monitoring* air pada tangki *softener*.

Pada *output* arduino uno dapat dilihat *output* pada sistem kontrol terdapat 8 buah relay yang digunakan sebagai pengaturan sistem pada tangki kation maupun pada tangki anion dan pada motor pompa *transfer*. Pada pin 5 Arduino digunakan sebagai relay 1 dimana berfungsi untuk mengaktifkan motor pompa AC pada pin 6 digunakan untuk mengaktifkan relay 2 berfungsi untuk menghidupkan *solenoid valve* blok tangki kation dan anion. Pada pin 7 digunakan untuk menghidupkan *Solenoid valve out plant*. Pada pin 8 dan 9 digunakan untuk menghidupkan *Solenoid valve in* anion dan *in* kation yang aktif secara bersamaan dibarengin dengan motor pompa DC HCL dan motor pompa DC NaoH. pada pin 10 dan 11 digunakan untuk menghidupkan *out* anion dan *out* kation yang bekerja secara bersamaan untuk membuang air redaman HCL dan NaoH. Pin 12 digunakan untuk mengaktifkan *solenoid valve* pembuangan air diatas ppm standar. pada kontroler wemos digunakan sebagai alat pemantauan nilai TDS air dan penggunaan air dimana pin D14 (SDA) dan pin D15 (SDL) yang akan dikoneksikan dengan LCD I2C 16x2 yang dapat ditampilkan pada tangki *softener*.

2.3. Perancangan Perangkat Lunak

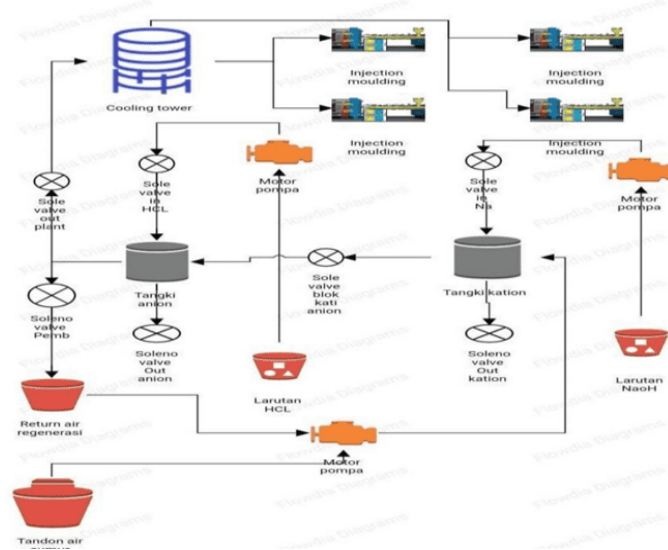
Perancangan perangkat lunak digambarkan menggunakan *flowchart* untuk mengetahui cara kerja sistem pemantauan dan pengendalian kualitas air dan dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Flowchart Proses Regenerasi Air

Pada saat pertama kali alat dijalankan, dimulai dengan menginisialisasi semua sistem, yaitu dengan mempersiapkan catu daya untuk mengalirkan listrik ke perangkat elektronik dan mengkoneksikan jaringan Wi-Fi untuk *online* kondisi *monitoring* air. Setelah itu semua alat ukur kualitas air seperti TDS sensor dan *flow meter* masing-masing mengambil data dari air tangki *softener*, jika TDS air berada pada 10 ppm maka sistem pengendalian akan otomatis meregenerasi tangki *softener* dengan cara mencampurkan larutan HCL pada tangki kation dan mencampurkan larutan NaOH air pada tangki anion selama 15 menit kemudian solenoid valve pembuangan akan menguras air yang kotor dan mengisi ulang air secara terus menerus sampai air memiliki kadar ppm yang standar serta data akan terus-menerus diperbaharui secara *realtime* melalui *web ThingSpeak* yang dapat diakses secara online.

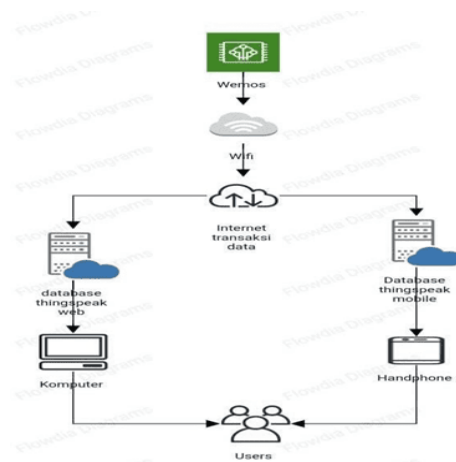
2.4. Perancangan Sistem Mekanik



Gambar 5. Perancangan sistem mekanik

Rancangan sistem mekanik pada Gambar 5 menunjukkan bahwa air diambil pada tandon air yaitu bak penampungan air untuk mensuplai seluruh kebutuhan air pada proses sistem mekanik. Air dari tandon akan didistribusikan melalui pompa transfer yang akan menyala terus-menerus selama sistem berjalan untuk mensuplai air ke tangki *softener*. Pada tangki *softener*, air akan didemineralisasi untuk menghilangkan kesadahan air agar sesuai dengan nilai saturasi ppm yang standar jika saturasi air melebihi standar ppm maka sistem akan melakukan regenerasi secara otomatis melalui sistem kontrol pada tangki *softener* masing-masing. Jika tangki *softener* 1 memiliki nilai ppm yang tinggi maka akan dilakukan proses regenerasi tangki *softener* 1 yang sedang dilakukan regenerasi sistem akan memindahkan air ke pipa pembuangan air yang dibawah TDS akan melakukan proses regenerasi secara terus menerus sampai batas ppm yang standar. Ketika serangkaian sistem telah memastikan kondisi air baik maka air yang telah melalui proses dimineralisasi akan dikirimkan melalui pipa out pada tangki *softener* menuju *cooling tower*.

2.5. Perancangan Sistem Pemantauan Berbasis IoT



Gambar 6. Perancangan sistem pemantauan berbasis IoT

Gambar 6 merupakan rancangan sistem Perancangan sistem pengiriman data berbasis IoT dapat dilihat wemos mendapatkan sinyal internet dari jaringan Wi-Fi lalu ketika wemos mendapatkan IP (*internet protocol*). Maka wemos akan dapat mengirimkan data ke gerbang pusat internet dengan menggunakan IP dari jaringan WIFI untuk dapat mengakses transaksi data. Proses transaksi data dilakukan *web* yaitu *web server* dari *ThingSpeak*. Dimana *ThingSpeak* yang akan menampilkan data kualitas air dan penggunaan air selama mesin bekerja data akan ditampilkan pada *web server ThingSpeak* dalam bentuk grafik. Pada proses transaksi menampilkan data kualitas air dan penggunaan air secara jarak jauh yang dapat di akses untuk melihat data laporan kualitas air yang dapat dijadikan sebagai laporan hasil penguuran air yang dapat disimpan sebagai dokumentasi yang dapat di ambil datanya secara langsung.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Pengujian Alat

Pada tahap pengujian alat dilakukan dengan beberapa pengujian yang dilakukan untuk mengetahui semua sistem dapat bekerja dengan baik, yang bertujuan agar sistem pemantauan maupun pengendalian kualitas air pada *cooling tower* dapat bekerja. Dari hasil pengujian didapatkan beberapa hasil pengujian sebagai berikut.

3.1.1. Pengujian Sensor TDS

Hasil pengujian sensor TDS didapatkan nilai dari pembanding sensor TDS dengan alat ukur TDS meter. Pengujian dilakukan sebanyak 20 kali pengambilan *sample* dari nilai ppm yang berbeda. Selama pengambilan data pengukuran sensor yang dibandingkan dengan alat ukur TDS meter metode pembandingan menggunakan *mean square error* yang hasil didapatkan didalam tabel 1 pengujian sensor TDS berikut :

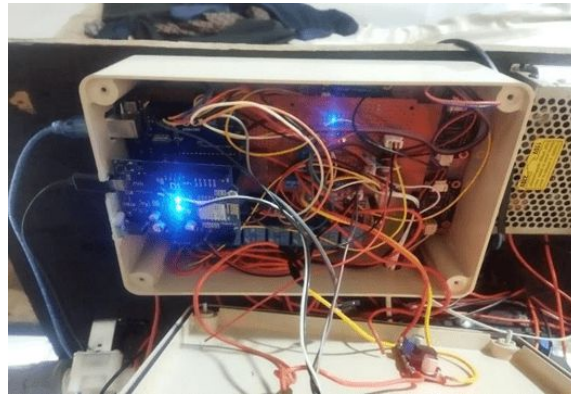
Tabel 1. Pengujian sensor TDS

Pengukuran ke	Sensor <i>Tds</i>	<i>Tds</i> meter	Akurasi sensor (%)
1	32	32	100
2	30	32	93.33
3	30	30	100
4	30	32	93.33
5	30	30	100
6	66	65	98.48
7	65	65	100
8	66	66	100
9	65	65	100
10	66	66	100
11	75	79	94.66
12	75	78	96
13	70	76	91.42
14	70	76	91.42
15	71	76	92.95
16	32	31	96.87
17	32	31	96.87
18	32	31	96.87

Pengukuran ke	Sensor <i>Tds</i>	<i>Tds</i> meter	Akurasi sensor (%)
19	32	31	96.87
20	32	31	96.87
Nilai rata-rata akurasi sensor			96.80

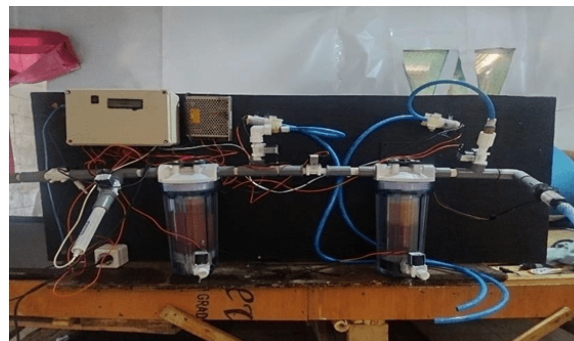
3.1.2. Pengujian Akurasi Kontroler

Proses pengujian akurasi kerja kontroler dilakukan dengan cara menghitung tingkat keberhasilan sistem bekerja pada saat alat mendeteksi saturasi ppm dibawah standar (melebihi 10 ppm). Proses tercapai sistem bekerja dengan baik melalui beberapa proses kerja diantaranya dari proses perakitan alat sampai uji coba memerlukan pengerjaan diantaranya membuat 2 board kontroler yaitu arduino uno sebagai sistem kendali untuk mengatur kerjanya regenerasi air dan pengaturan *valve* maupun motor pompa agar dapat bekerja secara otomatis dan *board* wemos yang berfungsi sebagai sistem *internet of things* sebagai pengiriman data hasil analisa pengukuran air yang dapat dilihat maupun diakses dari jarak jauh. Hasil perakitan sistem kontroler dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Rangkain kontroler sistem elektrik

Sebagai pendukung kinerja sistem kontroler yang dapat bekerja dengan baik maka sistem mekanik pun harus dapat bekerja dengan baik pula. Oleh karena itu penulis membuat sistem mekanik dengan beberapa *part* untuk mendukung proses regenerasi air seperti pada gambar 9 yang telah penulis buat.



Gambar 9. Sistem mekanik

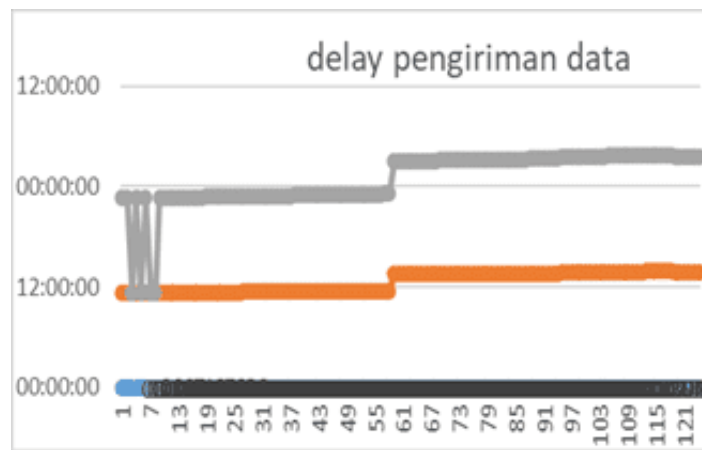
Setelah semua sistem dirakit maka perlu dilakukan pengujian akurasi kontroler sistem, proses pengujiannya dilakukan dengan cara melakukan serangkaian uji coba keberhasilan sistem untuk mendeteksi ketika saturasi ppm air dibawah standar (melebihi 10 ppm) pada sistem elektrik maupun mekanik. Dengan melihat kinerja kontroler apakah dapat melakukan regenerasi air sesuai dengan batas standar yang telah ditentukan. pengujian dilakukan sebanyak 10 kali dengan nilai ppm yang berbeda dengan nilai diatas standar ppm air. Dari hasil pengujian akurasi kontroler sistem didapatkan hasil tingkat keberhasilan sistem sebagai tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian akurasi sistem kontroler

Percobaan ke	Pembacaan ppm air	Keadaan sistem kontroler	Status
1	168	Aktif	Berhasil
2	128	Aktif	Berhasil
3	108	aktif	Berhasil
4	98	Aktif	Berhasil
5	85	Aktif	Berhasil
6	66	Aktif	Berhasil
7	52	Aktif	Berhasil
8	45	Aktif	Berhasil
9	38	Aktif	Berhasil
10	25	Aktif	Berhasil

3.1.3. Pengujian Internet of Things

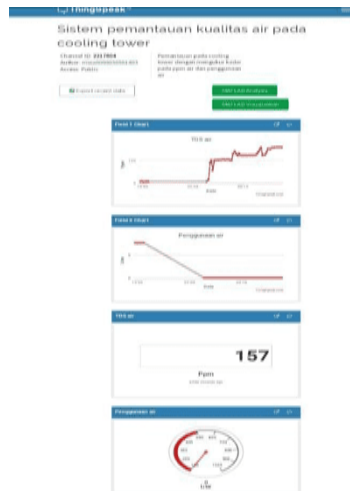
Pada saat pengujian *internet of things* penulis menggunakan metode perhitungan rata-rata *delay* pada saat pengiriman data dari wemos ke *web ThingSpeak* penulis mendapatkan rata-rata data *delay* pengiriman pada grafik pada Gambar 10.



Gambar 10. Pengujian data pengiriman internet of things (IoT)

Pada grafik hasil pengujian pengiriman data *internet of things* didapatkan nilai rata-rata *delay* pengiriman sebesar 5 detik dimana waktu *interval* pengiriman sebesar 15 detik dimana hasil dari pengujian dilakukan selama 3 jam. Waktu pengambilan data dari wemos ke *web ThingSpeak* dari

data hasil pengujian dapat dikategorikan pengiriman data dapat bekerja secara *realtime* pada saat pengiriman data. Data hasil pengujian dapat dilihat dari gambar 11.



Gambar 11. Data hasil pengukuran TDS meter menggunakan *handphone*

4. Pembahasan

Dari hasil pengujian antara TDS meter dengan sensor memiliki tingkat akurasi 96.80% dimana dari hasil tersebut dapat dikategorikan alat memiliki kinerja yang baik dan dari hasil pengujian akurasi kerja sistem kontroler juga memiliki tingkat keberhasilan sebesar 100%, dimana dari hasil tersebut dapat dikategorikan bahwa alat dapat bekerja dengan baik.

