



Jurnal Riset Rekayasa Elektro



Jurnal Riset Rekayasa Elektro

Terbit pertama kali tahun 2019
p-ISSN : 2685-4341

Publisher

Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Muhammadiyah Purwokerto

Editor-in-Chief

Arif Johar Taufiq, S.T., M.T.

Editorial Board

Muhamad Taufiq Tamam, S.T., M.T (Universitas Muhammadiyah Purwokerto)
Wakhyu Dwiono, ST, MT (Universitas Muhammadiyah Purwokerto)
Dr. Nelly Safitri (Politeknik Negeri Lhokseumawe)
Dr. Arfanda Anugrah Siregar, S.T.,M.Si (Politeknik Negeri Medan)
Dr. Mohammad Yanuar Hariyawan, S.T.,M.T (Institut Teknologi Telkom Surabaya)

Layout Editor

Bayu Aji Kurniawan, A.Md.T (Universitas Muhammadiyah Purwokerto)

Address

Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik dan Sains
Universitas Muhammadiyah Purwokerto
Jl. KH Ahmad Dahlan PO Box 202, Purwokerto 53182
<http://jurnalnasional.ump.ac.id/index.php/JRRE/index>
email: jurnaljrre@ump.ac.id

Jurnal Riset Rekayasa Elektro (JRRE) adalah terbitan berkala ilmiah yang diterbitkan oleh Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Muhammadiyah Purwokerto. JRRE menyajikan artikel hasil pemikiran dan penelitian serta perkembangan terkini dari Teknik Elektro. Redaksi mengundang para peneliti, dosen, dan praktisi untuk bertukar pikiran dan memajukan keilmuan di bidang teknik elektro

(JRRE) Electrical Engineering Research Journal is a periodical scientific publication published by Electrical Engineering, Faculty of Engineering and Science, Muhammadiyah University of Purwokerto. JRRE presents articles of thought and research as well as the latest developments from Electrical Engineering. Editors invite researchers, lecturers, and practitioners to exchange ideas and advance knowledge in the field of electrical engineering

Jurnal Riset Rekayasa Elektro

Volume 6 No 2 Desember 2024

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI

i

Rancang Bangun Sabuk Pemanas sebagai Solusi Perawatan di Rumah bagi Penderita Nyeri Punggung Bawah	(93 – 100)
---	------------

Rika Rokhana, Agrippina Waya Rahmaning Gusti, Achmad Rizki Fachrezi, Hanny Megawati Rosalinda, Kemalasari

Penerapan Teknologi <i>Programmable Logic Controller</i> Untuk Mengupas Kulit Ari Kacang Tanah di Desa Bogares Kabupaten Tegal	(101 – 108)
---	-------------

Umar Zakki, Bahrun Niam, Martselani Adias Sabara, Rony Darpono, Much Sobri Sungkar

Sistem Pendeteksi Kebocoran Gas pada LPG dan Suhu Ruangan Berbasis Protokol MQTT Menggunakan Metode <i>Fuzzy Logic</i>	(109 – 120)
---	-------------

Moh. Zainul Arif, Rini Puji Astutik

<i>Analysis of The Reliability Index of The Platuk Feeder Distribution System at PT. PLN ULP Kenjeran with Section Technique Method</i>	(121 – 132)
--	-------------

Reza Sarwo Widagdo, Gatut Budiono, Puji Slamet, Muhammad Sultan Abdai Habibullah

Desain Antena Microstrip MIMO 2x2 dengan <i>Defected Ground Structure (DGS)</i> untuk Implementasi Teknologi 5G pada Frekuensi 26 GHz	(133 – 144)
--	-------------

Erisa Fresti Fadlillah, Alfin Hikmaturokhman, Petrus Kerowe Goran

<i>Fire Alarm System Design Based on PLC Pi Pico at MCC XYZ Company</i>	(145 – 154)
--	-------------

Gama Dhuhry Avreliyanda, Rini Puji Astutik

Prototipe Timbangan Digital dan Pengendali Konveyor Otomatis untuk Pembersih Limbah Kotoran Hewan Ternak Kambing	(155 – 162)
---	-------------

Son Ali Akbar, Ruly Erwin Afan Dika, Anton Yudhana, Dian Nova Kusuma Hardani

Analisa Kemampuan dan Kelayakan <i>Lightning Arrester (LA)</i> untuk Pengaman Transformator 5 (60 MVA) pada Gardu Induk 150 KV Kalibakal dengan <i>Software Matrix Laboratory</i>	(163 – 176)
--	-------------

Ramadika Falih Hibatullah, Winarso

Penerapan Otomasi Industri Berbasis <i>Programmable Logic Controller</i> untuk Penyortiran Barang Berdasarkan Warna Menggunakan Sensor Vision	(177 – 182)
--	-------------

Itmi Hidayat Kurniawan, Arif Haryanto, Latiful Hayat

PETUNJUK PENULISAN

ii

Rancang Bangun Sabuk Pemanas sebagai Solusi Perawatan di Rumah bagi Penderita Nyeri Punggung Bawah

Designing a Heating Belt as a Home Care Treatment Solution for Back Pain Sufferers

Rika Rokhana¹, Agrippina Waya Rahmaning Gusti², Achmad Rizki Fachrezi³,
Hanny Megawati Rosalinda⁴, Kemalasari⁵

^{1,2,3,4,5} Teknik Elektronika, Departemen Teknik Elektro, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia
Jl. Raya ITS, Sukolilo, Surabaya

Informasi Makalah

Dikirim, 16 Mei 2024

Diterima, 13 Agustus 2024

Diterbitkan, 20 Desember 2024

Kata Kunci:

Sabuk

Nyeri

Punggung

Heater

Sensor DHT22

INTISARI

Penderita nyeri punggung sering dijumpai dalam kehidupan sehari-hari. Sebuah terapi alternatif untuk mengatasi nyeri punggung bawah telah dikembangkan melalui terapi panas menggunakan suatu instrumentasi medis. Penelitian ini bertujuan untuk membuat alat terapi nyeri punggung berupa sabuk pemanas. Beberapa komponen yang digunakan dalam membuat sabuk pemanas untuk terapi nyeri punggung ini yaitu Arduino Nano, *button* / tombol, sensor suhu DHT22, *heater* / pemanas, *driver* L298N, dan LCD dengan ukuran karakter 16x2. Sedangkan sabuknya terbuat dari material kulit sintetis dan karet. Pada bagian tengah sabuk terdapat zona untuk pemanas. Permukaan sabuk pemanas terbuat dari bahan katun agar lebih efisien untuk menghantarkan panas dan nyaman untuk digunakan di kulit. Spons berfungsi sebagai tambahan lapisan untuk meratakan panas dan lebih nyaman saat dipakai. Sensor suhu diletakkan antara katun dan spons, pemanas diletakkan setelah lapisan spons dan bagian luar sabuk dibuat menggunakan material karet dan kulit sintetis. Sabuk ini juga dilengkapi dengan fitur kontrol suhu pemanas pada kisaran suhu 35-45°C dan *timer* antara 1-20 menit yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan pengguna. Hasil pengujian menunjukkan akurasi kontrol suhu sebesar 96,07% dan akurasi fitur *timer* sebesar 98,5%. Untuk meredakan nyeri punggung, alat ini dapat diatur penggunaannya pada suhu 45°C selama 15-20 menit. Sabuk pemanas untuk terapi nyeri punggung ini dapat menjadi solusi perawatan di rumah bagi penderita nyeri punggung bawah.

ABSTRACT

Back pain sufferers are often encountered in everyday life. An alternative therapy for treating lower back pain has been developed through heat therapy using medical instrumentation. This research aims to create a back pain therapy device in the form of a heating belt. Some of the components used in making a heating belt for back pain therapy are Arduino Nano, buttons, DHT22 temperature sensor, heater, L298N driver, and LCD with a character size of 16x2. Meanwhile, the belt is made of synthetic leather and rubber. In the middle of the belt there is a zone for heating. The surface of the heating belt is made of cotton to make it more efficient at conducting heat and comfortable to use on the skin. The sponge functions as an additional layer to even out heat and is more comfortable when worn. The temperature sensor is placed between the cotton and sponge, the heater is placed after the sponge layer and the outside of the belt is made using rubber and synthetic leather. This belt is also equipped with a heating temperature control feature in the temperature range of 35-45°C and a timer between 1-20 minutes which can be adjusted to suit user needs. Test results show temperature control accuracy of 96.07% and timer feature accuracy of 98.5%. To relieve back pain, this tool can be used at a temperature of 45°C for 15-20 minutes. This heating belt for back pain therapy can be a homecare treatment solution for sufferers of lower back pain.

Keyword:

Belt

Pain

Back

Heater

DHT22 sensor

Korespondensi Penulis:**Agrippina Waya Rahmaning Gusti**

Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

Jl. Raya ITS, Keputih, Sukolilo, Surabaya

Email: agrippina@pens.ac.id

1. PENDAHULUAN

Instrumentasi medis dalam bidang kedokteran sudah banyak dikembangkan. Klasifikasi instrumentasi medis berdasarkan fungsinya dibagi menjadi 3 yaitu untuk diagnosis, terapi, dan rehabilitasi [1]. Terapi atau perawatan medis berarti semua prosedur untuk mendiagnosis, atau mengobati penyakit fisik maupun mental, atau cacat fisik maupun mental [2]. Salah satu penyakit yang membutuhkan perawatan medis yaitu nyeri. Penderita nyeri punggung sering dijumpai dalam kehidupan sehari-hari. Nyeri punggung bawah dapat disebabkan oleh kondisi yang mengenai berbagai struktur yang terdapat pada tulang belakang seperti otot, facet, sendi, diskus serta saraf [3]. Terapi nyeri punggung bawah dibutuhkan untuk menghilangkan nyeri, menghambat progresivitas dan meningkatkan aktivitas maupun mobilitas untuk meningkatkan fungsi hidup pasien serta disabilitas yang ditimbulkan dari kondisi ini. Beberapa terapi yang diberikan kepada penderita nyeri punggung bawah yaitu latihan fisik, terapi psikologis, terapi farmakologis, terapi intervensional dengan injeksi glukokortikoid, fusi spinal dan tindakan pembedahan [4].

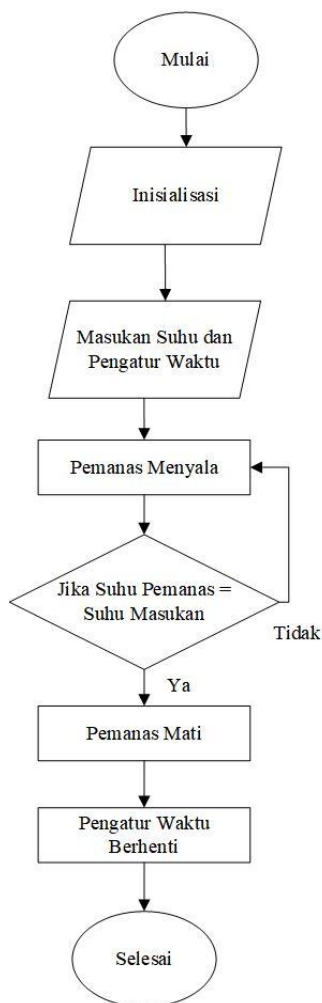
Sebuah terapi alternatif untuk mengatasi nyeri punggung bawah telah dikembangkan melalui terapi panas menggunakan suatu instrumentasi medis. Terapi panas adalah pendekatan non-farmakologis yang melibatkan penerapan sumber panas ke tubuh untuk meningkatkan suhu jaringan. Terapi panas bertindak pada rasa sakit dan spasme otot dengan berbagai cara [5]. Aplikasi panas mengaktifkan ujung saraf sensitif suhu (*thermoreceptor*) yang pada gilirannya memulai sinyal yang menghalangi pemrosesan sinyal rasa sakit (*nociception*) di fascia dorsal lumbar dan sumsum tulang belakang [6]. Mekanisme aksi terapi panas pada nyeri punggung bawah diawali dengan energi panas topikal tingkat rendah yang akan meningkatkan aliran darah dan metabolisme. Selanjutnya terjadi peningkatan suhu pada kulit, otot dan reseptor yang mengakibatkan perubahan nilai ambang reseptor, mengurangi kejang otot, dan terjadi peningkatan peradangan ringan [7], [8], [9]. Saat ini, terapi panas telah diterapkan dalam berbagai bentuk termasuk bantal atau pembungkus panas elektrik (*electric heating pad*), mandi air panas, dan lampu panas [10].

Penelitian tentang pemberian terapi panas pada penderita *low back pain* (LBP) akut menggunakan selimut elektrik terbukti mengurangi rasa nyeri secara signifikan dibanding terapi selimut yang tidak diberi panas [11]. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Chabal et al menunjukkan jika pemberian pulsasi panas tingkat tinggi (45°C) dalam kondisi eksperimental pada pasien yang menderita nyeri terbukti mengurangi rasa sakit yang lebih signifikan secara statistik dibandingkan dengan pemberian panas konstan pada suhu 37°C pada kelompok kontrol. Sehingga hasil eksperimen tersebut dapat digunakan untuk terapi nyeri punggung kronis [12]. Terapi untuk mengurangi nyeri menggunakan *electric heating pad* dapat digunakan sebagai salah satu solusi penanganan nyeri di rumah sehingga dapat mengurangi nyeri. Penggunaannya harus sesuai dengan instruksi yaitu ukuran dan bentuknya disesuaikan dengan area tubuh yang akan diterapi, pasien harus dalam posisi nyaman, dan alat *electric heating pad* digunakan selama 15-20 menit [13].

Penelitian tentang ikat pinggang / sabuk kesehatan yang dilengkapi fitur pemanas telah dilakukan sebelumnya oleh Rachma et al. Pada penelitian tersebut telah berhasil dibuat ikat pinggang kesehatan untuk terapi reumatik. Namun, ikat pinggang tersebut hanya mampu memberikan panas pada rentang suhu 38-40°C yang mana disesuaikan dengan tujuan terapinya yaitu untuk terapi reumatik. Ikat pinggang tersebut juga tidak dilengkapi fitur timer yang dapat diatur sesuai kebutuhan pengguna [14]. Penelitian lain yang terkait dengan alat terapi pinggang juga telah dilakukan sebelumnya oleh Eriyanto. Namun, alat terapi pinggang tersebut menggunakan sumber listrik dari PLN sebagai sumber tegangan sehingga tidak bersifat *portable* atau sulit dibawa kemanapun. Pengaturan suhu dan timer alat tersebut juga harus dilakukan melalui smartphone menggunakan koneksi Bluetooth [15]. Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk membuat alat terapi punggung berupa sabuk pemanas yang dapat mengurangi rasa nyeri di bagian punggung yang dilengkapi dengan pengaturan sensor suhu (35-45°C) dan waktu agar lebih efektif dalam penggunaannya.

2. METODE PENELITIAN

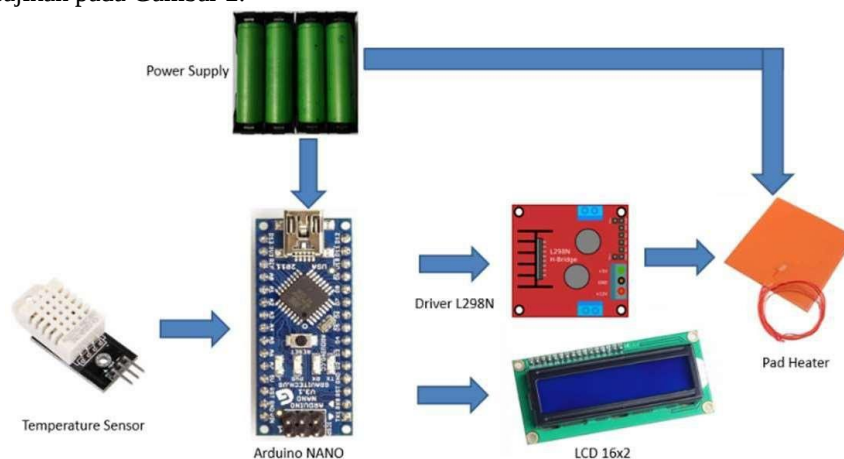
Penelitian ini bersifat eksperimental. Beberapa komponen yang digunakan dalam membuat sabuk terapi nyeri punggung ini yaitu Arduino Nano, *button* / tombol, sensor suhu DHT22, *heater* / pemanas, *driver* L298N, dan LCD dengan ukuran karakter 16x2 yang akan dijelaskan lebih lanjut pada sub bab di bawah ini. Cara kerja sistem dapat dilihat pada diagram alir di Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Sistem

2.1. Perancangan Perangkat Keras

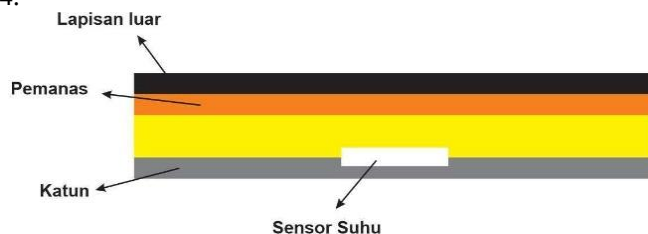
Pada perancangan perangkat keras terdapat baterai sebagai sumber daya untuk memberikan tegangan pada alat. Arduino Uno berfungsi sebagai mikrokontroler untuk mengontrol dan mengolah data pada alat dan hasilnya ditampilkan ke LCD. Push button berfungsi untuk menentukan masukan suhu yang diinginkan. Sensor suhu yang digunakan yaitu LM35 sebagai sensor pendeteksi suhu yang dihasilkan oleh pemanas pada alat. Modul l289N digunakan sebagai pengatur daya dari baterai ke arduino maupun pemanas. Alat ini juga memiliki LCD berukuran 16x2 cm untuk memantau suhu yang dihasilkan oleh pemanas secara *real time*. Perancangan perangkat keras disajikan pada Gambar 2.



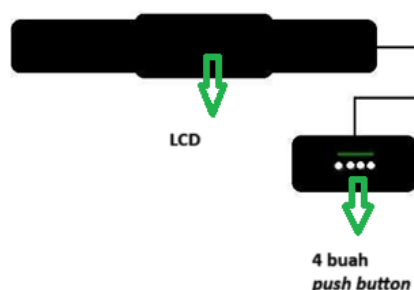
Gambar 2. Diagram Blok Sistem

2.2. Perancangan Mekanik Sistem

Sabuk ini terbuat dari material kulit sintetis dan karet. Pada bagian tengah terdapat zona untuk pemanas. Permukaan sabuk pemanas terbuat dari bahan katun agar lebih efisien untuk menghantarkan panas dan nyaman untuk digunakan di kulit. Pemanas diletakkan pada bahan bantalan pemanas yang didesain khusus sehingga tidak akan terbakar saat sabuk pemanas ini digunakan pada suhu maksimal yaitu 45°C. Spons berfungsi sebagai tambahan lapisan untuk meratakan panas dan agar lebih nyaman saat dipakai. Sensor suhu diletakkan antara katun dan spons, pemanas diletakkan setelah lapisan spons dan bagian luar sabuk dibuat menggunakan material karet dan kulit sintetis dapat dilihat pada Gambar 3. Desain alat sabuk pemanas untuk terapi nyeri punggung disajikan pada Gambar 4.



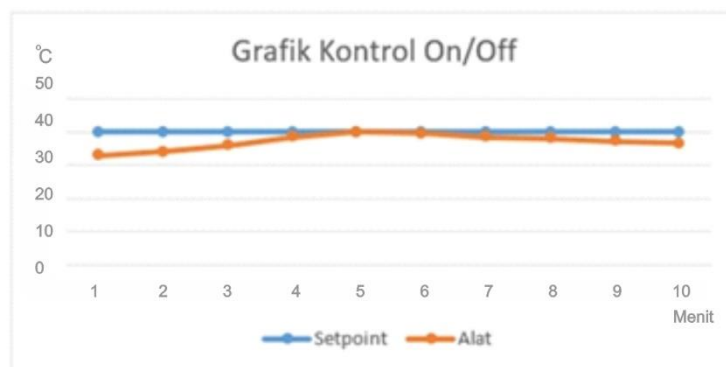
Gambar 3. Susunan Dalam Sabuk



Gambar 4. Desain Alat

2.3 Perancangan Kontrol Sistem (On / Off)

Kontrol pada pemanas sabuk terapi memainkan peran krusial dalam mempertahankan suhu yang diinginkan. Grafik kontrol *on/off* yang berisi perbandingan suhu *setpoint* dan alat dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Kontrol On/Off

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian pada alat sabuk pemanas untuk terapi nyeri punggung bawah ini dilakukan dalam beberapa tahap diantaranya pengujian kestabilan suhu alat pada suhu 35°C dan 40°C selama 10 menit, 15 menit, dan 20 menit. Selain itu juga dilakukan pengujian *timer* alat. Masing-masing pengujian dilakukan sebanyak 10 kali percobaan. Perhitungan nilai *error* dilakukan menggunakan persamaan (1).

$$\text{Nilai error} = \frac{(\text{Nilai Hasil Alat} - \text{Nilai Setpoint})}{\text{Nilai Setpoint}} \times 100 \% \quad (1)$$

3.1. Hasil Pengujian Kestabilan Suhu Puncak Alat 35°C selama 10 Menit

Setelah dilakukan pengujian sebanyak 10 kali pada suhu puncak 35°C dalam waktu 10 menit sebagaimana pada Tabel 1, didapatkan hasil pengukuran dengan rata-rata selisih sebesar 1,7°C, dengan rata-rata *error* sebesar 4,8%.

Tabel 1. Hasil Pengujian Kestabilan Suhu Puncak Alat 35°C selama 10 menit

No	Pengukuran suhu puncak alat	Setpoint	Error (%)
1	37,4°C	35°C	6%
2	37,2°C	35°C	6%
3	36,7°C	35°C	5%
4	36,5°C	35°C	4%
5	37,4°C	35°C	6%
6	37,1°C	35°C	6%
7	36,3°C	35°C	4%
8	37°C	35°C	5%
9	37,1°C	35°C	6%
10	35°C	35°C	0%

3.2. Hasil Pengujian Kestabilan Suhu Puncak Alat 35°C selama 15 Menit

Berdasarkan data hasil pengujian pada Tabel 2, didapatkan hasil pengukuran dengan rata-rata selisih sebesar 1,6°C, dengan rata-rata *error* sebesar 4,5%. Hal ini menunjukkan bahwa hasil pengukuran memiliki tingkat ketelitian yang cukup baik.

Tabel 2. Hasil Pengujian Kestabilan Suhu Puncak Alat 35°C selama 15 menit

No	Pengukuran suhu puncak alat	Setpoint	Error (%)
1	37,8°C	35°C	8%
2	37,4°C	35°C	6%
3	36,3°C	35°C	4%
4	35°C	35°C	0%
5	37,5°C	35°C	7%
6	36,3°C	35°C	4%
7	36°C	35°C	3%
8	34,7°C	35°C	2%
9	37,4°C	35°C	6%
10	36,7°C	35°C	5%

3.3. Hasil Pengujian Kestabilan Suhu Puncak Alat 35°C selama 20 Menit

Setelah dilakukan pengujian sebanyak 10 kali pada suhu puncak 35°C dalam waktu 20 menit, didapatkan hasil pengukuran dengan rata-rata selisih sebesar 1,6°C dan rata-rata *error* sebesar 4,2% (Tabel 3). Hal ini menunjukkan bahwa hasil pengukuran memiliki tingkat ketelitian yang cukup baik.