Agar dapat menurunkan kadar salinitas air yang nanti dapat menurunkan ppm air, berdasarkan hasil pengujian *internet of things* (IoT) didapatkan nilai pengiriman data sensor dengan interval 15 detik dan delay pengiriman ke *thingspeak* selama 5 detik sehingga data sensor bisa dikatakan *realtime*.

Hasil *monitoring* yang kedua adalah monitoring suhu dari air sebanyak 20 kali dan didapatkan nilai rata-rata error 1,2%. Data *monitoring* yang terakhir adalah hasil dari *monitoring* sensor TDS sebanyak 20 kali. Berdasarkan data hasil penelitian tersebut dapat diketahui jika alat *monitoring* sudah berfungsi dengan baik dapat membaca dan mengirimkan data melalui *platform* IoT secara *online* dengan baik dan pengujian jarak di dapatkan nilai terjauh sebesar 19 meter di luar ruangan.

5. Kesimpulan

Setelah melakukan beberapa percobaan untuk menjalankan sistem pemantauan dan pengendalian kualitas air, diperoleh kesimpulan berikut ini. Hasil uji sensor pengukuran menunjukkan bahwa akurasi sensor TDS mencapai 96.80%, hal ini menunjukkan sensor layak untuk digunakan sebagai sensor pembacaan TDS air dan kontroler sistem dapat berfungsi dengan baik, yakni aktif ketika konsentrasi salinitas air melebihi 10 ppm, terbukti oleh tingkat keberhasilan mencapai 100% selama uji coba kontroler. Selain itu, berdasarkan data uji pengiriman, tercatat bahwa rata-rata *delay* pengiriman data adalah 5 detik. Oleh karena itu, transmisi data melalui *Internet of Things* (IoT) dapat dianggap sebagai real-time karena keterlambatan pengiriman data tidak melebihi 10 detik.

Referensi

- [1] D. G. Kröger, “AIR-COOLED HEAT EXCHANGERS AND COOLING TOWERS.”
- [2] Y. I. Cho, S. Lee, W. Kim, dan S. Suh, “Physical Water Treatment for the Mitigation of Mineral Fouling in Cooling-Tower Water Applications.” [Daring]. Tersedia pada: <http://dc.engconfintl.org/heatexchanger/4>
- [3] J. C. Hensley, “Cooling Tower Fundamentals Compiled from the knowledge and experience of the entire SPX Cooling Technologies staff. Edited by.”
- [4] * Novima, N. Aini, D. Siswanto, dan G. Priyandoko, “Monitoring Kualitas Air pada Cooling Tower untuk Mendukung Pengendalian Proses Blowdown berbasis Internet of Things (IoT),” *Seminar Nasional Fortei Regional*, vol. 7.
- [5] J. Daniel Arthur, P. G. Bruce Langhus, dan C. Chirag Patel, “TECHNICAL SUMMARY OF OIL & GAS PRODUCED WATER TREATMENT TECHNOLOGIES.”
- [6] “BERITA NEGARA REPUBLIK INDONESIA.” [Daring]. Tersedia pada: www.djpp.depkumham.go.id
- [7] M. Engkos Kosim, D. Prambudi, dan R. Siskayanti, “Analisis Efisiensi Penukar Ion Sistem Demineralisasi Pada Pengolahan Air di Proses Produksi Electroplating,” 2021.
- [8] A. G. Chmielewski, T. S. Urbański, dan W. Migdał, “Separation technologies for metals recovery from industrial wastes,” *Hydrometallurgy*, vol. 45, no. 3, hlm. 333–344, 1997, doi: 10.1016/s0304-386x(96)00090-4.
- [9] R. S. Putra, “ANALISA PERHITUNGAN BEBAN COOLING TOWER PADA FLUIDA DI MESIN INJEKSI PLASTIK,” 2015.
- [10] R. Alfaro Tamasoleng, E. K. Allo, J. O. Wuwung, dan J. Teknik Elektro, “Rancang Bangun Alat Monitoring Nilai Air Pada Kolam Renang Berbasis IoT.”

Analisis Pengaruh Penerapan EDFA dan DCF Pada Skema Berbeda Untuk Meningkatkan Kinerja RoSMF

Effect Analysis on EDFA Application and DCF At Different Schmes for Improving Performance of RoSMF

Mochamad Yana Hardiman^{1*}, Emmidia Djonaedi², Endang Yuniarti³

^{1,2,3} Politeknik Negeri Jakarta

Siwabessy Kampus UI, (021) 7270036

mochamad.yanahardiman@grafika.pnj.ac.id^{1*}, emmidia.djonaedi@grafika.pnj.ac.id²,
endang.yuniarti@grafika.pnj.ac.id³

Abstrak – Semakin banyak pengguna yang mengakses akan menurunkan kualitas sinyal yang didapat. Solusi dari permasalahan tersebut adalah dengan menggunakan teknologi radio over fiber yang menghasilkan redaman kecil dan bit rate tinggi dari fiber serta mobilitas tinggi dari radio. Faktor paling efektif dari masalah yang menyebabkan penurunan kinerja Radio Over Fiber adalah redaman dan dispersi. Degradasi daya dapat diatasi dengan EDFA dan dispersi dapat diatasi dengan menggunakan DCF. Pada simulasi menggunakan optisystem RoSMF tanpa melakukan peningkatan performa dengan bit rate 1 Gbps dan daya laser 0 dBm. Pada percobaan ini jarak maksimum RoSMF tanpa menggunakan peningkatan performa adalah pada jarak 85 km dengan Q faktor maksimum sebesar 6.58716 dan BER minimum sebesar $1.7353E-011$ dengan penerimaan - 17 dBm dan margin sistem sebesar 6 dB. RoSMF yang tidak menggunakan peningkatan performa mengalami penurunan maka peningkatan performa dengan menggunakan EDFA dapat menjadi salah satu alternatif untuk meningkatkan performa, dibandingkan dengan RoSMF tanpa peningkatan performa EDFA masih bisa optimal pada jarak 86 km hingga 118 km. POST DCF mampu optimal pada jarak dimana EDFA dijatuhkan pada jarak 119 km, jangkauan jarak POST DCF ada pada jarak 119 km hingga 211 km. PRE DCF akan optimal pada jarak 129 km hingga 211 km. DCF optimal simetris pada jarak 119 km hingga 211 km.

Kata Kunci: RoSMF, Maksimum Q factor, Minimum BER, EDFA, Pre DCF, Post DCF.

Abstract – The more users that access will decrease the quality of the signal obtained. The solution to this problem is to use a radio over fiber technology which is produce a small attenuation and high bit rate from fiber and high mobility from radio. Most effective factor of the problems leading to degradation in the performance of Radio Over Fiber is the attenuation and dispersion. Power degradation can be solved with EDFA and dispersion can be overcome by using DCF. In simulations using optisystem RoSMF without doing a performance improvement with a bit rate of 1 Gbps and laser power of 0 dBm. In this experiment the maximum distance for RoSMF without the use of performance improvement is at 85 km with a maximum Q factor of 6.58716 and a minimum BER of $1.7353E-011$ with acceptance - 17 dBm and system margins by 6 dB. RoSMF who do not use performance improvement has experienced a drop then the performance improvement by using EDFA can be an alternative to improve performance, compared with RoSMF without EDFA performance improvements can still be optimum at a distance of 86 km to 118 km. POST DCF capable of optimally at distances where the EDFA is dropped at a distance of 119 km, the distance range DCF POST exist at a distance of 119 km to 211 km. PRE DCF will be optimal at a distance of 129 km to 211 km. Symmetrical optimal DCF at a distance of 119 km to 211 km.

Keywords: RoSMF, Maximum Q factor, Minimum BER, EDFA, Pre DCF, Post DCF

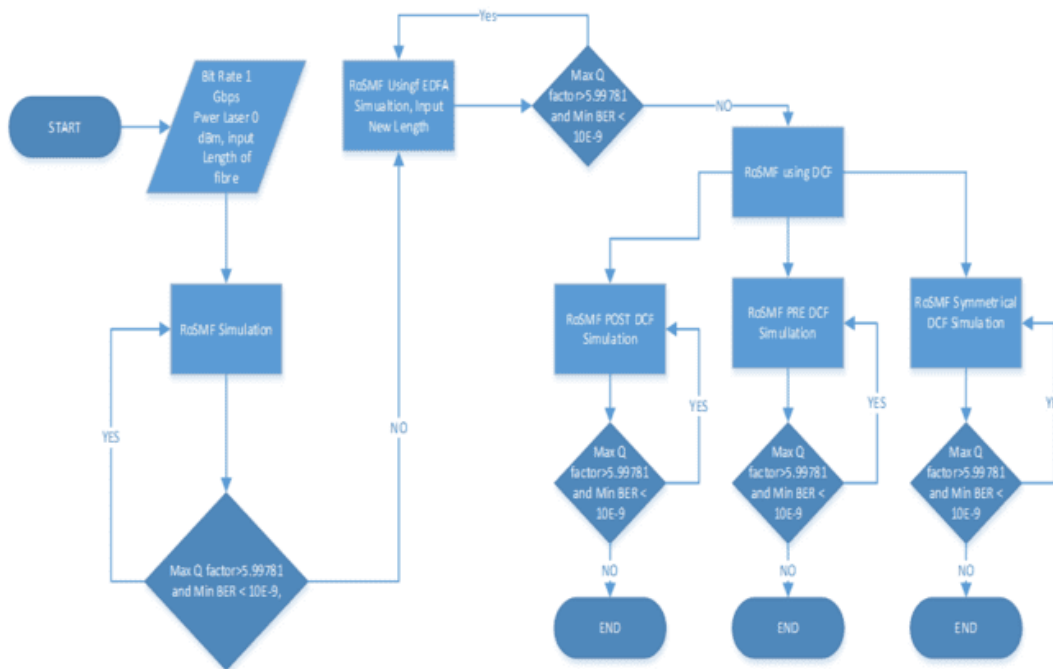


1. Pendahuluan

Pengguna di era broadband seperti saat ini memerlukan akses terhadap teknologi informasi dimana saja dan kapan saja. Lebih banyak pengguna yang mengakses jaringan secara bersamaan namun ada trade off antara kapasitas dan kualitas. Untuk pelayanan yang lebih baik diperlukan teknologi yang lebih stabil namun memiliki mobilitas yang tinggi. Kemudian teknologi radio over fiber hadir sebagai solusi karena merupakan konvergensi teknologi fiber optic dan teknologi radio. Teknologi serat optik yang mempunyai keunggulan redaman kecil dan bit rate tinggi serta teknologi radio yang mempunyai keunggulan mobilitas. Radio over fiber mempunyai dua permasalahan yaitu penurunan kekuatan sinyal dan dispersi. Daya yang diterima di sisi penerima akan mempengaruhi kinerja yang diukur dengan faktor Q maksimum dan BER minimum. Penurunan kekuatan sinyal dapat diatasi dengan EDFA dan dispersi dapat diatasi dengan DCF. Srivastava[9] menggunakan EDFA tanpa DCF namun tidak memberikan panjang serat yang optimal. Mohammed[10] menggunakan EDFA dan DCF yang merupakan skema POST DCF saja. Kedua penelitian ini tidak memperhitungkan secara akurat jarak optimal serat yang diperoleh tetapi hanya tidak menghitung analisis link power budget. Daya transmisi cahaya sepanjang kekuatan serat menurun secara eksponensial seiring dengan bertambahnya jarak [16]. Penelitian ini melakukan simulasi dan analisis pengaruh penambahan EDFA dan DCF dengan tiga skema berbeda dan analisis link power budget.

2. Metode Penelitian

Kami menggunakan skema berbeda EDFA dan DCF untuk meningkatkan kinerja Radio Over Single Mode Fiber (RoSMF). Langkah-langkah simulasi dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 1. Simulasi Flowchart Menggunakan OptiSystem

Data NRZ satu Gbps yang memodulasi Mach Zehnder dengan daya 0 dBm ditransmisikan dalam serat optik dengan tiga skenario, yaitu tanpa EDFA dan DCF, dengan EDFA tanpa DCF, dengan EDFA dan DCF (tiga skema berbeda yaitu PRE DCF, POST DCF, dan Symmetrical DCF).

Simulasi sistem menggunakan parameter berikut :

Tabel 1.Parameter Simulasi

Wavelength	1550 nm[11]
Bit Rate	1 Gbps, 10 Gbps
Length SMF	Variabel
Length DCF	Variabel
Dispersion SMF	16.75 ps/nm/km[11]
Dispersion DCF	-155 ps/nm/km[29]
Attenuation SMF	0.2-0.3 dB/km[23]
Attenuation DCF	0.6 dB/km[30]

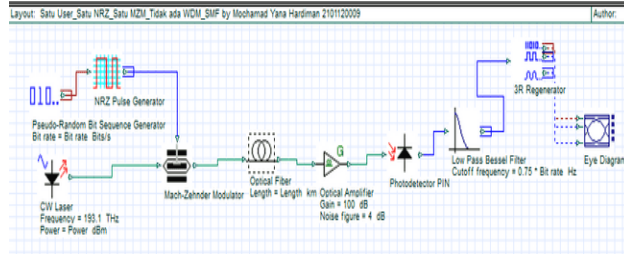
Panjang gelombang ketiga pada window 1550 nm[26], bit rate yang digunakan 1 Gbps dan 10 Gbps. Daya laser yang digunakan 0 dBm dan 10 dBm.