Tabel 3. Hasil Pengujian Kestabilan Suhu Puncak Alat 35°C selama 20 menit

No	Pengukuran suhu puncak alat	Setpoint	Error (%)
1	38°C	35°C	8%
2	36,7 °C	35°C	5%
3	35 °C	35°C	0%
4	37,6 °C	35°C	7%
5	36,4 °C	35°C	4%
6	34,4 °C	35°C	1%
7	37 °C	35°C	5%
8	36,8 °C	35°C	5%
9	35,3 °C	35°C	0,8%
10	37,3°C	35°C	6%

3.4. Hasil Pengujian Kestabilan Suhu Puncak Alat 40°C selama 10 Menit

Berdasarkan hasil pengujian kestabilan suhu puncak 40°C dalam waktu 10 menit pada Tabel 4, diperoleh hasil pengukuran dengan rata-rata selisih suhu alat dengan *setpoint* sebesar 1,2°C, dengan rentang kesalahan antara 0-5%. Hasil ini menunjukkan bahwa pengukuran dilakukan dengan tingkat ketelitian yang tinggi, dengan selisih rata-rata yang sangat kecil. Rentang kesalahan yang terjadi rata-rata sebesar 2,7% juga menandakan tingkat akurasi yang dapat diterima dalam pengukuran suhu pada skala tersebut.

Tabel 4. Hasil Pengujian Kestabilan Suhu Puncak Alat 40°C selama 10 menit

No	Pengukuran suhu puncak alat	Setpoint	Error (%)
1	42,30°C	40°C	5%
2	41,80°C	40°C	4%
3	40,20°C	40°C	0%
4	39,20°C	40°C	2%
5	42,10°C	40°C	5%
6	40,50°C	40°C	1%
7	39,10°C	40°C	2%
8	42,30°C	40°C	5%
9	40,00°C	40°C	0%
10	38,80°C	40°C	3%

3.5. Hasil Pengujian Kestabilan Suhu Puncak Alat 40°C selama 15 Menit

Setelah dilakukan pengujian pada suhu puncak 40°C dalam waktu 15 menit, diperoleh hasil pengukuran dengan rata-rata selisih sebesar 1,5°C, dengan rata-rata *error* sebesar 3,5% (Tabel 5). Rentang kesalahan yang terjadi antara 0-7% juga dapat diterima.

Tabel 5. Hasil Pengujian Kestabilan Suhu Puncak Alat 40°C selama 15 menit

No	Pengukuran suhu puncak alat	Setpoint	Error (%)
1	43 °C	40°C	7%
2	42 °C	40°C	5%
3	41,3 °C	40°C	3%
4	39,8 °C	40°C	1%
5	37,4 °C	40°C	6%
6	42,3 °C	40°C	5%
7	41 °C	40°C	2,5%
8	40°C	40°C	0%
9	41,80 °C	40°C	4%
10	40,7 °C	40°C	1%

3.6. Hasil Pengujian Kestabilan Suhu Puncak Alat 40°C selama 20 Menit

Berdasarkan hasil penelitian pada Tabel 6, diperoleh hasil pengukuran dengan rata-rata selisih sebesar 1,5°C, dengan rentang kesalahan antara 0-7%. Hasil ini menunjukkan bahwa pengukuran dilakukan dengan tingkat ketelitian yang tinggi. Rentang kesalahan yang terjadi rata-rata sebesar 3,9%.

Tabel 6. Hasil Pengujian Kestabilan Suhu Puncak Alat 40°C selama 20 menit

No	Pengukuran suhu puncak alat	Setpoint	Error (%)
1	43°C	40°C	7%
2	42,3°C	40°C	5%
3	39,5°C	40°C	1,5%
4	42°C	40°C	5%
5	41,6°C	40°C	4%
6	40°C	40°C	0%
7	42°C	40°C	7%
8	41,5°C	40°C	5%
9	39,4°C	40°C	1,5%
10	41°C	40°C	2,5%

3.7. Pengujian Timer

Pengujian waktu dilakukan sebanyak 3 kali untuk setiap variabel waktu. Sebagaimana tertulis pada Tabel 7, didapatkan hasil rata-rata *error* sebesar 1,5% antara alat sabuk panas untuk terapi nyeri dengan *stopwatch*. Hal ini menunjukkan bahwa ketelitian fitur *timer* alat yang cukup baik.

Tabel 7. Hasil Pengujian Pengatur Waktu (*Timer*)

Set Waktu	Alat (menit)			<i>Stopwatch</i> (menit)			Selisih (detik)			% <i>Error</i>
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	
10 menit	10	10	10	11	11	101	1	1	1	0,01%
15 menit	15	15	15	17	18	17	2	3	2	2,2%
20 menit	20	20	20	23	24	24	3	4	4	2,2%

3.8. Pembahasan

Sabuk pemanas yang telah dirancang ini dilengkapi dengan sistem kontrol sederhana yang memainkan peran krusial dalam mempertahankan suhu yang diinginkan. Misalnya, ketika *setpoint* pada pemanas diatur pada 40°C, sistem kontrol akan terus memantau suhu pada pemanas. Jika suhu pada pemanas turun di bawah *setpoint* tersebut, sistem kontrol akan memberikan perintah untuk menghidupkan pemanas seperti pada detik ke-1 pada Gambar 5. Setelah pemanas dihidupkan, energi panas akan dihasilkan untuk meningkatkan suhu pada sabuk pemanas untuk terapi nyeri. Saat suhu mencapai atau mendekati *setpoint* yang diinginkan seperti pada detik ke-4 hingga detik ke-6 pada Gambar 5, sistem kontrol akan menghentikan pemanas agar suhu tetap stabil. Hal ini dilakukan dengan mematikan aliran listrik atau menghentikan sumber energi pemanas. Namun, jika suhu pada pemanas melebihi *setpoint* yang telah ditentukan, sistem kontrol akan mengirimkan perintah untuk mematikan pemanas. Tindakan ini bertujuan untuk mencegah suhu terus meningkat melebihi batas yang diinginkan, sehingga menghindari potensi risiko kebakaran atau ketidaknyamanan yang mungkin terjadi pada saat sabuk pemanas untuk terapi nyeri punggung ini digunakan.

Setelah dilakukan pengujian sebanyak 10 kali pada suhu puncak 35°C dalam waktu 10 menit, 15 menit dan 20 menit, didapatkan hasil pengukuran dengan rata-rata selisih sebesar 1,6°C dan rata-rata *error* sebesar 4,2-4,8%. Berdasarkan hasil pengujian kestabilan suhu puncak 40°C dalam waktu 10 menit, 15 menit dan 20 menit, didapatkan hasil pengukuran dengan rata-rata selisih sebesar 1,5°C dan rata-rata *error* sebesar 2,7-3,9%. Hal ini menunjukkan bahwa hasil pengukuran memiliki tingkat ketelitian yang cukup baik. Selain itu, telah dilakukan pengujian pengatur waktu / *timer* sebanyak 3 kali untuk setiap variabel waktu. Sebagaimana tertulis pada Tabel 7, didapatkan hasil rata-rata *error* sebesar 1,5% antara alat sabuk panas untuk terapi nyeri dengan *stopwatch*. Hal ini menunjukkan bahwa ketelitian fitur *timer* alat yang cukup baik.

Oleh karena itu, sabuk pemanas untuk terapi nyeri punggung yang bersifat *portable*, memiliki fitur pengaturan suhu dan *timer* dapat menjadi solusi terapi nyeri punggung bagi pasien secara mandiri. Sehingga pasien dapat menggunakan sabuk pemanas tersebut dimanapun dan kapanpun tanpa harus selalu ke rumah sakit. Penggunaan sabuk pemanas ini harus disesuaikan dengan pedoman yaitu suhu diatur pada 45°C selama 15-20 menit [12], [13].

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, alat sabuk pemanas untuk terapi nyeri ini dapat berfungsi dengan baik. Hal itu dapat dilihat dari kestabilan alat mempertahankan suhu sesuai *setpoint* dan fitur *timer* juga berjalan dengan baik. Persentase *error* nilai suhu sebesar 3,93% dan persentase *error timer* sebesar 1,5%. Alat sabuk pemanas untuk terapi nyeri punggung ini dibuat dengan pengaturan suhu 35-45°C dan pengaturan waktu 10-20 menit. Sesuai dengan literatur yang ada, penggunaan sabuk pemanas ini dapat digunakan pada suhu 45°C selama 15-20 menit untuk meredakan nyeri punggung. Pada penelitian mendatang, diharapkan dapat menggunakan baterai yang *rechargeable* sehingga memudahkan pengguna dalam mengisi daya baterai dan dilakukan optimasi suhu sehingga persentase *error* nilai suhu dapat berkurang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. G. Webster, "Medical Instrumentation-Application and Design," *J Clin Eng*, vol. 3, no. 3, p. 306, 1978.
- [2] Gov.UK, "EIM21776 - Particular benefits: recommended medical treatment to help an employee return to work - definition of recommended medical treatment - HMRC internal manual - GOV.UK." Accessed: May 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.gov.uk/hmrc-internal-manuals/employment-income-manual/eim21776>

- [3] I. Urits *et al.*, "Low Back Pain, a Comprehensive Review: Pathophysiology, Diagnosis, and Treatment," *Current Pain and Headache Reports*, vol. 23, no. 3. Current Medicine Group LLC 1, Mar. 01, 2019. doi: 10.1007/s11916-019-0757-1.
- [4] A. Cahya S, W. Mardi Santoso, M. Husna, B. Munir, and S. Nandar Kurniawan, "LOW BACK PAIN," *JPHV (Journal of Pain, Vertigo and Headache)*, vol. 2, no. 1, pp. 13–17, Mar. 2021, doi: 10.21776/ub.jphv.2021.002.01.4.
- [5] J. Freiwald *et al.*, "A Role for Heat Therapy in Low Back Pain in Modern Clinical Practice," 2021, doi: 10.20944/preprints202106.0663.v1.
- [6] B. G. Green, "Temperature perception and nociception," *Journal of Neurobiology*, vol. 61, no. 1. pp. 13–29, Oct. 2004. doi: 10.1002/neu.20081.
- [7] G. A. Malanga, N. Yan, and J. Stark, "Mechanisms and efficacy of heat and cold therapies for musculoskeletal injury," *Postgraduate Medicine*, vol. 127, no. 1. Taylor and Francis Inc., pp. 57–65, Jan. 01, 2015. doi: 10.1080/00325481.2015.992719.
- [8] S. F. Nadler, K. Weingand, and R. J. Kruse, "The Physiologic Basis and Clinical Applications of Cryotherapy and Thermotherapy for the Pain Practitioner," *Cryotherapy and Thermotherapy for the Pain Practitioner 395 Pain Physician*, vol. 7, no. 3, pp. 395–399, 2004.
- [9] J. Freiwald, M. W. Hoppe, W. Beermann, J. Krajewski, and C. Baumgart, "Effects of supplemental heat therapy in multimodal treated chronic low back pain patients on strength and flexibility," *Clinical Biomechanics*, vol. 57, pp. 107–113, Aug. 2018, doi: 10.1016/j.clinbiomech.2018.06.008.
- [10] J. S. Petrofsky, M. Laymon, L. Berk, and G. Bains, "Effect of ThermoCare HeatWraps and Icy Hot Cream/Patches on Skin and Quadriceps Muscle Temperature and Blood Flow," *J Chiropr Med*, vol. 15, no. 1, pp. 9–18, Mar. 2016, doi: 10.1016/j.jcm.2015.12.002.
- [11] M. Nühr *et al.*, "Active Warming During Emergency Transport Relieves Acute Low Back Pain," 2004.
- [12] C. Chabal, P. J. Dunbar, I. Painter, D. Young, and D. C. Chabal, "Properties of thermal analgesia in a human chronic low back pain model," *J Pain Res*, vol. 13, pp. 2083–2092, 2020, doi: 10.2147/JPR.S260967.
- [13] S. Rennie and S. Michlovitz, *Therapeutic heat*, 6th ed. Philadelphia: FA Davis Co, 2016.
- [14] R. A. Zahra, A. Wicaksana, W. Novianti, M. A. R. Kurniawan, and I. Y. Okyanida, "Health belt sebagai ikat pinggang terapi reumatik," *Schrodinger*, 2021.
- [15] Eriyanto, "Alat Terapi Pinggang dengan Pemantauan Menggunakan Smartphone Android," 2022.