Pengaruh Penambahan DCF dan EDFA

Serat dispersi sebesar 16,75 ps/nm/km[11], serat dispersi sebesar -155 ps/nm/km[29]. Redaman SMF sebesar 0,2-0,3 dB/km[23] dan redaman DCF sebesar 0,6 dB/km.[30].Tiga skema yang akan digunakan adalah DCF, Pre DCF, Post DCF dan Symmetrical DCF [1]. Rumus yang digunakan dalam pencarian panjang DCF sesuai dengan persamaan:

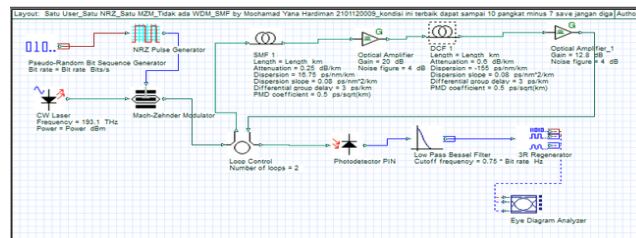
$$D_{SMF} * L_{SMF} = -D_{DCF} * L_{DCF}[20] \tag{1}$$

Implementasi Radio Melalui Sistem Single Mode Menggunakan EDFA



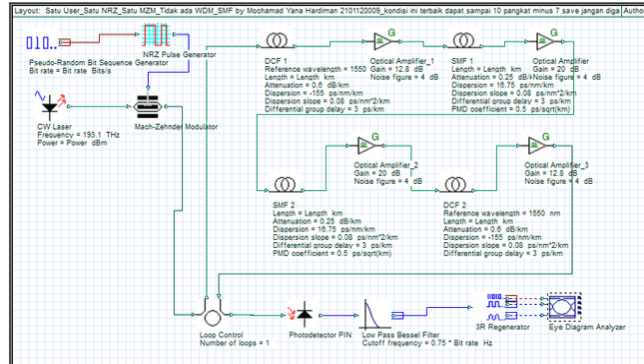
Gambar 2. RoSMF dengan peningkatan performansi menggunakan EDFA

Implementasi Radio Over Single Mode Fiber Menggunakan POST DCF



Gambar 3. Radio Over Single Mode Fiber menggunakan PRE DCF

Implementasi Radio Over Single Mode Fiber System menggunakan Symmetrical DCF



Gambar 4. Radio Over Single Mode Fiber menggunakan Symmetrical DCF

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil Analisis Simulasi

Skenario 1 untuk bit rate sebesar 1 Gbps, Power Laser 0 dBm RoSMF

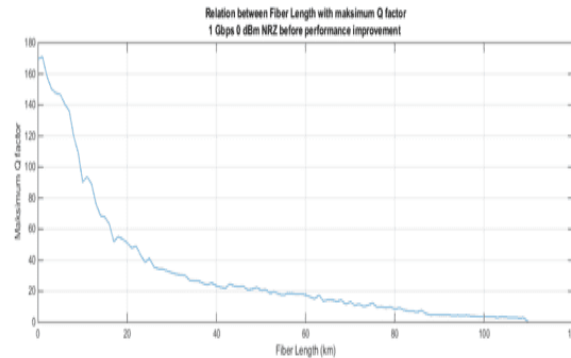
Hasil Simulasi Pada jarak fiber maksimum setelah Optimasi 85 km

Tabel 2. Hasil Q factor and BER pada jarak 85 km

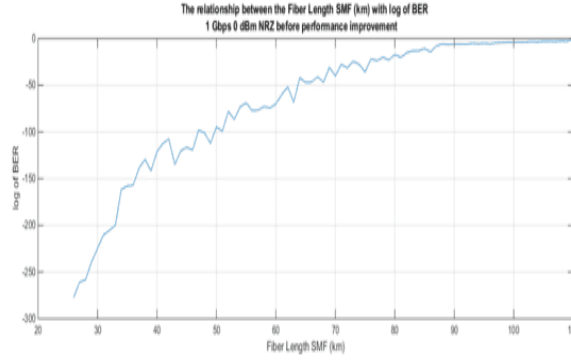
Distance (km)	Maximum Q factor	Minimum BER
85	6.58716	1.7353E-011



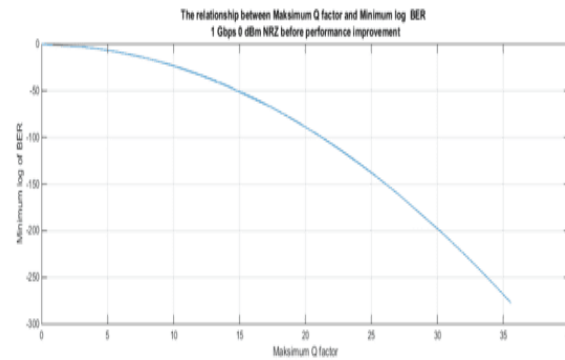
Gambar 5. Link Power Budget RoSMF



Gambar 6. Hubungann Panjang Fiber Optik dengan maximum Q factor

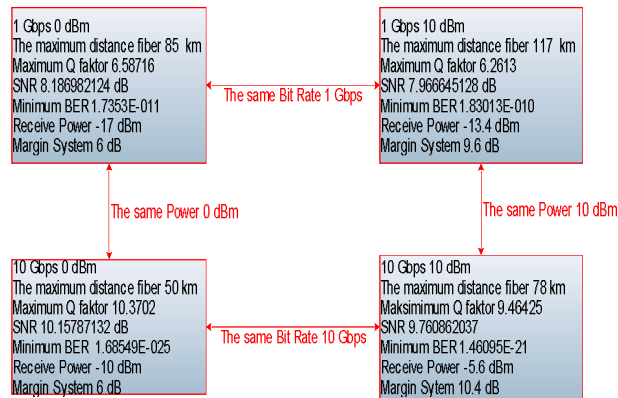


Gambar 7. Hubungan Panjang fiber Optik dengan BER

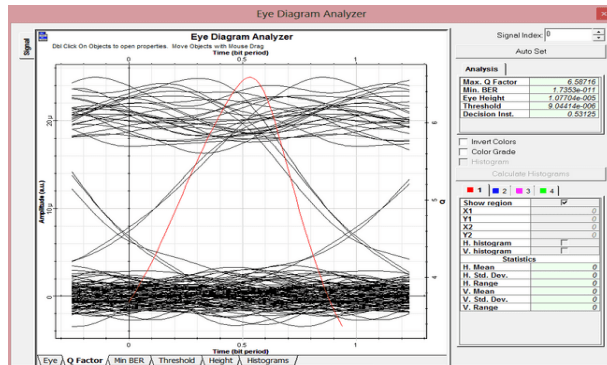


Gambar 8. Hubungan Maximum Q factor dan minimum BER

Hubungan empat hasil simulasi sebelum peningkatan kinerja



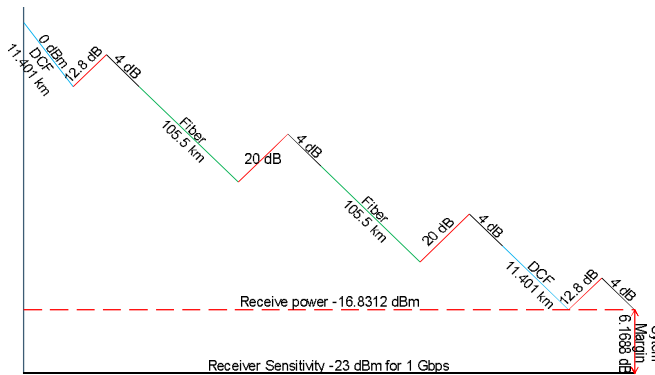
Gambar 9. Hubungan empat hasil simulasi sebelum peningkatan kinerja



Gambar 10. Hasil keluaran simulasi 1 Gbps of 0 dBm pada jarak 85 km

Peningkatan Performansi menggunakan Symmetrical DCF

Link Power Budget



Gambar 11. Link Power Budget menggunakan Symmetrical DCF

Gambar di atas mengilustrasikan link power budget serat simetris DCF pada jarak terjauh yang bertemu

Persyaratan pada titik terjauh fiber sejauh 211 km. Daya awal 0 dBm, DCF simetris, DCF diletakkan di sebelah kiri serat optik sehingga 0 dBm akan diredam oleh DCF dengan redaman DCF sebesar 0,6 dB/km. Redaman DCF mengkompensasi EDFA dengan penguatan 12,8 dB, EDFA untuk DCF memiliki angka kebisingan 4 dB. Sinyal optik sekali pakai akan ditransmisikan ke dalam fiber dengan jarak 105,5 km dengan redaman 0,25 dB/km. Redaman serat akan dikompensasi oleh penguatan EDFA sebesar 20 dB dengan noise sebesar 4 dB. Sekali sinyal optik akan ditransmisikan kembali ke serat optik sejauh 105,5 km dengan redaman 0,25 dB/km. akan digunakan kembali mengkompensasi redaman serat

4. Kesimpulan

EDFA dan DCF dapat meningkatkan kinerja RoSMF sebelum peningkatan kinerja. pada jarak maksimum RoSMF yang berada pada kondisi dibawah standar EDFA kinerjanya masih bisa diatas standar kinerjanya.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Direktur Politeknik Negeri Jakarta, Wakil Direktur Bidang Akademik, Ketua Jurusan Teknik Grafika dan Penerbitan, dan Ketua Program Studi (KPS) Teknologi Rekayasa Cetak dan Grafis 3 Dimensi.

Referensi

- [1] OptiSystem Tutorial Volume 2. Optical Communication System Design and Software.
- [2] G. P. Agrawal. 1997. Fiber Optic Communication Systems. Wiley-Interscience.
- [3] M. Tachibana, et al., "Erbium-Doped Fiber Amplifier with Flattened Gain Spectrum", IEEE Photon. Tech. Lett. 3, 118 (1991).
- [4] S. F. Su, et al., "Flattening of Erbium-doped fiber amplifier gain spectrum using an acousto-optic tunable filter", Electron. Lett. 29, 477 (1993).
- [5] E. L. Goldstein, et al., "Inhomogeneously broadened fiber amplifier cascade for transparent multiwavelength lightwave networks", J. Light. Tech. 13, 782 (1995).
- [6] M. A. Ali, et al., "Performance of erbium-doped fiber amplifier cascades in WDM multiple access lightwave networks", IEEE Photon. Tech. Lett. 6, 1142 (1994).
- [7] S. Y. Park, et al. "Doped fiber length and pump power of gain-flattened EDFAs", Elect. Lett. 32, 2161 (1996)
- [8] Hani Jasim, "Optical Communication System base on wavelength division multiplexing technique", PhD. Thesis, university of Baghdad 2005.
- [9] Srivastava, Nimish Kumar, Arvind Kumar Jaiswal, Mukesh Kumar. 2014. Design and Performance Analysis of Radio Over Fiber Sytem Incorporating Differential Phase Shift Keying Modulation in High Speed Transmission System. Allahabad Uttar Pradesh, India: IOSR Journal of Electronics and Communications Engineering (IOSR-JECE)
- [10] Abduldaem Mohammed, Husam. 2013. Performance Evaluation of DWDM for Radio over Fiber System with Dispersion Compensation and EDFA. Baghdad university. International Journal of Computer Applications (0975-8887)
- [11] OptiSystem_Component_Library
- [12] Benedetto, S., Biglieri, E., Castellani, V., *Digital Transmission Theory*. Prentice-Hall, N.Y., (1987)
- [13] Press, W. H., Flannery, B. P., Teukolsky, S. A., and Vetterling, W. T., *Numerical Recipes in C*. Cambridge University Press, (1991).
- [14] Gupta, Mool C, John Ballato. 2006. The Handbook of Photonics. London: CRC Press Taylor & Francis Group
- [15] J.C. Cartledge, G.S. Burley, "The Effect of Laser Chirping on Lightwave System Performance," *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 7, No. 3, 1989, S. 568-573.
- [16] Keiser, Gerd; "Optical Fiber Communications", 4th Ed., Tata McGraw Hill, 2008.
- [17] G. P. Agrawal, "Applications of nonlinear fiber optics", Academic press, 3rd edition, 2001.
- [18] G. P. Agrawal, "Nonlinear fiber optics", Academic press, 3rd edition, 2001.
- [19] ZhouZhiQiang, TangYuLiang, "Optimum schemes of dispersion compensation transmission systems using dispersion compensation fibers", laser technology, Vol.24, No.5, pp.265-269 Oct.2000
- [20] Sing Robin, Love Kumar, Neeeru Malhotra. 2015. "Dispersion Compensation in Optical Fiber Communications for 40 Gbps using dispersion compensation fiber". Jalandhar, Punjab. International Journal for Science and emerging.
- [21] Fernando, Xavier. Additive White Gaussian Noise (AWGN) Channel and Matched Filter Detection. Lihat Bernard Sklar.
- [22] Agrawal, Govind P. 2002. Fiber-Optic Communication System Third Edition. New York. Wiley Interscience
- [23] Tutorial_Volume_2.pdf_Power level management in optical metro network page 380/476
- [24] <http://radityaeka5.blogspot.com/2013/10/bab-6-defiasirangevarian.html>
- [25] Ng'oma. 2005. Radio over Fibre Technology for Broadband Wireless Communication System. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven
- [26] Vidya, Leanna. 2011. Applied Study of DWDM-ROF to Transmit Wireless Access Technology. Bandung: Institut Teknologi Telkom.
- [27] http://imedea.uib-csic.es/~salvador/coms_optiques/addicional/ibm/ch07/07-14.html

- [28] <http://www.slideshare.net/udunuwara/wdm-principles>
- [29] <http://www.google.com/patents/WO2005083482A1?cl=en>
- [30] Kaur, Manpreet, Himali Sarangal, Parven Bagga.2015.Dispersion Compensation with Dispersion Compensating Fibers(DCF).Jalandhar:International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering

**Identifikasi Interaksi Manusia-Komputer Menggunakan Computer Vision
Syndrom di Unit Pracetak (*Prepress*)**

*Identification Human Computer Interaction Using Computer Vision
Syndrome in Prepress Unit*

Rachmah Nanda Kartika^{1*}, Emmidia Djonaedi², Endang Yuniarti³

^{1,2,3} Program Studi Teknologi Rekayasa Cetak dan Grafis 3 Dimensi Politeknik Negeri Jakarta
rachmah.nandakartika@grafika.pnj.ac.id¹, emmidia.djonaedi@grafika.pnj.ac.id²,
endang.yuniarti@grafika.pnj.ac.id³

Abstrak – *Computer Vision Sysndrom (CVS) merupakan perhatian yang umum di era digital, memengaruhi individu yang berinteraksi secara intensif dengan komputer. Meskipun CVS telah diteliti dalam berbagai konteks, masih ada kekurangan penelitian mengenai dampaknya pada individu yang bekerja di unit pracetak dalam industri grafika. Jika CVS tidak ditangani, konsekuensi ialah kesulitan dalam aktivitas sehari-hari seperti penurunan produktivitas kerja, peningkatan kesalahan bekerja dan penurunan kepuasan kerja. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan wawasan tentang faktor-faktor ergonomis dan lingkungan yang berkontribusi terhadap CVS, serta memberikan rekomendasi untuk mengurangi resiko pada unit pracetak. Penelitian ini bersifat kuantitatif non eksperimen. Adapun jumlah responden sebanyak 30 responden yang merupakan operator pada unit pracetak di beberapa perusahaan cetak di jabodetabek. Hasil uji statistik menunjukkan variabel bebas yang berhubungan dengan keluhan CVS adalah variabel jenis kelamin ($p\text{-value}=0,04$), variabel usia ($p\text{-value}=0,045$), variabel penggunaan kacamata ($p\text{-value}=0,0063$), variabel durasi bekerja dengan komputer ($p\text{-value}=0,031$), variabel lama istirahat setelah penggunaan komputer ($p\text{-value}=0,045$), Variabel jarak penglihatan terhadap monitor ($p\text{-value}=0,024$), variabel posisi bagian atas monitor terhadap ketinggian horizontal mata ($p\text{-value}=0,03$) serta variabel yang tidak berhubungan dengan keluhan CVS seperti lama bekerja dengan menggunakan komputer ($p\text{-value}=0,703$) dan variabel jenis layar komputer ($p\text{-value}=0,6$).*

Kata Kunci: *CVS, interaksi manusia-komputer, Pracetak*

Abstract – *Computer Vision Syndrom (CVS) is a common concern in the digital age, affecting individuals affecting individuals who interact intensively with computers. Although CVS has been researched in a variety of context, there is still lack of researched on its impact on individuals working in prepress units within Printing Technology industry. If CVS is not addressed, the consequences are difficulties in daily activities such as decreased job satisfaction. This study aims to provide insight into the ergonomic and environmental factors that contribute to CVS, as well as provide reccomendations for reducing risks in prepress units. This research is Quantitative non-experimental. The number of resepondents was 30 respondents who were operators in prepress units in printing companies in jabodetabek. The results of statistical tests show that independent variable associated with CVS complaint were sex variables ($p\text{ value} = 0,04$), age variables ($p\text{ value} = 0,045$), glasses use variables ($p\text{ value} = 0,0063$), variables of duration of working with computers ($p\text{ value} = 0,031$), variables of rest duration after computer use ($p\text{ value} = 0,045$), Variables of the position of the top of the monitor to the horizontal height of the eyes ($p\text{ value} = 0,03$) and variables that are not related to CVS Complaints such as working time with computers ($p\text{ value} = 0,703$) and computer screen type variables ($p\text{ value} = 0,6$).*

Keywords: *Computer Vision Sysndrome, Human Interaction,prepress.*

1. Pendahuluan

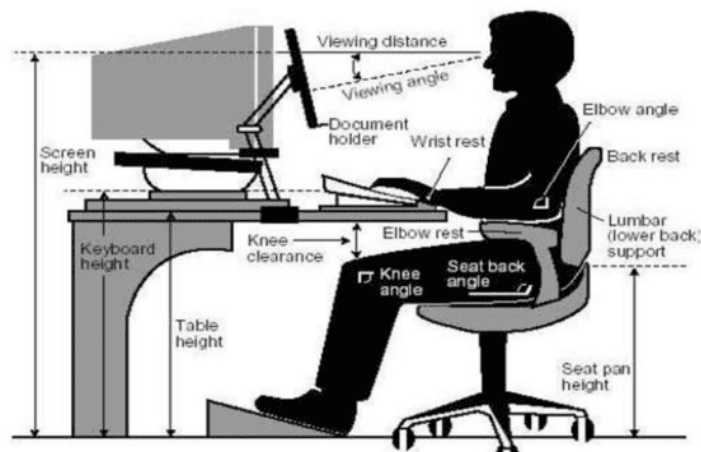
Dalam Era Digital yang semakin maju, penggunaan komputer telah menjadi bagian tak terpisahkan dari banyak industri, termasuk industri grafika (industri percetakan) [1]. Pada umumnya di Industri Grafika dibutuhkan beberapa tahapan menghasilkan produk cetak yang berkualitas, seperti tahapan pracetak (*prepress*), cetak, serta pasca cetak (*post press*) [2]. Pracetak (*prepress*) dikenal juga sebagai tahap persiapan yang mana pada unit ini mengolah material yang akan dicetak hingga menjadi acuan cetak dari mesin cetak [3]. Pada unit pracetak, operator akan berinteraksi secara intensif 5-10 jam dalam sehari dengan komputer untuk mengelola pekerjaan cetak, merancang desain dan melakukan berbagai tugas yang berkaitan dengan percetakan. Namun, interaksi yang berkelanjutan dengan komputer dalam jangka waktu yang panjang dapat menimbulkan resiko *Computer Vision Syndrome* (CVS) [4].