Penerapan Teknologi *Programmable Logic Controller* Untuk Mengupas Kulit Ari Kacang Tanah di Desa Bogares Kabupaten Tegal

Application of Programmable Logic Controller Technology for Peeling Peanut Skin in Bogares Village City of Tegal

Umar Zakki¹, Bahrn Niam², Martselani Adias Sabara³, Rony Darpono⁴, Much Sobri S⁵

^{1,2,3,4,5} Program DIII Teknik Elektronika Politeknik Harapan Bersama Tegal,

Jl. Mataram No.9, Pesurungan Lor, Kec. Margadana, Kota Tegal, Jawa Tengah 52147

Informasi Makalah

Dikirim, 17 Oktober 2024

Diterima, 18 November 2024

Diterbitkan, 20 Desember 2024

Kata Kunci:

PLC Outseal

Rumahan

Kacang

Keyword:

Outseal PLC

Homemade

Nuts

INTISARI

Kebutuhan kacang tanpa kulit ari di Desa Bogares Kabupaten Tegal sangat banyak, karena digunakan sebagai bahan makanan yaitu roti kacang. Dalam proses pembuatan kacang tanpa kulit ari masih dengan cara manual yaitu dengan menggosokkan kacang pada kertas sehingga yang dihasilkan masih terbatas. Untuk memenuhi kebutuhan ini maka dikembangkan mesin pengupas kulit ari kacang sangrai berbasis PLC Outseal Mega yang terdiri beberapa komponen yaitu motor yang digunakan untuk memutar pully dan *blower* berfungsi untuk memisahkan kulit ari. Proses kerja dari alat ini adalah kacang dimasukkan ke penampungan, kemudian kacang digiling sehingga kulit ari kacang terpisah dengan kacang. Kulit ari yang sudah terpisah dengan kacang akan ditiup oleh *blower*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa mesin ini mampu menghasilkan pengupasan kulit ari kacang yang cepat, efisien, dan konsisten, serta mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manual. Hasil yang didapatkan dari pengujian alat ini adalah 92% kulit kacang bisa terkelupas. Waktu yang dibutuhkan untuk mengupas kulit ari kacang adalah 5 detik. Dengan sistem ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam meningkatkan produktivitas dan kualitas produk roti kacang, serta mendorong penggunaan teknologi otomatisasi di sektor industri kecil dan rumahan.

ABSTRACT

The need for skinless peanuts in Bogares Village, Tegal Regency is very high, because it is used as a food ingredient, namely peanut bread. In the process of making skinless peanuts, it is still done manually, namely by rubbing on paper so that the results are still limited. To meet this need, a roasted peanut skin peeling machine based on the Outseal Mega PLC was developed which consists of several components, namely a motor used to rotate the pulley and a blower that functions to separate the skin. The working process of this tool is that the peanuts are put into the container, then the peanuts are ground so that the skin of the peanuts is separated from the peanuts. The skin that has been separated from the peanuts will be blown by the blower. The test results show that this machine is capable of producing fast, efficient, and consistent peanut skin peeling, and reducing dependence on manual labor. The results obtained from testing this tool are that 92% of the peanut skin can be peeled. The time needed to peel the peanut skin is 5 seconds. With this system, it is expected to contribute to increasing the productivity and quality of peanut bread products, as well as encouraging the use of automation technology in the small and home industry sectors.

Korespondensi Penulis:

Umar Zakki¹

Program DIII Teknik Elektronika Politeknik Harapan Bersama Tegal,

Jl. Mataram No.9, Pesurungan Lor, Kec. Margadana, Kota Tegal, Jawa Tengah 52147

bahrn08@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Dalam proses membuat kue kering, industri makanan ini menggunakan kacang tanpa kulit ari sebagai salah satu bahan utama. Produk kue kering biasanya disajikan dalam bentuk tertentu sebagai ciri dari jenis makanan yang bersangkutan atau untuk mendapatkan tampilan yang menarik dengan cara yang inovatif dan berkembang [1]. Saat perayaan agama, kue kacang adalah salah satu kue kering yang paling sering dilihat. Banyak orang menyukai makanan ini karena rasanya yang enak, gurih, dan manis. Adonan tepung terigu, telur, gula halus, garam, mentega, minyak sayur, dan kacang tanah membentuk kue kacang [2].

Salah satu proses yang penting dalam pengolahan kacang sangrai adalah pengupasan kulit ari setelah kacang disangrai. Pengupasan kulit ari kacang secara manual yaitu dengan carai ditumbuk lalu ditapih membutuhkan banyak waktu dan tenaga kerja, dan seringkali hasilnya tidak maksimal dan efisien [3]. Oleh karena itu, pengembangan mesin pengupas kulit ari kacang sangrai menjadi sangat penting untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas dalam industri rumahan produksi kue kering (kue kacang) [4]. Mesin pengupas kulit ari yang efisien dan akurat dapat membantu meningkatkan produktivitas dan kualitas produk akhir, serta mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manual [5]. Dalam penelitian ini, fokus utama adalah untuk mengembangkan mesin pengupas kulit ari kacang sangrai dengan menggunakan PLC Outseal. PLC Outseal digunakan karena mudah dalam pengoperasian dan pemrograman, terdapat fitur PWM, *digital input filter* dan *high speed counter*. PLC akan digunakan untuk mengontrol proses pengupasan secara otomatis dengan parameter yang dapat disesuaikan untuk mencapai efisiensi yang lebih tinggi dan kualitas pengupasan yang lebih baik. Melalui integrasi teknologi PLC, diharapkan bahwa proses pengupasan kulit ari kacang sangrai dapat menjadi lebih cepat, lebih efisien, dan menghasilkan produk akhir yang lebih konsisten [6]. Proses penggilingannya yaitu kacang dimasukkan ke dalam tempat penampungan kacang, kemudian kacang akan digiling sehingga kulit ari kacang akan terpisah dengan kacang [7]. Dinamo yang berfungsi untuk memutar gilingan dihubungkan ke relay karena tegangan yang dibutuhkan dinamo adalah 220 volt dan tegangan yang ada di PLC adalah 24 volt [8]. Kulit ari kacang yang sudah terkupas akan ditiup oleh *blower* yang sudah dihubungkan ke PLC dan relay [8].

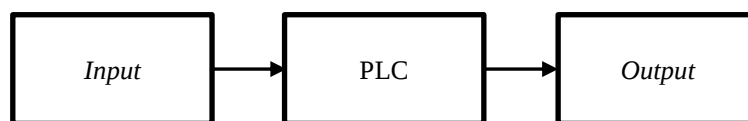
Penelitian ini akan mencakup desain mesin, pemrograman PLC, pengujian performa, dan evaluasi terhadap efisiensi dan kualitas pengupasan yang diperoleh. Dengan demikian, diharapkan bahwa hasil dari penelitian ini akan memberikan kontribusi yang signifikan baik dalam pengembangan teknologi pengolahan kacang yang lebih efisien dan berkualitas [9].

2. METODE PENELITIAN

Penelitian terdiri dari beberapa tahapan yaitu tahap pertama perancangan sistem, tahap kedua perancangan *hardware* dan tahap ketiga perancangan *software*.

2.1. Perancangan Sistem

Tahapan perancangan sistem terdiri dari gambaran umum tentang alat. Pada alat pengupas kulit ari kacang ini terdiri dari tiga bagian yaitu pertama input, PLC dan output. Bagian *input* terdiri dari komponen *push button* yang berfungsi untuk menjalankan, mengontrol dan mematikan alat. Bagian kedua merupakan PLC. PLC yang digunakan adalah PLC outseal. PLC ini berfungsi untuk mengontrol sistem kerja alat pengupas kulit ari kacang. Bagian ketiga adalah *output*. Pada bagian *output* terdiri dari beberapa komponen yaitu motor yang digunakan untuk memutar pengupas kacang dan lampu sebagai indikator kondisi alat [10]. Blok diagram dari perancangan sistem dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Blok Diagram Rancangan Sistem

2.2. Perancangan Hardware

Perancangan hardware secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 2. Komponen-komponen yang dibutuhkan untuk membuat alat pengupas kulit ari kacang adalah sebagai berikut

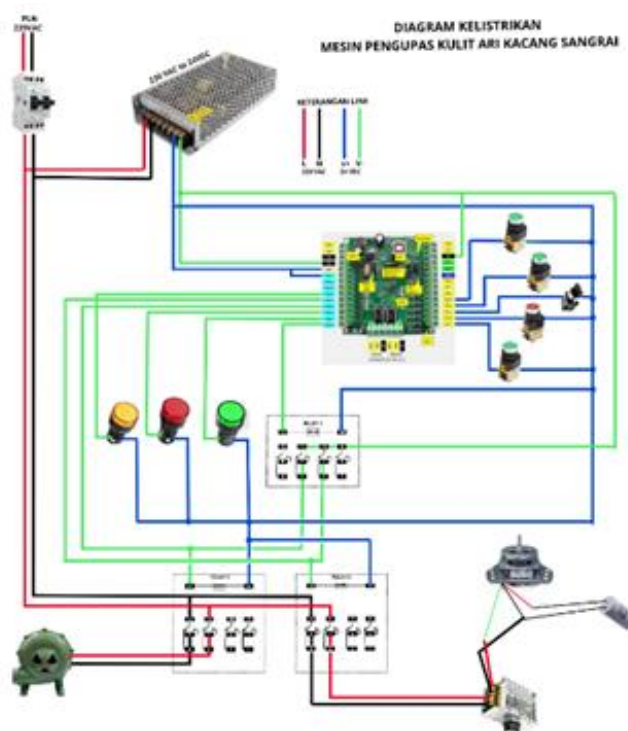
1. Power Supply

Power supply 24V digunakan untuk memberikan atau mensuplay arus untuk menjalankan PLC Outseal dan Relay [11].

2. Outseal PLC

Berfungsi sebagai otak dari kontroler untuk menggerakkan Mesin pengupas kulit ari kacang sangrai, PLC Outseal juga sebagai input dan output sebagai penggerak suatu komponen relay ataupun Lampu indikator [12].

3. Relay
Relay digunakan untuk mendorong arus kecil menjadi arus yang lebih besar. Sehingga tegangan yang tinggi tidak dihubungkan langsung dengan PLC [13].
4. *Blower/Kipas*
Berfungsi sebagai pemisah / pembuang kulit ari sehingga terpisahkan dengan kacang sangrai. *Blower* akan meniupkan angin ke kulit ari yang sudah terkelupas [14].
5. Dinamo
Dinamo digunakan sebagai penggerak Puly dan Rol Penggiling dan pemecah kacang. Putaran dinamo bisa atur kecepatannya sesuai dengan kebutuhan [15].
6. Dimmer
Digunakan untuk mengatur kecepatan dinamo.