CVS ialah kondisi yang berkaitan dengan penggunaan komputer yang berkepanjangan dan dapat mengakibatkan gejala seperti ketegangan mata, kelelahan visual, serta gangguan kesehatan mata lainnya [5]. Tiga kategori umum gejala CVS yaitu : 1) mata kering, mata berair, dan sensasi mata terbakar); 2) gejala penglihatan (mata tegang, mata lelah, nyeri kepala, penglihatan kabur, dan penglihatan ganda); dan 3) gejala ekstraokular (nyeri leher, nyeri bahu dan nyeri punggung)[6].

CVS disebabkan oleh beberapa faktor, seperti faktor Individu, faktor lingkungan serta faktor komputer. Faktor Individu yang berkontribusi pada CVS termasuk usia, jenis kelamin, penggunaan lensa kontak, penggunaan kacamata, lama bekerja di depan komputer, lama istirahat setelah penggunaan komputer. Adapun faktor-faktor yang berasal dari komputer termasuk jarak penglihatan, posisi bagian atas monitor terhadap ketinggian horizontal mata, jenis komputer, serta faktor lingkungan seperti pencahayaan [7]. Diperkirakan ada lebih dari 60 juta penderita CVS di seluruh dunia, dengan prevalensi mencapai 64-90 % diantara pengguna komputer dan setiap tahun akan muncul kasus baru[8]. Selanjutnya dalam 30 tahun terakhir, sebanyak 70% orang yang menggunakan komputer mengalami gejala CVS [9].

CVS bukan suatu syndrome yang mengancam nyawa; gejala klinisnya mungkin tidak parah dan tidak mengganggu bagi sebagian orang, yang menyebabkan perusahaan atau instansi tidak memeriksa kesehatan operator sehingga tidak mendapatkan penanganan yang tepat. Jika CVS tidak ditangani, konsekuensi selanjutnya ialah termasuk kesulitan dalam aktivitas sehari-hari seperti penurunan produktivitas kerja, peningkatan kesalahan bekerja dan penurunan kepuasan kerja [10].

Hasil *preliminary study* yang telah dilakukan oleh peneliti diperoleh hasil bahwasanya 3 dari 5 operator pracetak mengeluhkan mata berair setiap selesai melakukan pekerjaan pracetak menggunakan komputer. Berdasarkan latar belakang tersebutlah penelitian ini dilakukan yang merupakan tindak lanjut dari hasil *preliminary study* untuk mengetahui hasil lebih detail serta penanganan untuk pencegahan CVS pada proses pracetak. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi pola interaksi manusia dan komputer di unit pracetak (*prepress*) , mengkaji dampaknya pada kesehatan operator, serta upaya pencegahannya.



Gambar 1. Posisi Ergonomis untuk pengguna Komputer [11]

2. Metode Penelitian

Penelitian ini bersifat kuantitatif non eksperimen. Pengambilan sampel dilakukan oleh peneliti sendiri dengan cara memilih operator yang yang memenuhi kriteria sampel minimal terpenuhi. Penyebaran kuesioner dilakukan pada 30 operator pracetak (*prepress*) yang bekerja di beberapa perusahaan cetak di wilayah Jabodetabek. Kuesioner berisi pertanyaan-pertanyaan seputar interaksi manusia dan komputer usia, penggunaan kacamata, durasi bekerja menggunakan komputer, jarak penglihatan terhadap komputer, serta keluhan CVS.

Responden berjumlah 30 orang operator pada unit prepress perusahaan cetak. Analisis univariat ditampilkan dalam bentuk distribusi frekuensi dan presentase ; analisis bivariat menunjukkan korelasi antara variabel. Uji Validitas dan Reliabilitas dilakukan pada kuesioner ini untuk mengetahui apakah kuesioner yang digunakan valid dan reliable.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada tabel 1 diketahui bahwa dari 30 responden, jumlah responden paling banyak yakni pada usia < 40 tahun sebanyak 23 responden (76%) dibandingkan dengan responden yang berusia ≥ 40 tahun sebanyak 7 responden (23 %). Mayoritas responden dominan berjenis kelamin laki-laki yakni sebanyak 25 responden (86,6 %) dibandingkan dengan responden berjenis kelamin perempuan sebanyak 4 responden (13,3 %). Responden yang menggunakan kaca mata sebanyak 6 responden (20 %) lebih sedikit dibandingkan dengan responden yang tidak menggunakan kaca mata yakni sebanyak 24 responden (80 %). Hampir semua responden telah bekerja menggunakan komputer ≥ 4 tahun yakni sebanyak 29 responden (96 %) hanya 1 responden yang bekerja menggunakan komputer kurang < 4 tahun. Mayoritas responden memiliki durasi paparan layar komputer ≥ 4 jam dalam sehari yakni sebanyak 28 responden (93%), sedangkan hanya 2 responden (7 %) mengalami durasi bekerja menggunakan komputer < 4 jam dalam sehari. Pada variabel lama beristirahat setelah bekerja menggunakan computer diketahui bahwa sebanyak 18 responden (60 %) beristirahat ≥ 10 menit sedangkan 12 responden (40%) beristirahat dibawah 10 menit, pada variabel jarak penglihatan dengan komputer dapat diketahui bahwasanya hanya 2 responden (6%) bekerja dengan jarak lebih dari 50 cm sedangkan 28 responden (94%) bekerja dengan jarak penglihatan dengan computer kurang dari 50 cm. Mayoritas responden memiliki posisi bagian atas monitor lebih rendah atau sejajar terhadap ketinggian horizontal mata sebanyak 27 responden (90 %) dan responden dengan tampilan layar monitor yang sesuai sebanyak 3 responden (10%). Responden yang bekerja dengan menggunakan tampilan komputer layar datar yakni sebanyak 28 responden (93 %) dan responden yang bekerja dengan tampilan computer layar cembung yakni sebanyak 2 responden (7%)

Tabel 1. Hasil Analisis Univariat

No	Variabel	Kategori	Frekuensi	Persentasi (%)
1	Usia (Tahun)	≥40	7	23
		< 40	23	76
2	Jenis Kelamin	Perempuan	4	13,3
		Laki-laki	26	86,6
3	Penggunaan Kaca Mata	Iya	6	20
		Tidak	24	80
4	Lama bekerja dengan Komputer (tahun)	≥4	29	96
		< 4	1	4
5	Durasi Bekerja dengan computer (jam)	≥4	28	93
		< 4	2	7
6	Lama Istirahat setelah penggunaan computer (menit)	≥ 10	18	60
		< 10	12	40
7	Jarak Penglihatan (cm)	≥ 50	2	6
		< 50	28	94
8	Posisi bagian atas monitor terhadap ketinggian Horizontal mata	Lebih Tinggi	3	10
		Lebih Rendah	27	90
9	Jenis Komputer	Layar datar	28	93
		Layar Cembung	2	7

Tabel 2. Distribusi Responden Berdasarkan Keluhan CVS

Keluhan	Ya		Tidak	
	n	%	n	%
Mata Lelah dan tegang	25	83	5	17
Mata berair	24	80	6	20
Mata kering dan teriritasi	25	83	5	17
Mata melihat kabur	27	90	13	10
Nyeri Kepala	15	50	15	50
Mata Melihat Kembar	10	33	20	67
Kesulitan Menfokuskan Pandangan	3	10	27	90
Nyeri punggung	4	13	26	87
Nyeri Bahu	4	13	26	87

Keluhan CVS pada responden adalah sebagai berikut : mata lelah dan tegang ada 83% sedangkan yang tidak mengalami sebanyak 17 %; mata berair dialami oleh 80% responden sedangkan sebanyak 20 % responden tidak mengalami mata berair; mata kering dan teriritasi sebanyak 83 % sedangkan 17 % tidak mengalami; selanjutnya keluhan mata melihat kabur dialami oleh 90 % responden dan 10 % responden tidak mengalami; Keluhan nyeri kepala 50% mengalami keluhan nyeri kepala sedangkan 50% responden lainnya tidak mengalami keluhan nyeri kepala; mata melihat kembar (*double*) dialami oleh 33% responden sedangkan 67% responden tidak mengalami keluhan tsb; mayoritas responden sebanyak 90% tidak mengalami kesulitan menfokuskan pandangan setelah bekerja sedangkan 10 % responden mengalami keluhan tersebut, untuk keluhan nyeri punggung sebanyak 87% mengalami keluhan nyeri punggung dan 13 % responden tidak mengalami keluhan tersebut, pada keluhan nyeri bahu 87% responden mengalami keluhan tsb dan 13% responden tidak mengalami keluhan tersebut.

Tabel 3. Hasil Analisis Bivariat

	Keluhan CVS				Jumlah		P Value
	Ya		Tidak				
	Σ	%	Σ	%	Σ	%	
Jenis Kelamin							0.04
Perempuan	3	10	1	3,33	4	13,33	
Laki-laki	14	46	12	40	26	86,66	
Total	17	56	13	43,33	30	100	
Usia (tahun)							0,045
≥40	6	20	1	3,33	7	23	
< 40	17	56,6	6	20	23	76	
Total	23	76,6	7	23,3	30	100	
Penggunaan Kaca mata							0,063
Iya	5	16,6	1	3,33	6	20	
Tidak	18	60	6	20	24	80	
Total	23	76,6	7	23,3	30	100	
Lama bekerja dengan komputer (tahun)							

	Keluhan CVS				Jumlah		P Value
	Ya		Tidak				
	Σ	%	Σ	%	Σ	%	
≥4	26	86,6	3	10	29	96	0,703
< 4	1	3,33	0	0	1	4	
Total	27	90	3	10	30	100	
Durasi bekerja dengan komputer (jam)							0,031
≥4	26	86,7	2	6,7	28	93	
< 4	1	3,33	1	3,3	2	7	
Total	27	90	3	10	30	100	
Lama istirahat setelah penggunaan komputer (menit)							0,045
≥10	6	20	12	40	18	60	
< 10	9	30	3	10	12	40	
Total	15	50	15	50	30	100	
Jarak Penglihatan (Cm)							0,024
≥ 50	0	0	2	6,7	2	6	
< 50	25	83,3	3	10	28	94	
Total	25	83,3	5	16,7	30	100	
Posisi Bagian atas monitor terhadap ketinggian horizontal mata							0,03
Lebih tinggi	1	3,33	2	6,7	3	10	
Lebih rendah	25	83,3	2	6,7	27	90	
Total	26	86,6	4	13,4	30	100	
Jenis Komputer							0,6
Layar datar	6	20	22	73,3	28	93	
Layar Cembung	1	3,33	1	3,33	2	7	
Total	7	23,3	23	76,63	30	100	

Hasil Analisa bivariat pada tabel 3 dapat diketahui pp -value = 0,04 ($p < 0,05$) yang berarti terdapat hubungan antara variabel jenis kelamin dengan keluhan CVS. Hasil penelitian ini

didukung oleh penelitian [12] yang mana pada penelitian tersebut menyebutkan jenis kelamin perempuan memiliki resiko 11,7 kali lebih besar untuk mengalami keluhan CVS.

Hasil Penelitian pada variabel usia diketahui nilai p -value = 0,045 ($p < 0,05$) menunjukkan bahwasanya terdapat hubungan antara variabel usia terhadap keluhan CVS. Hal tersebut diperkuat dengan penelitian [13] yang menyatakan bahwa penuaan usia akan mengurani fungsi mata dan meningkatkan resiko CVS.

Pada variabel penggunaan kacamata diperoleh hasil p -value = 0,063 ($p > 0,05$) bahwasanya tidak ada hubungan variabel penggunaan kacamata dengan keluhan CVS. Hal ini dikarenakan berdasarkan hasil analisis hubungan antara penggunaan kacamata dengan keluhan cvs tidak ditemukan perbedaaan yang terlalu signifikan. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan [14] yang mana pada penelitian tersebut diperoleh nilai p -value= 0.057 ($p > 0,05$) yang berarti bahwa tidak ada hubungan antara penggunaan kacamata dengan keluhan CVS.

Hasil Penelitian pada variabel lama bekerja dengan menggunakan komputer diperoleh hasil p -value=0,703 (P value $> 0,05$) yang berarti bahwa tidak ditemukannya hubungan antara variabel lama bekerja dengan menggunakan komputer terhadap keluhan CVS. Hal tersebut diperkuat dengan Penelitian oleh [15] dengan studi kasus di PT. Depoteknik Duta perkasa diperoleh hasil bahwasanya lama bekerja dengan menggunakan computer tidak memiliki hubungann dengan keluhan CVS, Adapun nilai value pada penelitian tersebut yaitu p -value =1,000 ($p > 0,05$).

Hasil penelitian pada variabel lama istirahat setelah penggunaan computer yaitu p -value = 0,045($p < 0,05$). Hal tersebut menunjukan bahwasanya terdapat hubungan antara lama istirahat setelah penggunaan komputer pada operator di unit pracetak terhadap keluhan CVS. Pada tabel 3 dapat diketahui bawasanya lebih sedikit mengalami keluhan CVS responden yang beristirahat diatas 10 menit setelah menggunakan komputer dikarenakan mata telah beristirahat. Hasil tersebut serupa dengan penelitian yang dilakukan oleh [16] yang mana pada penelitann tersebut hasilnya ialah istirahat teratur di antara pekerjaan secara signifikan berhubungan dengan CVS $p=0,049$).

Hasil penelitian pada variabel durasi bekerja dengan komputer diperoleh hasil p -value =0,031 ($p < 0,05$) yang berarti bahwa terdapat hubungan antara variabel durasi bekerja dengan menggunakan komputer terhadap keluhan CVS. Hal tersebut dikarenakan 93% responden menggunakan komputer lebih dari 4 jam dalam sehari hal tersebut menyebabkan resiko lebih besar mengalami keluhan CVS dibandingkan dengan responden dengan durasi paparan komputer kurang dari 4 jam sehari. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh [17]. Pada penelitian tersebut juga di peroleh hasil p -value=0,000 ($p < 0,005$). Pada penelitian tersebut persentase responden yang bekerja lebih atau sama dengan 4 jam dalam sehari menggunakan komputer lebih besar 82,6% mengalami CVS.

Hasil penelitian pada variabel jarak penglihatan menunjukkan nilai p -value=0,024 ($p < 0,05$) yang berarti bahwa terdapat hubungan antara jarak pandang mata terhadap monitor dengan keluhan CVS. Jarak pandang lebih besar atau sama dengan 50 cm menyebabkan keluhan CVS lebih sedikit dibandingkan dengan jarak pandang dibawah 50 cm. Hasil penelitian ini didukung oleh penelitian yang telah dilakukan oleh [12] dengan subjek pelajar di Ajman, arab Saudi diperoleh hasil bahwasanya gejala sakit kepala pada pelajar meningkat ketika pelajat menggunakan komputer dengan jarak kurang dari 50 cm. Adapun hasil uji statistiknya terdapat hubungan antara jarak pandang mata terhadap layer komputer dengan keluhan CVS yakni (p -value=0,03). Adapun jarak pandang yang ideal menurut [5] ialah berada pada jarak 50-72 cm.

Hasil penelitian pada variabel Posisi Bagian atas monitor terhadap ketinggian horizontal mata terhadap keluhan CVS didapatkan p -value=0,03 ($p < 0,05$). Hal tersebut dikarenakan hampir 90 % menggunakan komputer dengan posisi lebih rendah dari pada posisi mata horizontal dikarenakan belum tersedianya workstation pada unit pracetak yang sesuai standar ergonomi.

Sehingga hal ini menyebabkan keluhan CVS seperti mata nyeri leher, punggung, bahu terjadi disebabkan oleh variabel ini.

Selanjutnya hasil penelitian pada variabel jenis komputer diperoleh hasil nilai $p\text{-value}=0,6$ ($p\text{ value} > 0,05$). Hal tersebut menunjukkan bahwa tidak terdapat hubungan antaran tampilan layar monitor dengan keluhan CVS. Penelitian ini didukung oleh penelitian yang dilakukan [18] memperoleh hasil nilai $p\text{-value}=0,384$ yang mana berarti bahwa tidak ada hubungan yang signifikan antara tampilan layar cembung atau datar pada komputer terhadap keluhan CVS.

4. Kesimpulan

Persentasi keluhan CVS pada unit pracetak ialah sebagai berikut mata Lelah dan tegang sebesar 83%, mata berair sebesar 80%, mata kering 83%, mata melihat kabur sebesar 90 %, nyeri kepala 50%, mata melihat kembar 33%, kesulitan menfokuskan pandangan 10 %, nyeri punggung 13%, serta nyeri bahu sebesar 13 %.

Adapun Variabel yang menunjukkan hubungan terhadap keluhan CVS ialah sebagai berikut : variabel jenis kelamin ($p\text{-value}=0,04$), variabel usia ($p\text{-value}=0,045$), variabel penggunaan kacamata ($p\text{-value}=0,0063$), variabel durasi bekerja dengan komputer ($p\text{-value}=0,031$), variabel lama istirahat setelah penggunaan komputer ($p\text{-value}=0,045$), Variabel jarak penglihatan terhadap monitor ($p\text{-value}=0,024$), variabel posisi bagian atas monitor terhadap ketinggian horizontal mata ($p\text{-value}=0,03$). Serta variabel yang tidak berhubungan dengan keluhan CVS seperti lama bekerja dengan menggunakan komputer ($p\text{-value}=0,703$) dan variabel jenis layar komputer ($p\text{-value}=0,6$).

Saran

Bagi operator pracetak disarankan untuk beristirahat setelah melakukan pekerjaan pracetak menggunakan komputer lebih dari 30 menit dengan cara 20-20-20 yaitu setiap setelah melakukan pekerjaan menggunakan komputer selama 20 menit istirahat selama 20 detik dengan menfokuskan penglihatan sejauh 20 kaki atau bisa juga memejamkan mata. Adapun saran pada penelitian selanjutnya ialah dengan melakukan penelitian terkait CVS dengan eksperiment, mengukur lingkungan kerja fisik di ruangan unit pracetak seperti pencahayaan dan sejenisnya.

Ucapan Terima kasih

Terima kasih penulis ucapkan kepada program studi Teknologi Rekayasa Cetak dan Grafis 3 Dimensi Politeknik Negeri Jakarta yang telah memberikan dukungan penuh kepada penulis dalam melakukan publikasi penelitian di Seminar Nasional Teknik Elektro 2023.

Referensi

- [1] Setiawan, wawan, "Era Digital dan tantangannya," *Semin. Nas. Pendidik. 2017*, 2017, [Online]. Available: <https://core.ac.uk/reader/87779963>
- [2] J. SinghDilawari and R. Khanna, "An Implementation of Computer Graphics as Prepress Image Enhancement Process," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 53, no. 2, pp. 25–28, Sep. 2012, doi: 10.5120/8394-2021.
- [3] H. Kipphan, Ed., *Handbook of print media: technologies and production methods*. Berlin Heidelberg: Springer, 2001.
- [4] M. Sugarindra and Z. Allamsyah, "IDENTIFIKASI INTERAKSI MANUSIA DAN KOMPUTER BERBASIS COMPUTER VISION SYNDROME PADA UNIT REFINERY CENTRAL CONTROL ROOM," *Teknoin*, vol. 23, no. 1, Jan. 2017, doi: 10.20885/teknoin.vol23.iss1.art8.

- [5] AOA, “American Optometric Association. 2019. Computer vision syndrome. Available from: <https://www.aoa.org/healthy-eyes/eye-and-vision-conditions/computer-visionsyndrome?sso=y> [cited 18 May 2020].,” 2019, [Online]. Available: <https://www.aoa.org/healthy-eyes/eye-and-vision-conditions/computer-visionsyndrome?sso=y>
- [6] N. Bustamam, Pritha Maya Savitri, and Heri Wibisono, “Cegah Computer Vision Syndrome Selama Pembelajaran Daring Pada Mahasiswa Kedokteran,” *BERNAS J. Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 2, no. 4, pp. 813–818, Nov. 2021, doi: 10.31949/jb.v2i4.1282.
- [7] R. Amelia Septiyanti, A. Fathimah, and A. Asnifatima, “FAKTOR-FAKTOR YANG BERHUBUNGAN DENGAN KEJADIAN COMPUTER VISION SYNDROME PADA PEKERJA PENGGUNA KOMPUTER DI UNIVERSITAS IBN KHALDUN BOGOR TAHUN 2020,” *PROMOTOR*, vol. 5, no. 1, pp. 32–50, Dec. 2021, doi: 10.32832/pro.v5i1.6127.
- [8] A. Marya, A. Venugopal, M. I. Karobari, and A. Heboyan, “Computer Vision Syndrome: Will the Pandemic Lead to Eye Problems for Dentists?,” *Pesqui. Bras. Em Odontopediatria E Clínica Integrada*, vol. 22, p. e210156, 2022, doi: 10.1590/pboci.2022.009.
- [9] Alexander Dabrowiecki, Alexander Villalobos, Elizabeth A. Krupinski, “Impact of blue light filtering glasses on computer vision syndrome in radiology residents: a pilot study,” *Ournal Med. Imaging Vol 7 Issue 2*, vol. 7, no. 2, 2019, doi: <https://doi.org/10.1117/1.JMI.7.2.022402>.
- [10] Dean J. Dotulong,1 Laya M. Rares,2 Imelda H.M. Najoan2, “Computer Vision Syndrome,” *EISSN 2337-5949*, 2019, [Online]. Available: <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/eclinic>
- [11] Tarwaka, *Ergonomi Industri : Dasar-Dasar Pengetahuan Ergonomi dan Aplikasi di Tempat Kerja, Surakarta*. 2010. [Online]. Available: <https://ftp.idu.ac.id/wp-content/uploads/ebook/ip/BUKU%20ERGONOMI/Buku-Ergonomi.pdf>
- [12] A. A. Altalhi, W. Khayyat, O. Khojah, M. Alsalmi, and H. Almarzouki, “Computer Vision Syndrome Among Health Sciences Students in Saudi Arabia: Prevalence and Risk Factors,” *Cureus*, Feb. 2020, doi: 10.7759/cureus.7060.
- [13] B. H. Derrickson and G. J. Tortora, *Tortora’s Principles of anatomy & physiology*, [15th ed.]. Danvers MA: Wiley, 2017.
- [14] A. I. Ariyanto, H. Koesyanto, and D. M. Rani, “Keluhan Computer Vision Syndrome pada Operator Komputer Subbagian Administrasi Umum di Instansi X,” *PubHealth J. Kesehat. Masy.*, vol. 1, no. 3, pp. 178–192, Dec. 2022, doi: 10.56211/pubhealth.v1i3.200.
- [15] M. B. I. Maeda, A. M. Fitri, and R. Amalia, “FAKTOR-FAKTOR YANG BERHUBUNGAN DENGAN COMPUTER VISION SYNDROME (CVS) PADA KARYAWAN PT. DEPOTEKNIK DUTA PERKASA TAHUN 2020”.
- [16] M. G. Lemma, K. G. Beyene, and M. A. Tiruneh, “Computer Vision Syndrome and Associated Factors Among Secretaries Working in Ministry Offices in Addis Ababa, Ethiopia,” *Clin. Optom.*, vol. Volume 12, pp. 213–222, Dec. 2020, doi: 10.2147/OPTO.S284934.
- [17] Arum Dian Pratiwi1*, Aulya Safitri2 and , Junaid, Lisnawaty3, “FAKTOR YANG BERHUBUNGAN DENGAN KEJADIAN COMPUTER VISION SYNDROME (CVS) PADA PEGAWAI PT. MEDIA KITA SEJAHTERA KENDARI,” *J. Kesehat. Masy.*, vol. 7, pp. 41–47, 2020.

- [18] S. Sunyanti, "KELUHAN KELELAHAN MATA PADA PEKERJA PENGGUNA KOMPUTER DI PERUSAHAAN TRAVEL DI KOLAKA RAYA," *IDENTIFIKASI J. Ilm. Keselam. Kesehat. Kerja Dan Lindungan Lingkung.*, vol. 5, no. 2, pp. 168–177, Dec. 2019, doi: 10.36277/identifikasi.v5i2.99

Analisa Posisi Sensor TDS Pada Sistem Kendali Air dan Nutrisi AB MIX

TDS Sensor Position Analysis In AB MIX Water And Nutrition Control Systems

Madrofi^{1*}, Putra Wisnu Agung Sucipto², Abdul Hafid Paronda³

^{1,2,3} Universitas Islam 45 Bekasi

madrofiii02@gmail.com^{1*}, wisnu@unismabekasi.ac.id², hafid_paronda@unismabekasi.ac.id³

Abstrak – Hidroponik beberapa tahun ini menjadi salah satu metode pertanian yang semakin populer. Melon hidroponik memerlukan nutrisi yaitu nutrisi AB mix yang terdiri dari dua larutan nutrisi dasar yang disebut "Larutan A" dan "Larutan B". Nutrisi ini dikenal dengan AB mix, konsentrasi larutan AB mix yang digunakan sebagai Setpoint adalah PPM 800. Sistem kendali air dan nutrisi memiliki keunggulan mengontrol variabel-variabel penting seperti kepekatan nutrisi dan volume air. PID pertama mengontrol volume air dalam sistem, sementara PID kedua mengontrol kepekatan nutrisi AB mix. PID pertama bertanggung jawab untuk memantau dan mengatur volume air. Tujuannya menjaga volume air yang diinginkan, sehingga tanaman menerima pasokan air yang cukup. PID kedua, di sisi lain, memantau dan mengatur kepekatan nutrisi AB mix dalam larutan. Hasil respon sistem yang dikontrol menggunakan kontrol PID kepekatan nutrisi dengan Output PPM 862, Rise Time 19 detik, Settling time 92 detik, Peak time 74 detik, dan Error Steady state 2,38%.

Kata Kunci: AB MIX, PID, Air, Nutrisi.

Abstract – In recent years, hydroponics has become an increasingly popular agricultural method. Hydroponic melons require nutrition, namely AB mix nutrition which consists of two basic nutrient solutions called "Solution A" and "Solution B". This nutrient is known as AB mix, the concentration of the AB mix solution used as the Setpoint is PPM 800. Water control system and nutrition has the advantage of controlling important variables such as nutrient concentration and water volume. The first PID controls the water volume in the system, while the second PID controls the nutrient concentration of the AB mix. The first PID is responsible for monitoring and regulating the water volume. The goal is to maintain the desired water volume, so that the plants receive an adequate water supply. The second PID, on the other hand, monitors and regulates the nutrient concentration of AB mix in the solution. The results of the system response are controlled using PID control of nutrient concentration with Output PPM 862, Rise Time 19 seconds, Settling time 92 seconds, Peak time 74 seconds, and Steady state error 2.38%.

Keywords: AB MIX, PID, Water, Nutrients.

1. Pendahuluan

Hidroponik pada beberapa tahun ini telah menjadi salah satu metode pertanian yang semakin populer. Cara ini tidak memerlukan penggunaan tanah sebagai media tumbuh tanaman dan mengandalkan larutan nutrisi untuk menyuburkan tanaman[1][2]. Nutrisi AB mix, yang terdiri dari dua larutan nutrisi dasar yang disebut "Larutan A" dan "Larutan B", telah terbukti efektif dalam memberikan nutrisi yang cukup untuk tanaman hidroponik[3].

Sekarang ini sangat mudah diperoleh formulasi instan nutrisi hidroponik di pasaran yang dikenal dengan AB mix. Konsentrasi larutan AB mix yang tepat pada melon hidroponik adalah 1800 ppm[4]. Namun, untuk memaksimalkan pertumbuhan dan hasil tanaman, penting untuk



menjaga keseimbangan nutrisi yang benar selama siklus hidroponik. Ini termasuk pemantauan dan penyesuaian rasio nutrisi campuran AB berdasarkan kebutuhan tanaman pada setiap tahap pertumbuhan[4]. Dalam hal ini, penggunaan sistem kendali dapat membantu dalam proses pencampuran volume air dan nutrisi AB *mix* untuk mendapatkan nilai ppm yang terukur.

Sistem kendali air dan nutrisi memiliki keunggulan dalam mengontrol variabel-variabel penting seperti kepekatan nutrisi dan volume air[5][6]. Dalam sistem kendali yang diusulkan, pengendalian dilakukan oleh dua PID yang berbeda. PID pertama mengontrol volume air dalam sistem, sementara PID kedua mengontrol kepekatan nutrisi AB *mix*.

PID pertama bertanggung jawab untuk memantau dan mengatur volume air dalam sistem hidroponik. Melalui umpan balik dari sensor *flow* meter, PID pertama akan menghasilkan sinyal kontrol yang mempengaruhi aliran air masuk atau keluar dari sistem[7][8]. Tujuannya adalah untuk menjaga volume air dalam rentang yang diinginkan, sehingga tanaman menerima pasokan air yang cukup.