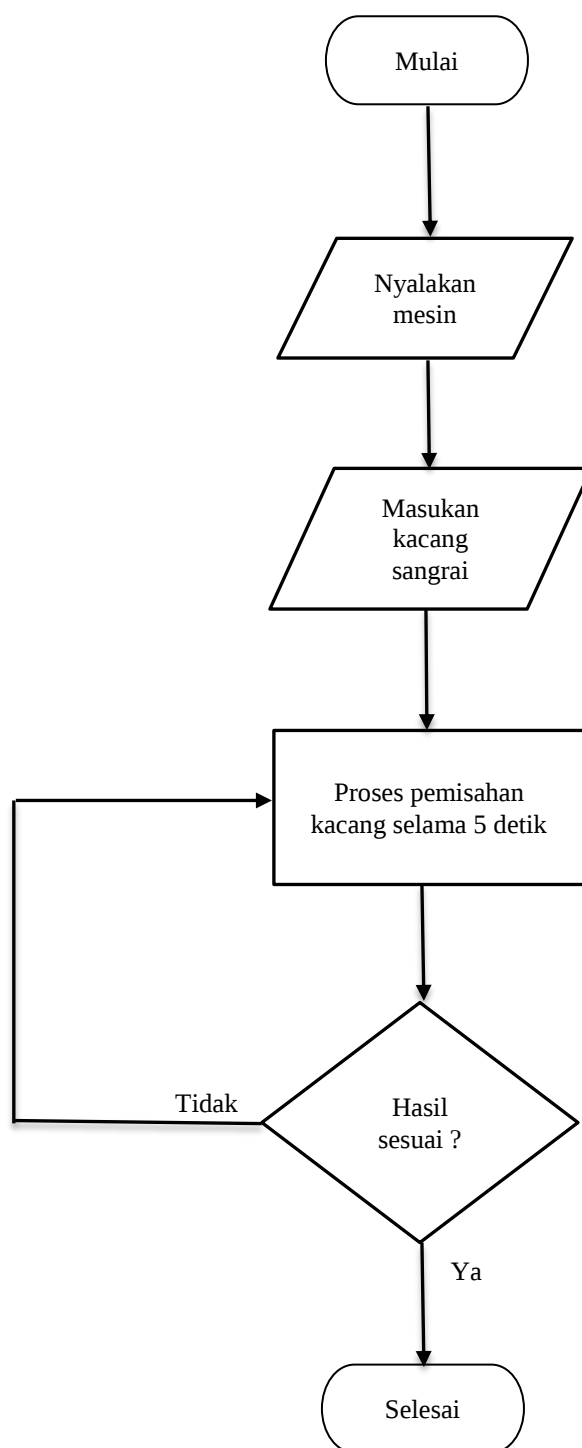
Gambar 2. Perancangan *Hardware*

2.3. Sistem Kerja Alat

Gambar 3 merupakan sistem kerja dari alat pengupas kulit ari kacang dimulai dari menekan tombol untuk menghidupkan alat sampai dengan hasil. Berikut urutan proses kerja alat.

1. Mulai
Langkah awal yaitu dengan memberikan tegangan pada mesin atau rangkaian dengan menghubungkan alat dengan jaringan listrik.
2. Nyalakan Mesin
Dengan menekan Push button *ON*, maka sistem mesin akan berjalan. Push button *ON* untuk menyalakan mesin ditandai dengan warna hijau.
3. Masukkan Kacang Sangrai
Proses memasukan kacang yang sudah di sangrai sebanyak setengah kilogram secara perlahan atau sesuai dengan pengujian.
4. Proses Pemisahan Kacang
Proses awal yaitu dengan melakukan penggilingan atau pemecahan kacang agar terpisah dengan kulit ari. Dan kulit ari akan tertiup angin yang dihasilkan oleh *blower* sehingga terpisahkan dengan kacangnya. Lama penggilingan disetting otomatis selama 5 detik
5. Hasil
Apabila hasil sudah sesuai dengan apa yang kita ujikan, maka kacang dan kuit ari akan terpisahkan. Apabila masih kurang maka dilakukan lagi proses penggilingan ulang.
6. Selesai.

Apabila sudah selesai maka untuk mematikan alat dengan menekan tombol *OFF*.



Gambar 3. Flowchart Sistem Kerja Alat

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil ujicoba yang sudah dilakukan. Ketika kacang sangrai sebanyak $\frac{1}{2}$ Kg atau 500 gram dimasukkan kedalam mesin dengan putaran rol penggiling 1430 RPM yang diukur menggunakan tacometer, maka hasil yang diperoleh pada uji coba penggilingan yang pertama menghasilkan 300 gram kacang yang terkupas bersih, dengan presentase keberhasilan 60%, dengan rumus $(300/500) \times 100 = 60$.

Untuk bisa menghasilkan lebih maksimal lagi, Maka dilakukanlah proses pengilingan ulang sebanyak 4 kali sehingga bisa mendapatkan hasil yang sesuai dengan pengujian dengan tingkat pemisahan kacang dan kulit ari sebesar 92%. Hasil pengujian alat dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian

Penggilingan ke-	Berat	Hasil	Gambar	Keterangan
1	300 gram	60%	  	1. Kacang sebelum dikupas 2. Kacang sesudah dikupas 3. Berat kacang 4. Kulit ari kacang
2	400 gram	80%	  	1. Kacang sebelum dikupas 2. Kacang sesudah dikupas 3. Berat kacang 4. Kulit ari kacang

Penggilingan ke-	Berat	Hasil	Gambar		Keterangan
3	450 gram	90%			1. Kacang sebelum dikupas
					2. Kacang sesudah dikupas
					3. Berat kacang
					4. Kulit ari kacang
4	460 gram	92%			
					
4	460 gram	92%			1. Kacang sebelum dikupas
					2. Kacang sesudah dikupas
					3. Berat kacang
					4. Kulit ari kacang
4	460 gram	92%			
					

4. KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian dan pembuatan mesin pengupas kulit ari kacang sangrai, dapat disimpulkan bahwa dengan mesin pengupas kulit ari kacang sangrai ini, produsen kue kering khususnya roti kacang dapat menghemat dari segi tenaga karena pemisahan kacang dan kulit ari menggunakan mesin pengupas kulit ari. Pengujian alat pengupas dan pemisah kulit ari kacang sangrai dilakukan dengan menggunakan kacang tanah yang telah disangrai dan menghasilkan kapasitas rata-rata dari $\frac{1}{2}$ Kg atau 500 gram melalui proses 4 kali penggilingan, Maka didapatkan tingkat keberhasilan pengupasan sebesar 92% dari $\frac{1}{2}$ Kg atau 500 gram.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. F. Arriyani, Husman, R. Ardiansyah, and V. Suryani, "Mekanisme Pencetak Kue Kacang," J. Manutech, vol. 10, pp. 65–69, 2018.
- [2] T. Setiawan, "Vol.+2+No.+1+Juni+2023+Hal+140-148 (1)," vol. 2, no. 1, pp. 140–148, 2023.
- [3] R. Tahapali, R. Djafar, and Y. Djamalu, "Modifikasi Mesin Pengupas Kulit Kacang Tanah," J. Teknol. Pertan. Gorontalo, vol. 4, no. 2, pp. 78–82, 2019, doi: 10.30869/jtpg.v4i2.466.
- [4] Q. Qomaruddin, "Rancang Bangun Mesin Pengupas Kulit Ari Kacang Hijau Sistem Roller Kapasitas 50 Kg/Jam," Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput., vol. 6, no. 2, p. 375, 2015, doi: 10.24176/simet.v6i2.475.

- [5] R. Risfendra, S. Sukardi, and H. Setyawan, "Uji Kelayakan Penerapan Trainer Programmable Logic Controller Berbasis Outseal PLC Shield Pada Mata Pelajaran Instalasi Motor Listrik," *JTEV (Jurnal Tek. Elektro dan Vokasional)*, vol. 6, no. 2, p. 48, 2020, doi: 10.24036/jtev.v6i2.108508.
- [6] R. S. Violinda and P. Jaya, "Rancang Bangun Sistem Parkir Menggunakan PLC Outseal Berbasis Internet of Things (IoT)," *Voteteknika (Vocational Tek. Elektron. dan Inform., vol. 10, no. 3, p. 48, 2022, doi: 10.24036/voteteknika.v10i3.118849.*
- [7] W. S. Alfira and K. Riyadi, "Kelayakan Plc Outseal Pada Pengontrolan Motor Induksi 3 Fasa," *Semin. Nas. Has. Penelit. Pengabd. Kpd. Masy., vol. 7, no. 1, pp. 106–110, 2022, [Online]. Available: <http://118.98.121.208/index.php/snp2m/article/download/3866/3275>*
- [8] U. Muhammad, Mukhlisin, Nuardi, A. Mansur, and M. Aditya Bachri Maulana, "Rancang Bangun Power Supply Adjustable Current pada Sistem Pendingin Berbasis Termoelektrik," *J. Electr. Enggining*, vol. 2, no. 2, pp. 106–110, 2021.
- [9] M. Saleh and M. Haryanti, "Rancang Bangun Sistem Keamanan Rumah Menggunakan Relay," *J. Teknol. Elektro, Univ. Mercu Buana, vol. 8, no. 2, pp. 87–94, 2017, [Online]. Available: <https://media.neliti.com/media/publications/141935-ID-perancangan-simulasi-sistem-pemantauan-p.pdf>*
- [10] W. Sulaeman, E. Alimudin, A. Sumardiono, P. N. Cilacap, T. Elektronika, and K. Cilacap, "Sistem Pengaman Loker dengan Menggunakan Deteksi Wajah," *J. Energy Electr. Eng., vol. 3, no. 2, pp. 117–122, 2022.*
- [11] T. Rahajoeningroem and R. S. Muslim, "Alat Pengukur Kecepatan Digital dan Lampu Indikator Nirkabel pada Jaket Pengendara Sepeda Digital Speedometers and Wireless Indicator Lights on Cyclist Jackets," vol. 6, no. 2, p. 23, 2018.
- [12] A. Assegaf, T. Tohir, P. Negeri Bandung Jl Gegerkalong Hilir, K. Parongpong, and K. Bandung Barat, "Koordinasi Selektif MCB Metoda Waktu-Arus dengan Simulasi ETAP MCB Selective Coordination of Time-Current Methods with ETAP Simulation," no. November 2019, pp. 462–466, 2019.
- [13] P. Yosua, D. Budhi Santoso, and A. Stefanie, "Rancang Bangun Automatic Washing and Drying System untuk Mesin Pencuci Cylinder Block Motor," *J. Ilm. Wahana Pendidik., vol. 7, no. 4, pp. 430–444, 2021, doi: 10.5281/zenodo.5167080.*
- [14] A. S. Arifin, "Rancang Bangun (Pltmh) Memanfaatkan Motor Listrik Singkron (Ac) Type Dinamo (Xqd-135-a) Sebagai Generator Memanfaatkan ,," *Sci. Electro, pp. 1–4, 2022, [Online]. Available: <http://riset.unisma.ac.id/index.php/jte/article/download/17227/13130>*
- [15] S. Noor and N. Saputera, "Efisiensi Pemakaian Daya Listrik Menggunakan Kapasitor Bank," *J. Poros Tek., vol. 6, no. 2, pp. 73–78, 2014.*

Sistem Pendeteksi Kebocoran Gas pada LPG dan Suhu Ruangan Berbasis Protokol MQTT Menggunakan Metode *Fuzzy Logic*

Gas Leak Detection System in LPG and Room Temperature Based on MQTT Protocol Using Fuzzy Logic Method

Moh. Zainul Arif¹, Rini Puji Astutik²

^{1,2} Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Gresik
Jl. Sumatra No.101, Randuagung, Gresik, 61121

Informasi Makalah

Dikirim, 24 Oktober 2024
Diterima, 18 November 2024
Diterbitkan, 20 Desember 2024

Kata Kunci:

Tabung Gas
Aplikasi IoT MQTT Panel
Fuzzy logic

Keyword:

Gas Cylinder
IoT MQTT Panel Application
Fuzzy logic

INTISARI

Dalam rangka mengurangi potensi kebakaran yang disebabkan kebocoran gas LPG dan suhu ruangan yang panas, dibutuhkan perangkat perlindungan yang berfungsi sebagai alat pendeteksi kebocoran gas untuk mencegah terjadinya kebakaran. Dalam penelitian ini, penerapan sistem peringatan dini melibatkan penggunaan perangkat ESP8266 sebagai kontroler sensor dan aplikasi IoT MQTT Panel untuk mengirimkan pesan peringatan ke pengguna. ESP8266 dapat dipergunakan untuk memproses input yang diterima dengan menggunakan metode *fuzzy logic*, sementara protokol MQTT digunakan sebagai penghubung antara *publisher* dan *subscriber* melalui broker. Aplikasi IoT MQTT Panel digunakan sebagai monitoring sistem Pendeteksi kadar gas pada LPG dan suhu ruangan, sedangkan HiveMQ digunakan sebagai broker untuk penghubung antara *publisher* dan *subscriber* yang mengirimkan peringatan kepada pengguna. Perencanaan perangkat deteksi kebocoran gas LPG menggunakan sensor gas MQ-2 dan sensor suhu DHT 11, mengaktifkan alarm dan lampu untuk memberikan peringatan dan menyampaikan notifikasi dengan data kadar gas dan suhu melalui Aplikasi IoT MQTT Panel. Relay dan *fan* hidup sebagai komponen pendukung pencegahan kebakaran yang disebabkan oleh gas LPG.