PID kedua, di sisi lain, memantau dan mengatur kepekatan nutrisi AB *mix* dalam larutan. Umpan balik dari sensor kepekatan nutrisi digunakan oleh PID kedua untuk menghasilkan sinyal kontrol yang mengatur jumlah nutrisi yang ditambahkan ke wadah penampung berisi air[9][10]. Hal ini memastikan bahwa nutrisi yang diberikan kepada tanaman berada dalam tingkat yang sesuai dan stabil.

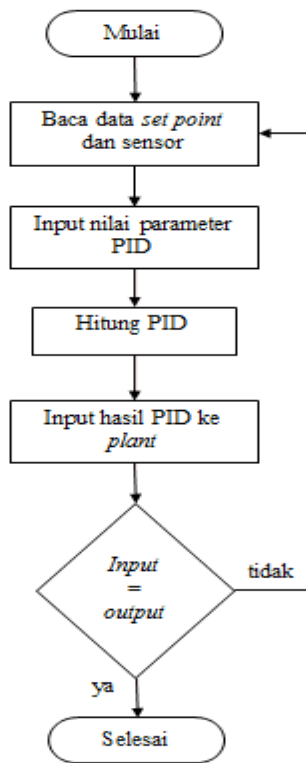
Berdasarkan permasalahan terkait pencampuran nutrisi AB *mix* dan solusi dari peneliti atas masalah yang ada, maka penulis melakukan penelitian dengan judul “**Analisa Posisi Sensor TDS Pada Sistem Kendali Air Dan Nutrisi AB Mix**”. Dengan menggunakan metode PID dalam sistem kendali, di mana PID pertama mengontrol volume air dan PID kedua mengontrol kepekatan nutrisi AB *mix* tanpa adukan, dalam melakukan upaya penelitian ini penulis membuat beberapa percobaan pada penempatan sensor TDS untuk mendapatkan posisi terbaik pada sensor TDS guna mendapatkan hasil yang optimal dan juga meningkatkan kualitas dan hasil panen, serta mengurangi konsumsi nutrisi yang berlebih pada melon hidroponik.

2. Metode Penelitian

2.1. Perancangan Perangkat Lunak

Sistem Kendali

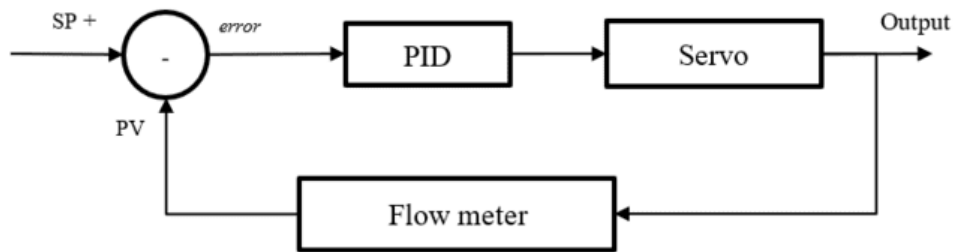
Perancangan sistem kendali dibuat dalam bentuk diagram alir. Hal digunakan untuk memudahkan proses pembuatan kode program dan analisa kesalahan. Pada perancangan sistem kendali dalam bentuk diagram alir ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 36. Diagram Alir Sistem Kendali

Gambar 1 merupakan diagram alir sistem kendali yang dimulai dengan baca data *Set point* dan sensor yaitu dengan membaca nilai yang ada divariabel *Set point* dan data hasil pembacaan sensor. Nilai *Set point* sebelumnya harus dideklarasikan terlebih dahulu dengan acuan tertentu, *Set point* yang digunakan 3400 ml air untuk volume air dan PPM 800 untuk nutrisi, yang diperoleh dengan menyesuaikan untuk kebutuhan tanaman melon hidroponik berusia 2 minggu. Lalu input nilai parameter PID dengan memasukkan nilai K_p , K_i , K_d . Setelah mendapatkan hasil nilai dari perhitungan sebelumnya, dilakukan dengan menghitung nilai PID. Setelah mendapatkan nilai PID dilanjutkan dengan input hasil PID ke *plant*, jika respon sistem nilai $Output = Input$ maka berhasil, dan jika nilai respon sistem $Output$ tidak = $Input$ diulangi dengan baca data *Set point* dan sensor kembali sampai mendapatkan respon sistem nilai $Output = Input$ berhasil.

Sistem yang dirancang mampu mengontrol volume dan tingkat kepekatan nutrisi secara bersamaan. Penggabungan sistem dilakukan dengan menelaah dan meneliti bagian mana saja dari satu sistem yang akan mempengaruhi sistem lainnya. Pada objek penelitian volume air akan mempengaruhi tingkat kepekatan nutrisi. Semakin banyak air maka tingkat kepekatan akan menurun dan sebaliknya. Dalam hal ini artinya bila ingin menurunkan tingkat kepekatan maka perlu ditambahkan air. Untuk menambahkan kepekatan maka perlu ditambahkan biang nutrisi. Kesimpulan dari 2 persyaratan tersebut dipengaruhi oleh output PID, karena output PID yang memberi sinyal plant untuk melakukan tindakan. Blok diagram sistem kontrol variabel volume air ditunjukkan pada gambar 2. Nilai output PID adalah sinyal PWM untuk mengatur sudut bukaan servo.

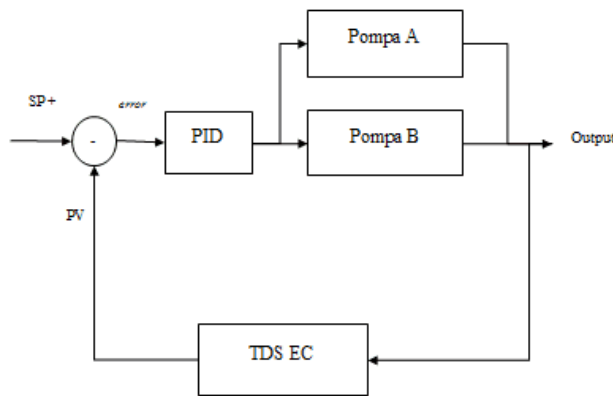


Gambar 37. Blok Diagram Kontrol Variabel Volume

Gambar 2 blok diagram kontrol variabel volume, nilai *Set point* yang telah ditentukan dikurangi dengan nilai bacaan sensor *Flow meter* maka dihasilkan nilai *error*. Kemudian nilai *error* dimasukkan kedalam perhitungan PID yang akan menghasilkan *Output* PID, nilai ini dijadikan sinyal PWM untuk mengatur bukaan servo. Air yang mengalir melalui *Flow meter* akan dibaca jumlah volumenya yang kemudian menjadi sinyal *Feedback*. Semakin besar nilai output PID maka semakin besar sudut bukaan servo dan air akan mengalir semakin cepat, begitupun sebaliknya. Nilai volume yang dihasilkan sistem akan dibaca oleh sensor *Flow meter*.

Blok diagram sistem kendali untuk kontrol variabel kepekatan nutrisi ditunjukkan blok diagram metode kontrol yang digunakan adalah PID kontrol, sama halnya dengan sistem kendali untuk kontrol volume air. Perbedaan terdapat pada *plant* yang digunakan.

Sistem kontrol variabel kepekatan nutrisi hampir sama dengan kendali volume air, karena metode kontrol yang digunakan adalah PID kontrol pula. Terlihat pada gambar 3 yang menunjukkan blok diagram kontrol variabel kepekatan nutrisi, terdapat bagan PID yang kemudian diteruskan ke motor dan pompa.

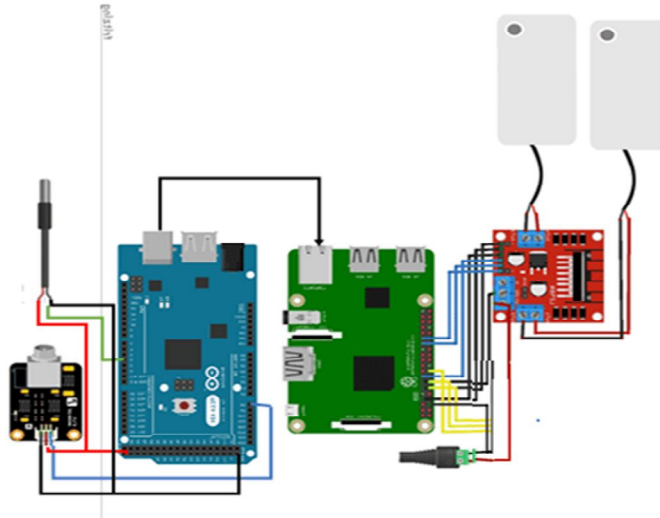


Gambar 37. Blok Diagram Kontrol Variabel Kepekatan Nutrisi

Gambar 2 blok diagram kontrol variabel kepekatan nutrisi, nilai *Set point* yang telah ditentukan dikurangi dengan nilai bacaan sensor TDS maka dihasilkan nilai *error*. Kemudian nilai *error* dimasukkan kedalam perhitungan PID yang akan menghasilkan *Output* PID, nilai ini dijadikan sinyal PWM untuk mengatur PWM pompa A dan pompa B, dimana dua pompa ini yang akan menginjeksi larutan A dan B. Proses ini menghasilkan nilai kepekatan larutan nutrisi yang kemudian dibaca oleh sensor TDS. Nilai yang didapat kemudian menjadi sinyal *Feedback*.

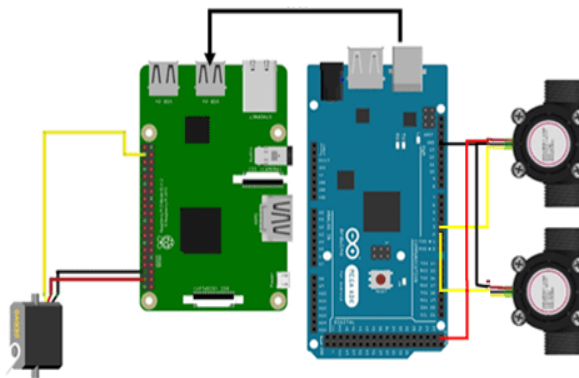
2.2. Perancangan Rangkaian Elektrik

Perancangan rangkaian elektrik adalah merancang alat untuk mengaplikasikan dan menguji sistem kendali yang dibuat. Pada perancangan sistem kendali terdapat 2 buah sistem kontrol yaitu kontrol variabel volume air dan kontrol variabel kepekatan nutrisi. Maka diperlukan sistem elektronika untuk uji sistem kontrol volume serta tingkat kepekatan nutrisi. Gambar 4 merupakan skema rangkaian elektronika sistem kontrol variabel volume air.



Gambar 38. Skema Rangkaian Elektronika Sistem Kendali Variabel Volume Nutrisi

Sinyal PWM yang diberikan raspberry PI bernilai 0 sampai 100. Sensor yang digunakan pada kontrol tingkat kepekatan nutrisi adalah TDS EC. Sensor ini mampu membaca nilai kepekatan nutrisi 0 sampai 1000 ppm. Pembacaan nilai sensor diproses oleh arduino mega 2560. Nilai sensor yang telah diproses arduino mega 2560 kemudian dikirimkan ke raspberry PI untuk selanjutnya dikalkulasi pada PID kontrol. Hasil kalkulasi PID akan menjadi sinyal PWM untuk mengatur aliran nutrisi yang dialirkan. Selain itu, sensor suhu DS18B21 dipergunakan untuk mendapatkan nilai bacaan sensor TDS EC yang lebih akurat. Pasalnya suhu air berpengaruh terhadap tingkat kepekatan larutan nutrisi. Rangkaian elektronika kontrol variable volume air dan nutrisi ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 39. Rangkaian Elektronika Kontrol Variabel Volume Air

Gambar 5 rangkaian elektronika kontrol variabel volume air. Pembacaan sensor flow meter diproses oleh Arduino mega 2560. Terdapat 2 buah *Flow meter*, yang pertama untuk volume *Input* dan yang kedua untuk volume *Output*. Servo dikendalikan oleh raspberry PI, dan nilai dari sensor akan dikirim oleh arduino melalui kabel USB. Nilai bacaan sensor yang diterima raspberry dari Arduino mega 2560 akan diproses dan dijadikan salah satu variabel kalkulasi PID kontrol. Servo terhubung ke pin GPIO 20 raspberry PI. Output data *flow* meter terhubung ke pin 2 dan 3 arduino mega 2560. Output data *flow* meter terhubung ke pin 2 dan 3 arduino mega 2560. Flow meter bertugas untuk mengukur aliran air. Semakin besar selisih antara *set point* dan nilai bacaan sensor maka semakin besar nilai output PID yang dihasilkan. Semakin besar nilai output PID maka semakin besar sudut bukaan servo dan air akan mengalir semakin cepat, begitupun sebaliknya. Nilai volume yang dihasilkan sistem akan dibaca oleh sensor *Flow* meter.

3. Hasil dan Pembahasan



Gambar 40. Alat Pencampuran Nutrisi AB Mix

Objek penelitian yaitu larutan nutrisi dicampurkan dalam wadah penampung yang digunakan sebagai tempat pencampuran air dan biang nutrisi dilarutkan bersama dengan tanpa adukan dan diendapkan dalam 1 jam. Hasil perakitan alat dapat dilihat pada Gambar 6. Kapasitas tempat pencampurannya adalah 80 liter.

Untuk jalur pengisian air berasal dari sumber *external*, yaitu berasal dari air torn/tower air bertangki dan lain sebagainya. Jalur pengisian air dilengkapi dengan flow meter sebagai sensor aliran dan volume airnya. Tersedia juga yang bertugas membuka dan menutup laju air ke wadah pencampuran adalah keran berservo.

Nutrisi A dan B disimpan dalam wadah *internal* berkapasitas 10 liter, terdapat 2 buah wadah biang nutrisi yaitu untuk biang A dan B. Biang nutrisi dipompa oleh pompa DC 12 volt pada masing-masing biang. Pada saat larutan nutrisi A dan B tercampur dengan air diwadah lalu diendapkan selama 1 jam agar larutan tercampur sempurna. Setelah itu kepekatan campuran nutrisi dan air diukur dengan sensor TDS EC dengan beberapa pengujian pada posisi sensor untuk menentukan posisi terbaik sensor TDS dalam mendeteksi kepekatan campuran nutrisi.

Pengujian sistem dilakukan guna mengetahui respon sistem yang dibuat. Dalam hal ini berarti untuk mengetahui hasil keluaran sistem setelah diberi masukan. Pengujian sistem kendali terdapat beberapa bagian, yaitu pengujian sistem kontrol variabel volume air, sistem kontrol variabel kepekatan nutrisi dengan cara menempatkan sensor TDS di beberapa posisi guna mengetahui titik terbaik untuk mendeteksi kepekatan nutrisi di wadah.

3.1. Penentuan Konstanta PID Berdasarkan Variabel Volume Air

Pengujian kendali volume air berarti menentukan nilai parameter PID yang tepat untuk pengendalinya. Tahap menentukan nilai parameter PID yang pertama dilakukan penulis adalah hanya menggunakan kontroler P saja, yang dimana kontroler P ini digunakan untuk penguat atau pengali nilai error guna mempercepat respon sistem mencapai nilai masukan yang diberikan. Pada pengujian variable air, dilakukan dengan menambahkan sistem untuk kebutuhan media tanam melon hidroponik 2 minggu yaitu 170 ml, dan tanaman yang digunakan berjumlah 20 dengan ukuran diameter masing-masing tanaman 30cm. Tabel 1 menunjukkan hasil keluaran sistem yang diberikan kontroler P dengan variasi nilai 1 sampai 1,8. Nilai awal sensor yang terbaca semua berawal dari 0. Pengujian tingkat volume menggunakan gelas ukur dengan kapasitas 5000 ml, maka dari itu pengujian menetapkan nilai *set point* 3400 ml guna air tidak melebihi gelas ukur bila terjadi *overshoot* berlebihan.

Tabel 2 Data Respon Sistem Variasi Nilai Kp

No	Nilai Kp	Set Point	Hasil
1	1	3400	3407
2	1,1	3400	3404
3	1,2	3400	3417
4	1,4	3400	3426
5	1,8	3400	3589

Pada tabel 1 dapat ditentukan nilai nilai parameter Kp yang paling mendekati *set point* adalah 1. Hasil sistem diambil yang mendekati, karena pada sistem riil tidak terdapat *plant* untuk mengurangi nilainya, melainkan sistem akan terus bertambah nilai keluarannya, maka dari itu nilai keluaran yang mendekati masukan yang menjadi acuan nilai tetap kontroler. Hal ini dilakukan guna sistem tidak menghasilkan *overshoot* yang berlebih. Untuk menaikan keluaran sistem agar sama dengan *set point* maka kontroler I ditambahkan. Tabel 2 menunjukkan hasil respon sistem yang telah diberi kontroler P dan I, dengan nilai Kp = 1 dan variasi Ki antara 0,000001 sampai 0,1.

Tabel 3 Data Pengujian Dengan Kp = 1 dan Variasi Ki

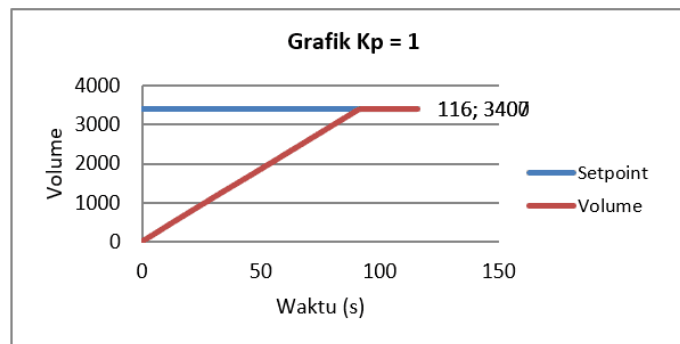
No	Nilai Ki	Set Point	Hasil
1	0,1	3400	4960
2	0,01	3400	4119
3	0,001	3400	3500
4	0,0001	3400	3421
5	0,00001	3400	3415
6	0,000001	3400	3400

Dengan nilai Kp = 1 dan Ki = 0,000001 pada *set point* 3400 sistem mampu menghasilkan keluaran 3400. Nilai keluaran sistem mampu sama dengan *set point*, maka kontroler D ditambahkan. Kontroler D ditambahkan guna sistem mampu mencapai nilai keluaran sistem yang sama dengan *set point*. Tabel 4.3 menunjukkan hasil keluaran sistem setelah kontroler D ditambahkan, dengan Kp = 1, Ki = 0,000001 dan variasi nilai konstanta D dari 1 sampai 0,00001.

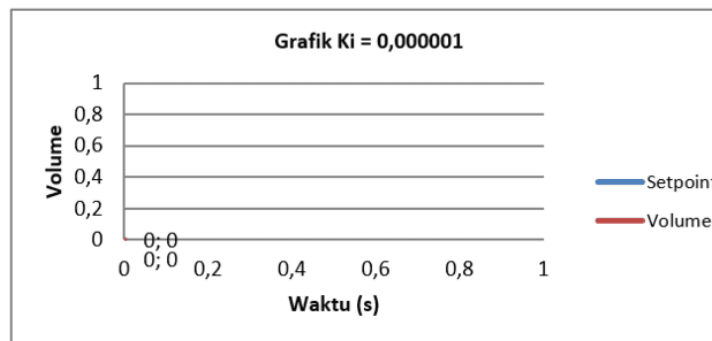
Tabel 4 Data Pengujian dengan $K_p = 1$ $K_i = 0,000001$ dan Variasi K_d

No	Nilai K_d	Set Point	Hasil
1	1	3400	3599
2	0,1	3400	3434,05
3	0,01	3400	3406
4	0,001	3400	3404
5	0,00001	3400	3401

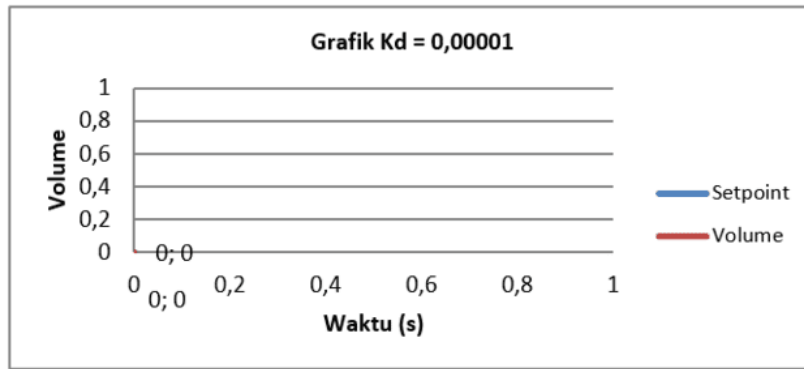
Pada tabel 3 nilai konstanta D yang paling mendekati dengan *setpoint* adalah 0,00001. Hasil sistem diambil yang mendekati, karena pada sistem sesungguhnya tidak terdapat *plant* untuk mengurangi nilainya, melainkan sistem akan terus bertambah nilai keluarannya, maka dari itu nilai keluaran yang mendekati masukan yang menjadi acuan nilai tetap kontroler. Hal ini dilakukan guna sistem tidak menghasilkan overshoot yang berlebih. Oleh karena itu parameter PID semua nilai konstanta yang dibutuhkan telah diperoleh, dengan $K_p = 1$, $K_i = 0,000001$, dan $K_d = 0,00001$ yang diuji pada *set point* = 3400 mampu menghasilkan keluaran 3401 yang paling mendekati dengan *set point*. Pengujian selanjutnya dilakukan pada wadah penampung air lebih besar yang ditunjukkan gambar 6. Tahap menguji kontroler PID yang telah didapat nilai konstantanya dengan *set point* yang bervariasi. Hal ini dilakukan untuk mengetahui respon sistem pada berbagai *set point*. Gambar 7, 8, 9 menunjukkan grafik respon sistem pada *Set point* 3400.



Gambar 42. Grafik Respon Sistem Dengan Nilai $K_p = 1$



Gambar 43. Grafik Respon Sistem dengan nilai $K_i = 0,000001$



Gambar 44. Grafik respon sistem dengan nilai $K_d = 0,00001$

Pada gambar 7 sistem dengan nilai $K_p = 1$ menghasilkan *Overshoot* dan *Rise Time* yang lama, maka dari itu kontroler I digunakan. Gambar 8 menunjukkan respon sistem setelah ditambahkan controller I dengan nilai konstanta 0,000001. Pada gambar 8 sistem dengan nilai $K_p = 1$ dan $K_i = 0,000001$ masih menghasilkan *Rise Time* yang lama, maka dari itu kontroler D digunakan. Gambar 9 menunjukkan respon sistem setelah ditambahkan controller D dengan nilai konstanta 0,00001. Pengujian selanjutnya sistem diberi masukan atau *set point* 3400. Sistem dengan nilai $K_p = 1$, $K_i = 0,000001$, dan $K_d = 0,00001$ menghasilkan respon sistem yang mampu mencapai setpoint dengan *Rise Time* 89 detik dan *settling time* 91 detik, maka dari itu nilai $K_p = 1$, $K_i = 0,000001$, dan $K_d = 0,00001$ dijadikan nilai konstanta tetap. Secara keseluruhan hasil pengujian kendali volume air dengan konstanta yang ditetapkan tersaji pada tabel 4.

Tabel 5 Pengujian kendali volume air dengan $K_p = 1,2$ $K_i = 0,0001$ $K_d = 0,0008$ dan setpoint 3400

No	Output	Selisih	Error
1	3412	12	0.4%
2	3399	1	0.0%
3	3405	5	0.1%
4	3405	5	0.1%
5	3411	11	0.3%

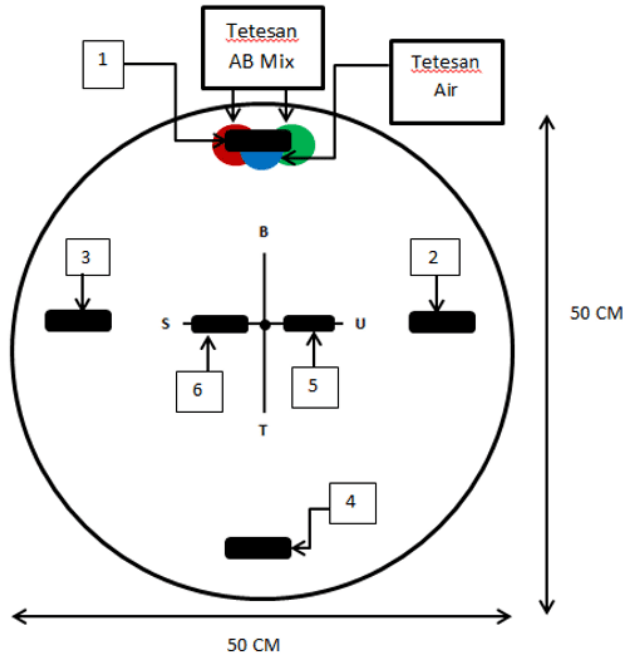
3.2. Variabel Kepekatan Nutrisi

Pengujian sistem kendali tingkat kepekatan bertujuan untuk menghasilkan nilai konstanta PID yang tepat. Pengujian dilakukan dalam 3 tahapan, yaitu menentukan nilai konstanta P, menentukan nilai konstanta I dan yang terakhir menentukan nilai konstanta D. Kepekatan nutrisi yang dijadikan sebagai *Setpoint* PPM 800, karena melon yang digunakan sebagai pengujian adalah media tanam hidroponik berusia 2 minggu. Penentuan nilai konstanta PID dilakukan secara manual, artinya dengan memperkirakan nilai pertama lalu ditambahkan atau dikurangkan sampai didapatkan nilai konstanta yang menghasilkan respon sistem sesuai *step* yang diberikan.

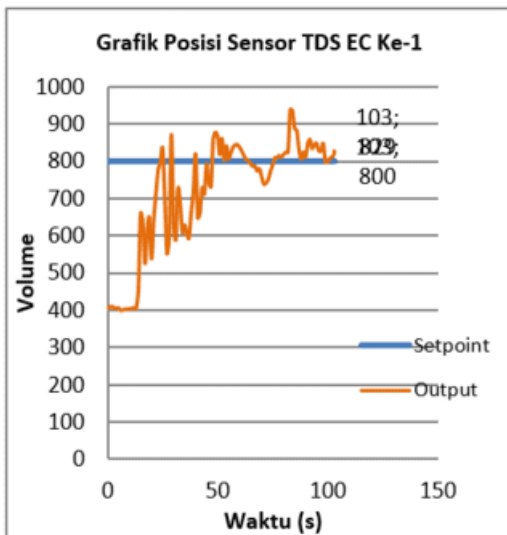
3.3. Analisis Posisi Sensor TDS Tanpa Kontroler PID

Alat yang dibuat dalam penelitian ini melakukan pencampuran air dan nutrisi tanpa perlakuan adukan, sehingga perlu menemukan posisi terbaik sensor TDS EC. Penentuan posisi dilakukan dalam beberapa posisi dan beberapa kali ujicoba, dengan waktu hasil endapan nutrisi yang tercampur ditunggu selama 1 jam. Pengujian tersebut berguna untuk menentukan satu posisi terbaik dan akan disimpulkan nilai kestabilan ppm pada nutrisi AB *mix*.

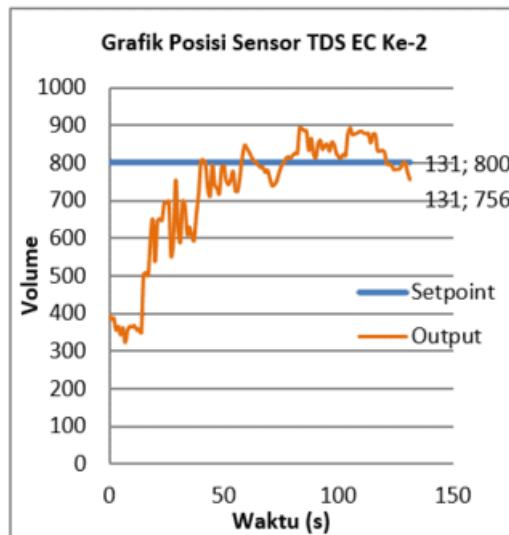
Pengujian pada sensor TDS dilakukan dengan 6 kali percobaan dengan posisi sensor TDS yang diletakan berbeda-beda posisi di dalam wadah pencampuran air dan nutrisi AB mix. *Set point* yang digunakan sebagai acuan adalah PPM 800. Gambar 10 menunjukkan posisi sensor tds pada wadah dan Gambar 11, 12, 13, 14, 15, 16 menunjukkan hasil grafik respon sistem.



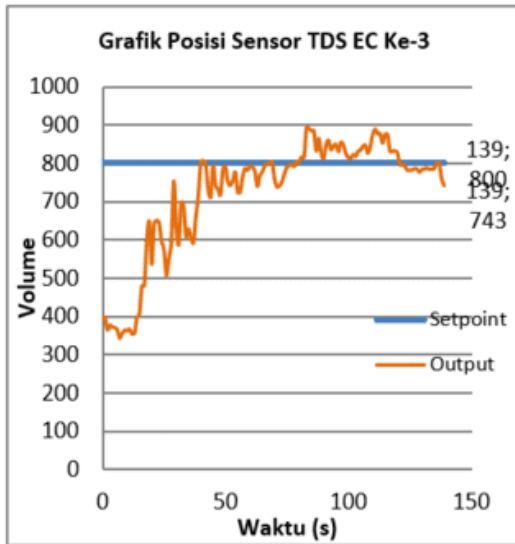
Gambar 45. Posisi Sensor TDS Pada Wadah



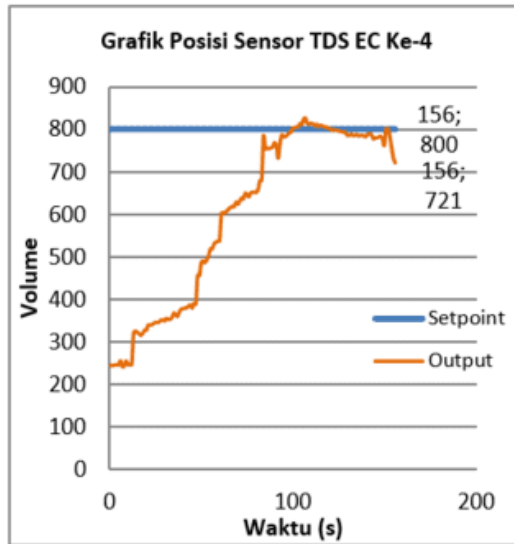
Gambar 11. Grafik Respon Sistem Posisi ke-1



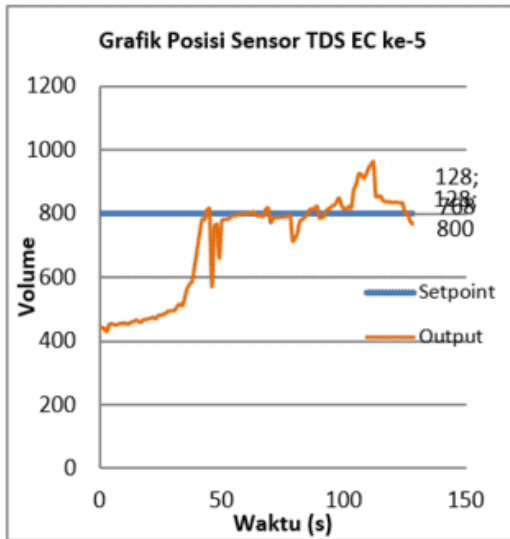
Gambar 12. Grafik Respon Sistem Posisi ke-2



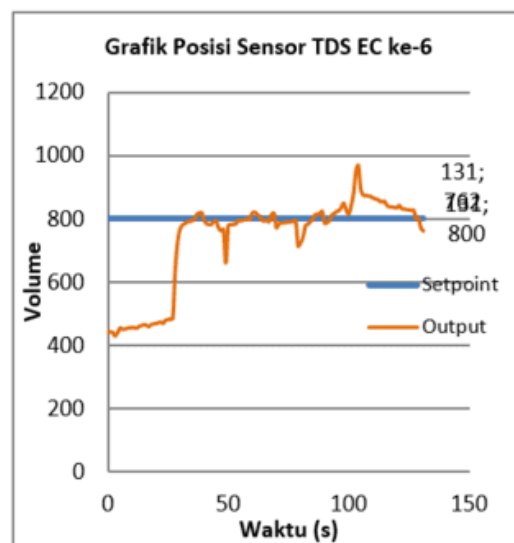
Gambar 13. Grafik Respon Sistem Posisi ke-3



Gambar 14. Grafik Respon Sistem Posisi ke-4



Gambar 15. Grafik Respon Sistem Posisi ke-5



Gambar 16. Grafik Respon Sistem Posisi ke-6

Selain ditinjau dari hasil pencapaian PPM, analisa penentuan posisi terbaik juga ditentukan berdasarkan nilai yang lain yaitu *Rise Time*, *Settling time*, *Peak time*, dan *Output*. Hasil pengujian nilai-nilai tersebut telah dirangkum dalam Tabel 5.