ABSTRACT

In order to reduce the potential for fires caused by LPG gas leaks and hot room temperatures, a protective device is needed that functions as a gas leak detection tool to prevent fires. In this research, the implementation of an early warning system involves the use of an ESP8266 device as a sensor controller and the MQTT Panel IoT application to send warning messages to users. ESP8266 can be used to process input received using the fuzzy logic method, while the MQTT protocol is used as a link between publishers and subscribers via a broker. The IoT MQTT Panel application is used as a monitoring system for detecting gas levels in LPG and room temperature, while HiveMQ is used as a broker to connect publishers and subscribers who send warnings to users. Planning for an LPG gas leak detection device using the MQ-2 gas sensor and DHT 11 temperature sensor, activating alarms and lights to provide warnings and convey notifications with gas level and temperature data via the MQTT Panel IoT Application. Relays and fans work as supporting components to prevent fires caused by LPG gas.

Korespondensi Penulis:

Moh. Zainul Arif, Rini Puji Astutik
Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Gresik
Jl. Sumatera No.101, Randuagung, Gresik, 61121 Email : mohzainularif9@gmail.com,
astutikrpa@umg.ac.id

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi masyarakat Indonesia tidak dapat dipisahkan dari kebutuhan sehari-hari. Kehidupan masyarakat bergantung pada sumber daya alam, yang semakin langka terutama dalam hal energi fosil seperti minyak bumi [1]. *Liquefied Petroleum Gas* (LPG) adalah gas hidrokarbon produksi dari kilang minyak serta kilang gas dengan komponen utama gas propane dan butane yang dikemas di dalam tabung [2]. Gas LPG yang semakin populer di kalangan masyarakat tidak sebanding dengan penurunan kualitas tabung gas yang diproduksi oleh produsen, sehingga dimasyarakat seringkali ditemukan tabung gas yang mengalami kerusakan, rentan terhadap karat, penyok, sehingga berpotensi menyebabkan kebocoran gas LPG [3].

Meningkatnya angka kebakaran dan ledakan akibat Kebocoran tabung gas LPG (*Liquefied Petroleum Gas*) menjadi hal yang menakutkan bagi para pengguna gas [4]. Ledakan tabung gas ini terjadi karena berbagai sebab, misalnya regulator yang terpasang dengan buruk atau ada kebocoran pada pipa selang. Jika terjadi kebocoran, gas yang baunya menyengat akan keluar dan gas akan cepat menguap jika suhu ruangan berada diatas 25°C sehingga apabila ada percikan api maka akan menyebabkan kebakaran [5].

Untuk meminimalisir permasalahan kebocoran gas LPG yang berpotensi menimbulkan kebakaran, maka perlu dibuat alat yang mampu mendeteksi kebocoran gas. Dengan adanya kemajuan teknologi saat ini dalam hal mikrokontroler dan komunikasi maka digunakanlah NodeMCU ESP8266 sebagai pengolah sinyal [6]. NodeMCU menyediakan konektivitas Wi-Fi yang memudahkan perangkat untuk terhubung ke internet, serta memiliki berbagai pin GPIO yang dapat diprogram untuk berbagai aplikasi [7]. NodeMCU dihubungkan dengan sensor MQ 02 yang merupakan salah satu sensor gas yang dirancang untuk mendeteksi keberadaan beberapa jenis gas, khususnya gas yang dapat membahayakan atau mencemari udara [8]. Untuk menjaga suhu ruangan tempat tata letak gas LPG tetap stabil maka digunakan sensor suhu yaitu DHT 11, sensor DHT11 dapat mengukur suhu di lingkungan sekitar dalam rentang 0°C hingga 50°C (dengan akurasi $\pm 2^\circ\text{C}$) [9]. Suhu ruangan yang panas dapat menyebabkan ledakan pada LPG, hal ini dikarenakan gas yang cepat menguap dan tekanan pada dalam tabung apabila terkena suhu yang panas sehingga dapat menyebabkan ledakan pada gas [5].

Dalam konteks ini diperlukan juga sebuah teknik untuk menjadi pengambil keputusan yang tepat ketika terjadi kebocoran LPG. *Fuzzy logic* merupakan suatu teknik yang dapat digunakan untuk mengatasi persoalan ini. Logika fuzzy adalah cabang dari logika yang digunakan untuk menangani ketidakpastian dan inkonsistensi dalam data atau informasi. logika fuzzy memungkinkan nilai kebenaran berada dalam rentang kontinu antara 0 dan 1 [10]. Konsep ini memungkinkan model yang lebih fleksibel dan realistis untuk menggambarkan fenomena yang tidak pasti atau kabur (fuzzy) yang banyak ditemukan dalam kehidupan sehari-hari. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah Sistem Inferensi Fuzzy (FIS), yaitu sistem yang melibatkan proses pemetaan dari masukan (*input*) yang diberikan menjadi keluaran (*output*) dengan menggunakan logika Fuzzy [11].

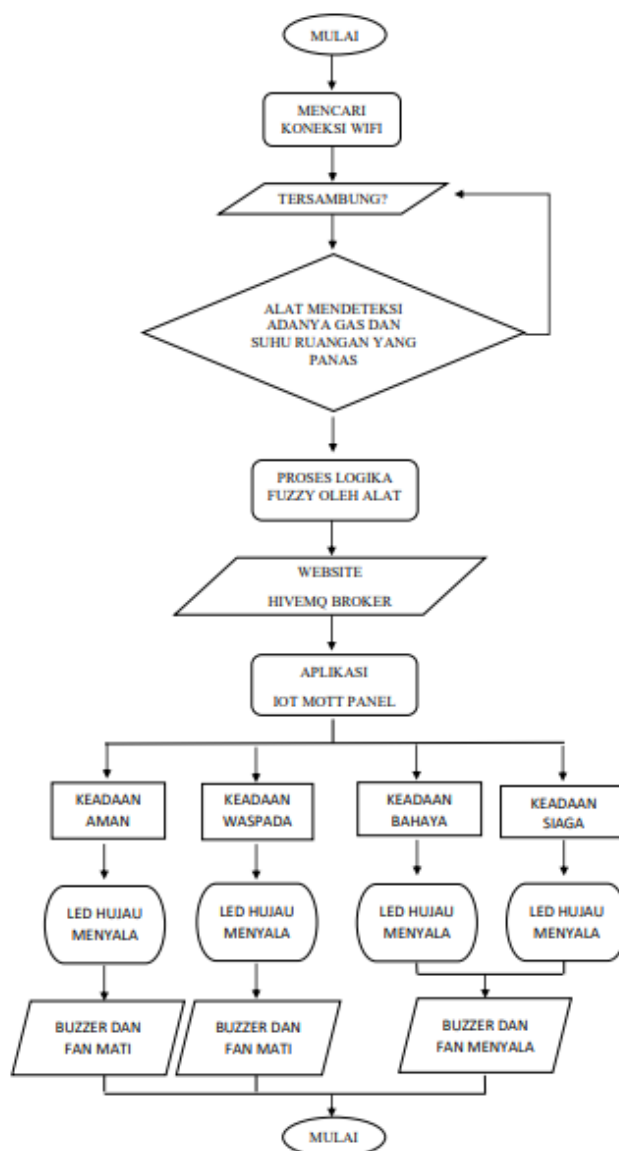
Data sensor yang telah dipadukan dengan metode *fuzzy logic* kemudian memberikan perintah untuk menyalakan komponen pendukung seperti kipas yang digunakan untuk menyebarkan gas secara merata, menghindari penumpukan gas di satu titik, serta menjamin ventilasi yang baik agar suhu ruangan kembali stabil [12]. Ada juga komponen *buzzer* alarm yang memainkan peran penting dalam sistem deteksi gas LPG atau sistem alarm lainnya, yaitu memberikan indikasi alarm suara kepada pengguna atau operator bahwa sesuatu yang tidak normal telah terdeteksi [13]. Ada juga lampu LED yang menyala sesuai dengan kondisi gas LPG aman, siaga, waspada atau bahaya. Data yang telah terkumpul kemudian melewati proses protokol MQTT yaitu protokol komunikasi ringan yang digunakan untuk mengirimkan pesan antar perangkat dalam jaringan *Internet of Things* (IoT) [14]. Data yang dikirim oleh NodeMCU ESP8266 (*subscriber*) menuju *website* HiveMQ (*broker*) untuk disimpan sementara sebagai penghubung *subscriber* dan *publisher*, data kemudian diteruskan ke aplikasi android IoT MQTT Panel (*publisher*). Aplikasi IoT MQTT Panel adalah aplikasi yang digunakan untuk memantau dan mengelola perangkat IoT (*Internet of Things*) yang terhubung melalui protokol MQTT [15]. Aplikasi ini memungkinkan pengguna untuk memonitor status perangkat IoT, mengirim dan menerima data, serta mengontrol perangkat dari jarak jauh melalui antarmuka pengguna yang sederhana, sehingga pengguna dapat melihat kondisi status gas LPG hanya dengan melihat *smartphone*. Dengan demikian penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan prototipe sistem pendeteksi kebocoran gas dan suhu ruangan pada gas LPG. Menggunakan sensor gas MQ-02 sensor suhu DHT, sistem ini memberikan peringatan dini dan memungkinkan tindakan cepat. *Fuzzy logic* digunakan untuk pengambilan keputusan yang tepat ketika terjadi kebocoran dan suhu ruangan yang tinggi. Tujuannya adalah untuk mencegah terjadinya ledakan atau kebakaran yang disebabkan oleh gas LPG.

2. METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian ini melibatkan beberapa tahapan yang terstruktur. Alur konseptual penelitian ini mengikuti tahapan-tahapan dalam proses perancangan sistem. Perancangan sistem yang diterapkan dalam penelitian ini mencakup tiga tahapan utama, yaitu perancangan perangkat keras (*hardware*), perancangan perangkat lunak (*software*), dan penerapan metode *fuzzy logic*.

2.1. Perencanaan Software

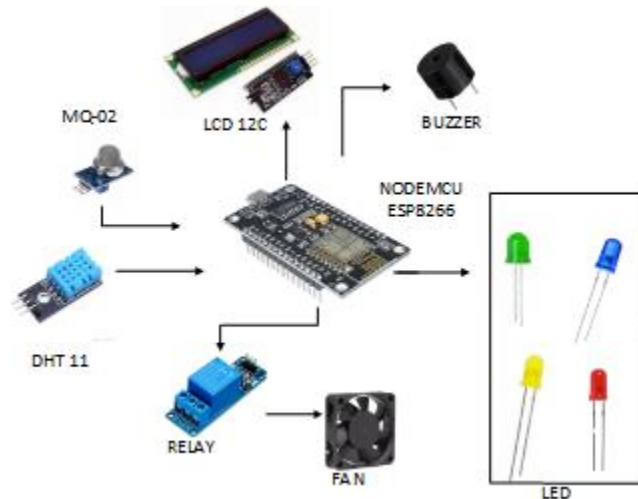
Dalam kasus ini, perancangan *software* merupakan alur sistem dari cara kerja alat, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. *Flowchart* ini menjelaskan perancangan dari *fuzzy logic* dan protokol MQTT. *Flowchart* perancangan sistem peringatan dini kebocoran gas pada LPG dan suhu ruangan. Sistem dimulai dengan menghubungkan ESP8266 ke internet menggunakan koneksi WiFi, jika sudah tersambung maka alat akan mulai mendeteksi kadar gas pada LPG dan suhu ruangan, apabila sistem mendeteksi adanya kebocoran gas dan suhu ruangan panas, maka sistem akan melanjutkan ke proses logika *fuzzy logic*. Setelah selesai, sistem akan melanjutkan ke protokol MQTT dengan dimulai mengirimkan pesan ke *broker* MQTT yaitu HiveMQ, kemudian *broker* akan melanjutkan pesan ke *subscriber* yaitu aplikasi IoT MQTT Panel. Aplikasi IoT MQTT Panel akan menampilkan data gas dan suhu ruangan, jika dalam keadaan aman maka LED hijau menyala disertai komponen *fan* dan *buzzer* tidak aktif, jika dalam keadaan waspada maka LED biru menyala disertai komponen *buzzer* aktif dan *fan* mati, dan jika dalam keadaan siaga atau keadaan bahaya, maka LED kuning atau merah akan menyala disertai komponen *fan* dan *buzzer* aktif.



Gambar 1. *Flowchart* Sistem Pendeteksi Gas dan Suhu Ruangan

2.2. Perencanaan Elektronika

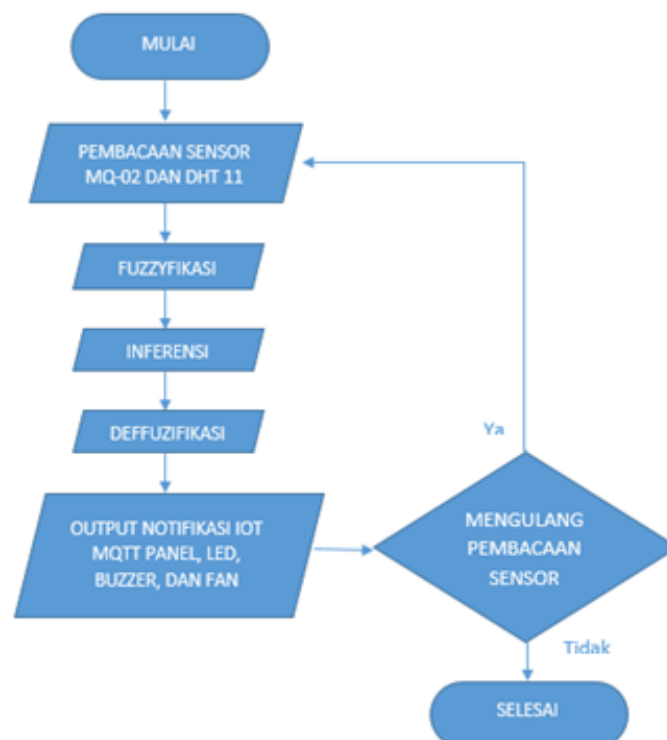
Rangkaian mikrokontroler yang digunakan untuk pendeteksi kebocoran gas dan suhu ruangan menggunakan dua sensor, yaitu sensor gas MQ-2 dan sensor suhu DHT 11. Data yang terbaca oleh sensor kemudian dikirimkan ke NodeMCU ESP8266 untuk diteruskan ke proses *fuzzy logic*, data output dari NodeMCU ESP8266 kemudian diteruskan ke komponen *buzzer*, LED, relay dan LCD I2C yang bekerja sesuai dengan kondisi gas LPG. Data yang telah dikumpulkan oleh NodeMCU ESP8266 kemudian di teruskan ke protokol MQTT. Rangkaian mikrokontroler inilah yang nantinya digunakan sebagai *publisher* untuk protokol MQTT. Perancangan mikrokontroler tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Rancangan Elektronika

2.3. Perancangan Metode Fuzzy Logic Mamdani

Proses fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi digunakan untuk memproses nilai yang dibaca sensor untuk mendapatkan hasil keputusan terbaik. Diagram alir dari perhitungan *fuzzy logic* dapat dilihat pada Gambar 3.

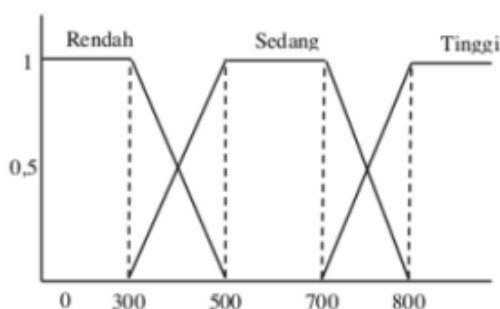


Gambar 3. Diagram Aliran Perhitungan Fuzzy Logic

Keterangan:

1. Proses awal dilakukan dengan menentukan masing-masing kriteria yaitu kadar gas dan suhu ruangan.
2. Kemudian berdasarkan kriteria tersebut, dilanjutkan dengan menentukan implikasi dari setiap kriteria (menentukan himpunan semua variabel).
3. Prosesnya menghitung derajat fungsi keanggotaan dengan kurva untuk setiap kriteria variabel, yang kemudian dijadikan nilai bobot untuk setiap kriteria.

Sistem ini memiliki dua keanggotaan fuzzy, variabel gas dan suhu ruangan. Keanggotaan variabel gas dibagi menjadi tiga himpunan: gas rendah (antara 300 dan 500), sedang (antara 300 dan 800), dan tinggi (lebih dari 700). Kurva himpunan keanggotaan gas digambarkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Kurva Keanggotaan Variabel Gas

Berdasarkan Gambar 4 nilai keanggotaan dari variabel gas sebagai berikut.

a. Rendah [300-500]

$$\mu [\text{Rendah}] = \begin{cases} 0, x \leq 300 \text{ atau } x \geq 500 \\ \frac{x-300}{400-300} & 300 \leq x \leq 400 \\ \frac{500-x}{500-400} & 400 \leq x \leq 500 \\ 1, x = 500 \end{cases}$$

b. Sedang [300-800]

$$\mu [\text{Sedang}] = \begin{cases} 0, x \leq 300 \text{ atau } x \geq 800 \\ \frac{x-300}{550-300} & 300 \leq x \leq 550 \\ \frac{800-x}{800-550} & 550 \leq x \leq 800 \\ 1, x = 800 \end{cases}$$

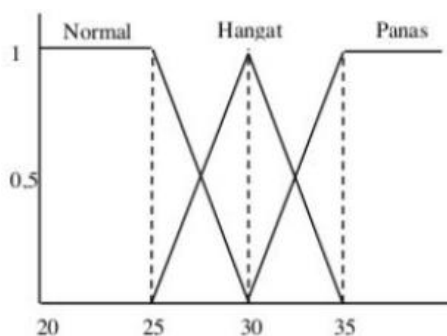
c. Tinggi [700-800]

$$\mu [\text{Tinggi}] = \begin{cases} 0, x \leq 700 \\ \frac{x-700}{800-700} & 700 \leq x \leq 800 \\ 1, x \geq 800 \end{cases}$$

Selanjutnya, keanggotaan suhu dibagi menjadi tiga himpunan:

Normal (20°C s.d.30 °C), Hangat (25°C s.d. 35°C), dan Panas (lebih dari 30 °C).

Kurva himpunan keanggotaan suhu digambarkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Kurva Keanggotaan Variabel Suhu Ruangan

a. Normal [20 °C s.d. 30 °C]

$$\mu[\text{Normal}] = \begin{cases} 0, x \leq 20 \text{ atau } x \geq 30 \\ \frac{x-20}{25-20} 20 \leq x \leq 25 \\ \frac{30-x}{30-25} 25 \leq x \leq 30 \\ 1, x = 30 \end{cases}$$

b. Hangat [25 °C s.d. 35 °C]

$$\mu[\text{Hangat}] = \begin{cases} 0, x \leq 25 \text{ atau } x \geq 35 \\ \frac{x-25}{30-25} 25 \leq x \leq 30 \\ \frac{35-x}{35-30} 30 \leq x \leq 35 \\ 1, x = 35 \end{cases}$$

c. Panas [> 30 °C]

$$\mu[\text{Panas}] = \begin{cases} 0, x \leq 30 \\ \frac{x-30}{35-30} 30 \leq x \leq 35 \\ 1, x > 35 \end{cases}$$

Nilai yang diperoleh dari proses fuzzifikasi akan digunakan untuk inferensi. Tujuan dari proses inferensi adalah untuk menemukan kondisi *output* menggunakan aturan fuzzy dengan susunan *IF* gas *AND* suhu *THEN* kondisi. Hasil dari proses ini digambarkan dalam Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Pembentukan Aturan Fuzzy

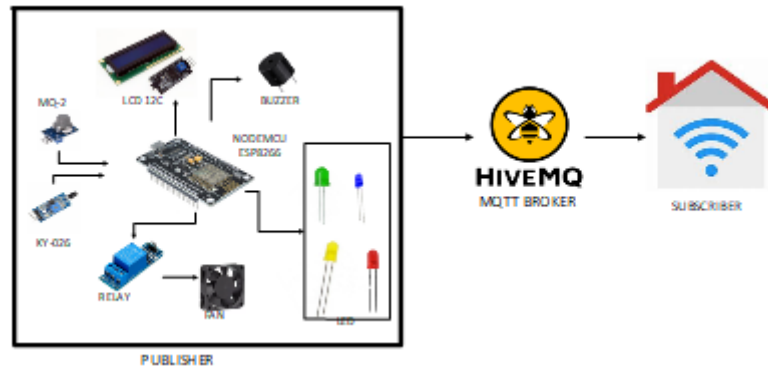
RULE	IF	KEBOCORAN GAS	THEN	SUHURUANGAN	KONDISI
Rule 1	If	Rendah	Then	Normal	Aman
Rule 2	If	Rendah	Then	Hangat	Aman
Rule 3	If	Rendah	Then	Panas	Siaga
Rule 4	If	Sedang	Then	Normal	Waspada
Rule 5	If	Sedang	Then	Hangat	Waspada
Rule 6	If	Sedang	Then	Panas	Siaga
Rule 7	If	Tinggi	Then	Normal	Siaga
Rule 8	If	Tinggi	Then	Hangat	Bahaya
Rule 9	If	Tinggi	Then	Panas	Bahaya

Setelah menemukan aturan yang tepat, metode min-max digunakan untuk menemukan nilai terkecil dari setiap aturan, menghasilkan nilai α , yang merupakan nilai keanggotaan baru. Setelah proses defuzzifikasi menggunakan metode maksimum, hasil defuzzifikasi akan menjadi nilai output sistem. Nilai output sistem terdiri dari nilai-nilai Aman, Siaga, Waspada, dan Bahaya. Berikut adalah cara mengambil nilai maksimum dari proses defuzzifikasi.

1. (rule1 dan rule2) kondisi Aman max.
2. (rule 4 dan rule 5) kondisi Waspada max.
3. (rule3, rule 6 dan rule 7) kondisi Siaga max.
4. (rule 8 dan rule 9) kondisi Bahaya max.