Tabel 6 Hasil Pengujian Posisi Sensor TDS EC

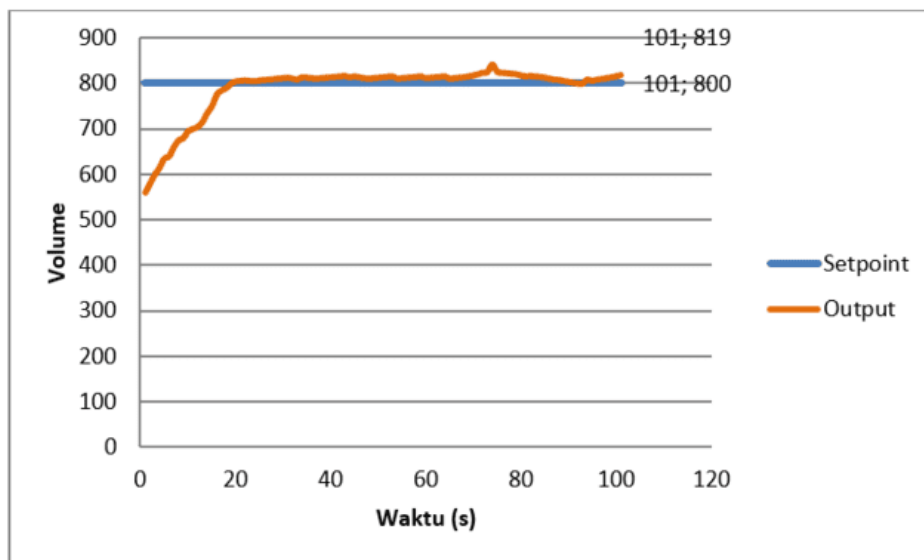
No	Posisi	Rise time	Settling time	Peak time	Output
1	1	25 detik	100 detik	83 detik	829
2	2	58 detik	128 detik	106 detik	756
3	3	79 detik	136 detik	111 detik	743
4	4	100 detik	151 detik	107 detik	721
5	5	44 detik	125 detik	112 detik	768
6	6	37 detik	121 detik	104 detik	762

Hasil pengujian posisi ke-1 terdapat *Output* PPM 829, *Rise Time* 25 detik, *Setling time* 100 detik, *Peak time* 83 detik, dan *error steady state* 4% terhadap *Setpoint* PPM 800 yang digunakan sebagai acuan. Hasil tersebut mencukupi karena mampu mencapai *Setpoint* yang diinginkan, dan *Rise Time*, *Settling time*, *Peak time* yang lebih cepat dari beberapa posisi dalam pengujian yang lain.

Namun respon sistem tersebut masih dianggap terlalu jauh dari *Setpoint*, karena dalam pengujian tersebut tidak menggunakan kontrol PID. Sedangkan yang untuk mendapatkan hasil yang lebih baik perlu digunakan kontrol PID untuk memperkecil *Output* agar lebih mendekati *Setpoint*, dan juga memperkecil *Rise Time*, *Settling time*, dan *Peak time* supaya mendapatkan hasil respon sistem yang lebih baik.

3.4. Analisis Posisi Sensor TDS Dengan Kontroler PID

Pengujian kontroler PID pada sistem dilakukan dengan menambahkan variasi nilai konstanta P, nilai konstanta I, dan nilai konstanta D. Variabel kepekatan nutrisi yang digunakan $K_p = 2$, $K_i = 0.0001$, $K_d = 0,001$. Variasi nilai konstanta PID dilakukan dalam pengujiannya, karena pada pengujian posisi sensor TDS EC sebelumnya tidak menggunakan kontrol dengan hasil respon sistem *Output*, *Rise Time*, *Settling time*, dan *Peak time* dianggap kurang maksimal. Maka untuk pengujian selanjutnya menggunakan kontrol, Kontrol digunakan untuk mempercepat respon sistem dan untuk mendapatkan hasil yang lebih maksimal. Untuk nilai *Setpoint* tetap menggunakan acuan nilai PPM 800. Pengujian menggunakan kontrol PID dilakukan dan mendapatkan hasil *Output* 819. Gambar 22 menunjukkan grafik respon sistem posisi sensor TDS EC terbaik menggunakan kontrol PID.



Gambar 17. Grafik Respon Sistem Sensor TDS EC Menggunakan Kontrol PID

Respon sistem kepekatan PPM pada sensor TDS EC menggunakan kontrol PID, sistem dengan nilai *Setpoint* PPM 800. Nilai awal respon sistem pada detik ke-1 dimulai dengan nilai PPM 560 dan mampu mencapai hasil *Output* nilai PPM 819, respon sistem mampu mencapai *Rise Time* 19 detik dengan nilai PPM 800, *Settling time* 92 detik dengan nilai PPM 800, dan *Peak time* 74 detik dengan nilai PPM 819. Respon sistem posisi terbaik pada sensor TDS EC menghasilkan grafik yang rill dan respon sistem mampu mencapai hasil yang cukup maksimal dengan *error steady state* 2,38 %.

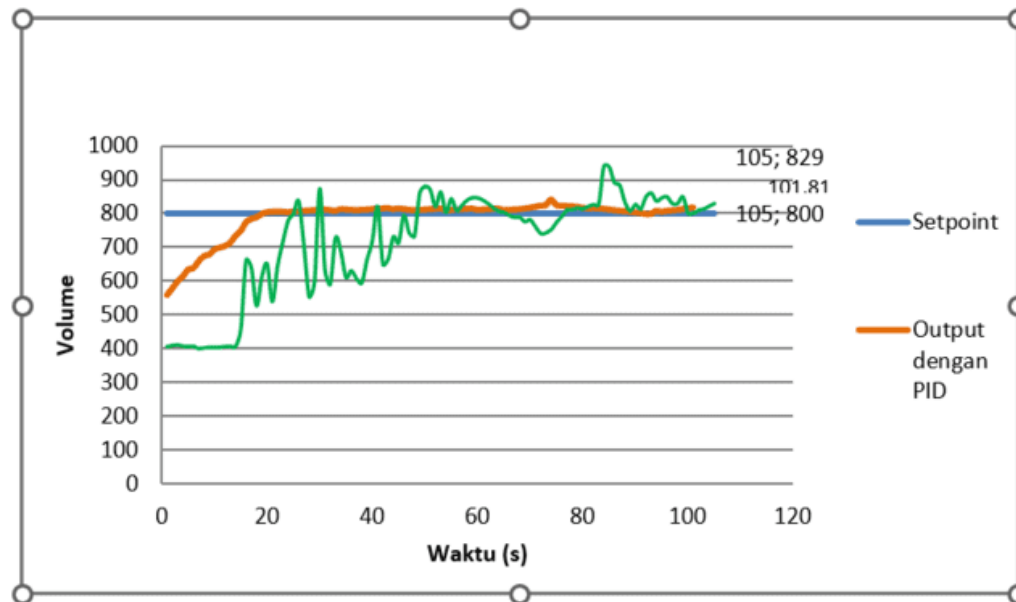
3.5. Analisa Performansi Alat

Dalam upaya mengetahui kelebihan dan kekurangan sistem yang telah dibuat sebagai acuan perbandingan dari penelitian terdahulu maka harus dilakukan perbandingan kontroler. Pada pembahasan perbandingan ini yaitu perbandingan posisi terbaik Sensor TDS EC tanpa kontrol PID dengan posisi terbaik sensor TDS EC menggunakan kontrol PID. Pada perbandingan ini *Setpoint* PPM 800 yang digunakan sebagai acuan, yang dimana tanpa dilengkapi pengaduk. Jumlah volume wadah penampung larutan campuran yang digunakan berkapasitas 80 liter.

Pada hasil pengujian posisi ke-1 sensor TDS EC tanpa menggunakan kontrol PID mengalami hasil respon sistem *Output*, *Rise Time*, *Settling time*, dan *Peak time* dianggap kurang maksimal maka diperlukan kontrol PID untuk mendapatkan hasil yang lebih maksimal. Setelah ditambahkan kontrol PID hasil respon sistem dengan *Setpoint* PPM yang sama hasil *Output*, *Rise Time*, *Settling time*, dan *Peak time* mendapatkan hasil yang cukup baik, yaitu dengan hasil respon sistem *Output* PPM 819, *Rise Time* 19 detik, *Settling time* 92 detik, *Peak time* 74 detik, dengan *error Steady state* 2,38%. Tabel 6 menunjukkan hasil data uji keseluruhan penelitiannya dan gambar 23 menunjukkan grafik perbandingan respon sistem.

Table 6 Perbandingan Posisi Sensor TDS EC Tanpa Kontrol PID Dengan Menggunakan Kontrol PID

NO	Posisi	Rise Time	Settling time	Peak time	Output	Eror
1	Tanpa PID	25 detik	100 detik	83 detik	PPM 829	4%
2	Menggunakan PID	19 detik	92 detik	74 detik	PPM 819	2,38%



Gambar 18. Grafik Perbandingan Posisi Sensor TDS EC Tanpa Kontrol PID Dengan Menggunakan Kontrol PID

4. Kesimpulan

Hasil pengujian kendali volume air didapatkan dengan nilai $K_P = 1$, $K_I = 0,000001$, $K_D = 0,00001$. Mampu membuat sistem kendali volume air dengan eror rata-rata 0,18 %.

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, posisi sensor TDS EC terbaik telah ditemukan yaitu pada posisi ke-1. mampu membuat larutan nutrisi hidroponik dengan tingkat kepekatan sesuai *set point* PPM 800 yang diberikan. Hasil akhir didapat kontrol variabel kepekatan nutrisi dengan nilai *Output* PPM 829, *Rise Time* 25 detik, *Settling time* 100 detik, *Peak time* 83 detik, dan *Error Steady state* 4%.tersebut masih tanpa menggunakan kontrol PID, maka dibuat kontrol menggunakan PID dengan posisi terbaik sensor TDS EC. Sistem kendali ini dibuat dengan sistem yang lebih baik karena menggunakan kontrol PID dengan variable kepekatan nutrisi dengan nilai $K_p = 2$, $K_i = 0.0001$, $K_d = 0,001$, dan mampu membuat larutan nutrisi hidroponik dengan tingkat kepekatan dengan *Setpoint* PPM 800 yang diberikan. Hasil respon sistem yang dikontrol menggunakan kontrol PID kepekatan nutrisi dengan *Output* PPM 862, *Rise Time* 19 detik, *Settling time* 92 detik, *Peak time* 74 detik, dan *Error Steady state* 2,38%.

Pada hasil uji sistem ditemui banyak sekali nilai bacaan sensor kepekatan nutrisi dengan *Output* tidak stabil yang diakibatkan gelombang air, dan karena pada pengujian ini tidak dilengkapi adanya pengaduk untuk membuat larutan tercampur merata untuk mendapatkan hasil yang lebih maksimal. Harapannya pengembangan sistem kendali dengan sistem pengaduk untuk membuat larutan nutrisi hidroponik lebih merata dan bisa mendapatkan hasil yang lebih maksimal.

Referensi

- [1] I. S. Roidah, "Pemanfaatan Lahan Dengan Menggunakan Sistem Hidroponik," vol. 1, no. 2, pp. 43–50, 2014.
- [2] Y. A. Putra, G. Siregar, and S. Utami, "Peningkatan Pendapatan Masyarakat Melalui Pemanfaatan Pekarangan Dengan Teknik Budidaya Hidroponik," vol. 1, no. 1, pp. 122–127, 2019.
- [3] S. Kasus, P. T. Mekar, and U. Sari, "Analisis kelayakan finansial budidaya melon hidroponik," 2011.
- [4] N. Furoidah, "Efektivitas Nutrisi Ab Mix Terhadap Hasil Dua Varietas Melon," *Agritrop J. Ilmu-Ilmu Pertan. (Journal Agric. Sci.*, vol. 16, no. 1, p. 186, 2018, doi: 10.32528/agr.v16i1.1562.
- [5] E. Supriyanto, "DAN KONSENTRASI LARUTAN NUTRISI TANAMAN MELON Politeknik Negeri Semarang Jl . Prof . Sudarto , Tembalang , Kec . Tembalang , Kota Semarang , Jawa Tengah 50275 ," vol. 5, pp. 171–177, 2023.
- [6] Nurhadi, Madrofi, P. W. A. Sucipto, and A. Hasad, "Bang Bang Controller Pelarutan Nutrisi Ab Mix Tanaman Hidroponik Rumahan," *Natl. Conf. Ind. Eng. Technol.*, vol. 3, pp. 267–278, 2022.
- [7] A. Megido, E. Ariyanto, S. Vokasi, and U. Diponegoro, "Sistem kontrol suhu air menggunakan pengendali pid. dan volume air pada tangki pemanas air berbasis arduino uno," vol. 18, no. 4, pp. 21–28, 2016.
- [8] M. R. E. F, "SISTEM PENGATURAN LAJU ALIRAN AIR PADA PLANT WATER TREATMENT DENGAN KONTROL FUZZY-PID," pp. 25–30.
- [9] F. F. Dzikriansyah, R. Hudaya, C. W. Nurhaeti, and K. Kunci, "Sistem Kendali Berbasis PID untuk Nutrisi Tanaman Hidroponik," pp. 621–626, 2017.
- [10] L. Akhir, A. Sistem, K. Kepekatan, T. Hidroponik, and M. Metode, "POLITEKNIK NEGERI BANJARMASIN OKTOBER 2022," 2022.