2.4. Perencanaan Protokol MQTT

Modul mikrokontroler pendeteksi kebocoran gas dan suhu ruangan dibuat dengan menghubungkan dua sensor yaitu sensor gas MQ-2 dan sensor DHT 11 NodeMCU ESP8266. Mikrokontroler ini bertindak sebagai *publisher*, untuk broker menggunakan HiveMQ, sedangkan untuk *subscriber* menggunakan aplikasi IoT MQTT Panel. Data yang terbaca dikirimkan oleh sensor kemudian diproses oleh esp8266 dan diteruskan pada MQTT broker dan diteruskan lagi ke aplikasi IoT MQTT Panel. Perencanaan protokol MQTT dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Perencanaan Protokol MQTT

Berikut langkah untuk menghubungkan Arduino dengan IoT MQTT Panel melalui Broker HiveMQ:

1. Menginstall Pustaka MQTT di Arduino IDE
Buka Arduino IDE, kemudian pergi ke menu "Sketch" -> "Include Library" -> "Manage Libraries". Cari dan instal pustaka "PubSubClient" yang dibuat oleh Nick O'Leary.
2. Mengatur *Broker* MQTT HiveMQ:
Buka situs web HiveMQ di <https://www.hivemq.com/>
Klik "Get Started" untuk membuat akun gratis.
Setelah login, akan mendapatkan informasi server, port, *username*, dan *password* untuk terhubung ke broker MQTT HiveMQ.
3. Menulis Kode Arduino untuk Koneksi MQTT:
Buka Arduino IDE dan buat *sketch* baru.
Masukkan kode program seperti pada Gambar 7 pastikan mengganti *server*, *username*, dan *password* dengan informasi yang didapatkan dari HiveMQ:

```
#include <WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>

// Koneksi WiFi
const char* ssid = "your_wifi_ssid";
const char* password = "your_wifi_password";

// Koneksi MQTT
const char* server = "broker.hivemq.com";
const char* username = "your_hivemq_username";
const char* password = "your_hivemq_password";

WiFiClient espClient;
PubSubClient client(espClient);

void setup() {
  Serial.begin(115200);

  // Koneksi WiFi
  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.println("Connecting to WiFi...");
  }
  Serial.println("Connected to WiFi");

  // Koneksi MQTT
  client.setServer(server, 1883);
  while (!client.connected()) {
    Serial.println("Connecting to MQTT broker...");
    if (client.connect("ArduinoClient", username, password)) {
      Serial.println("Connected to MQTT broker");
    } else {
      Serial.print("Failed to connect, rc=");
      Serial.println(client.state());
      delay(2000);
    }
  }
}

void loop() {
  // Jalankan kode Anda di sini
  // Contoh: Mempublikasikan pesan ke topik MQTT
  client.publish("test/topic", "Hello, MQTT!");
  delay(5000);
}
```

Gambar 7. Code Menghubungkan Arduino ke Broker

4. Mengunggah Kode ke Arduino:
Pastikan Arduino terhubung ke komputer.
Klik tombol "Upload" di Arduino IDE untuk mengunggah kode ke Arduino.
5. Memantau Koneksi MQTT di IoT MQTT Panel:
Buka IoT MQTT Panel di *mobile device*.
Masukkan informasi koneksi MQTT yang didapatkan dari HiveMQ.
pesan yang dipublikasikan oleh Arduino di panel MQTT akan muncul seperti pada Gambar 8.

← Edit Connection

Connection name *
monitoring gas dan suhu

Client ID
kontrol 1

Broker Web/IP address *
broker.hivemq.com

Port *
1883

Network protocol
TCP

Add Dashboard

monitoring gas dan suhu

Additional options

Username Password

☒ Auto connect ☐ Keep alive * 60

☒ Clean session

☐ Enable will message

☐ Notify on disconnect

Gambar 8. Mengkoneksi Aplikasi IoT MQTT Panel ke Broker

Aplikasi IoT MQTT Panel hanya bertindak sebagai *subscriber* saja, tidak dirancang sebagai *publisher*, karena di aplikasi ini nantinya hanya akan menjadi monitor penampil data yang dikirim oleh mikrokontroler.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengujian Sensor MQ 02

Pengujian sensor MQ 02 akan menguji bagaimana sensor MQ 02 mendeteksi kondisi gas sebelum terjadi kebocoran dan sesudah terjadi kebocoran. Jika terjadi kebocoran maka sensor MQ 02 akan menunjukkan nilai yang ditampilkan pada LCD I2C. Pengujian sensor MQ 02 dilakukan dengan memberikan simulasi kebocoran gas LPG menggunakan gas yang terdapat pada korek api. Secara umum kandungan yang terdapat pada korek gas sama dengan yang ada pada gas LPG. Berikut hasil pengujian sensorMQ 02 ditunjukan pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengujian Sensor Gas MQ-2

No	Durasi Menekan Tuas Gas	Sebelum Terjadi Kebocoran Gas	Sesudah Terjadi Kebocoran Gas
1	1 detik	93 ppm	120 ppm
2	3 detik	94 ppm	126 ppm
3	5 detik	92 ppm	299 ppm
4	7 detik	95 ppm	400 ppm
5	9 detik	92 ppm	512 ppm

Pada Tabel 2 menunjukan bahwa pengujian untuk mengetahui kondisi gas sebelum dan sesudah terjadi kebocoran berhasil dilakukan. Dapat diperhatikan ketika tidak terjadi kebocoran, sensor membaca nilai sebesar 92 ppm - 95 ppm, setelah diberi stimulus kebocoran yang bersumber dari korek gas, sensor mengalami kenaikan nilai. Ketika korek gas tidak lagi memberikan stimulus kebocoran dengan waktu yang berbeda maka secara perlahan gas mulai terurai. Berdasarkan hasil pengujian ini, sensor MQ 02 dapat mendeteksi kebocoran gas dengan baik.

3.2. Pengujian Sensor DHT 11

Pengujian sensor DHT-11 akan menguji bagaimana sensor DHT-11 mendeteksi suhu yang berada pada ruangan. Sensor DHT-11 akan membaca nilai suhu dalam bentuk derajat celsius (°C). Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kemampuan sensor DHT11 dalam membaca nilai suhu pada ruangan. Pengujian dilakukan didalam ruangan yang berukuran 4x3 meter dengan suhu luar sekitar 30°C. Sebelum mengamati hasil pembacaan sensor, terlebih dahulu sensor dibiarkan selama 3 menit agar pembacaan sensor DHT11 menjadi stabil. Hasil pengujian sensor DHT-11 ditunjukan pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengujian Sensor DHT 11

No	Durasi	Sensor Dht 11
1	1 detik	29 °C
2	3 detik	29.5 °C
3	5 detik	31 °C
4	7 detik	30 °C
5	9 detik	29.3 °C

Pada Tabel 3 menunjukkan hasil dari pengujian DHT-11 yang dilakukan dengan waktu yang berbeda dengan mengambil 5 sampel pengujian. Dari hasil pengujian tersebut sensor dapat mendeteksi suhu ruangan sekitar 29°C sampai dengan 30°C. Dari pengujian ini didapatkan bahwa sensor DHT11 dapat membaca nilai suhu ruangan dengan kenaikan yang tidak terlalu signifikan.

3.3. Pengujian Fuzzy Logic Mamdani

Pengujian fuzzy akan dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan sistem dengan hasil perhitungan manual. Pengujian ini untuk membandingkan kesesuaian hasil fuzzy yang dihasilkan oleh sistem dengan hasil fuzzy yang dilakukan secara manual. Data yang digunakan dalam pengujian sebanyak 7 sampel dengan nilai input yang berbeda. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengujian Fuzzy Logic

No	Sensor MQ-02	Sensor Dht 11	Output Sistem	Output Manual	Kondisi
1	300	23	0.6	0.6	Aman
2	600	33	0.6	0.6	Waspada
3	700	30	0.4	0.4	Siaga
4	900	33	0.6	0.6	Bahaya

Berdasarkan pengujian di Tabel 4, dapat dianalisis bahwa rumus fuzzy yang digunakan untuk menentukan kondisi kebocoran gas LPG pada sistem telah sesuai dan benar. Berikut adalah pengujian secara manual menurut rumus perhitungan fuzzy.

Input data dari :

Sensor Gas : 900 ppm

Sensor Suhu : 33 derajat Celsius

a. Fuzzifikasi

GAS

Rendah : 0

Medium : 0

Tinggi : 1, $x \geq 800 : 1$

SUHU

Normal : 0

Hangat : $\frac{35-33}{35-30} : \frac{2}{5} : 0.4$

Tinggi : 0

b. Inferensi

Rule[1]: IF GAS RENDAH && SUHU NORMAL THEN

AMAN

α -predikat1 = min ($\mu_{\text{Gas Rendah}} \cap \mu_{\text{Suhu Normal}}$)

= min ($\mu_0 \cap \mu_0$)

= 0

Rule[3]: IF GAS RENDAH && SUHU PANAS THEN

SIAGA

α -predikat1 = min ($\mu_{\text{Gas Rendah}} \cap \mu_{\text{Suhu Panas}}$)

= min ($\mu_0 \cap \mu_0$)

= 0

Rule[5]: IF GAS SEDANG && SUHU HANGAT THEN

WASPADA

α -predikat1 = min ($\mu_{\text{Gas Sedang}} \cap \mu_{\text{Suhu Hangat}}$)

= min ($\mu_0 \cap \mu_{0.4}$)

= 0

Rule[9]: IF GAS TINGGI && SUHU PANAS THEN

BAHAYA

α -predikat1 = min ($\mu_{\text{Gas Tinggi}} \cap \mu_{\text{Suhu Panas}}$)

= min ($\mu_1 \cap \mu_{0.4}$)

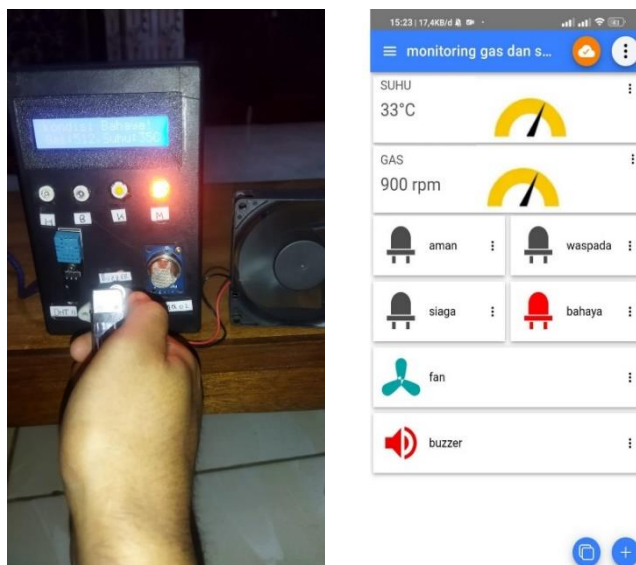
= 0.4

- c. Defuzzifikasi
 $MAX = (AMAN, SIAGA, WASPADA, BAHAYA)$
 $MAX (0, 0, 0, 0.4)$
 $MAX 0.4 \Rightarrow \mathbf{BAHAYA}$

Hasil perhitungan fuzzy secara manual menunjukkan kondisi bahaya dengan data kebocoran gas 900 ppm dan suhu ruangan 33°C. Hasil perhitungan manual dengan perhitungan sistem hasilnya sama. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa perancangan fuzzy telah sesuai dengan perancangan.

3.4. Pengujian Aplikasi IoT MQTT Panel

Pengujian Aplikasi IoT MQTT PANEL dilakukan dengan melihat kesamaan dari hasil *output* alat dan aplikasi dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Kondisi Alat dan Aplikasi Ketika Kondisi Bahaya

Pada Gambar 9 merupakan hasil output yang terjadi pada alat dan aplikasi IoT MQTT Panel, dimana pada saat alat mendeteksi kondisi bahaya pada gas LPG, maka LED merah, *fan* dan *buzzer* aktif sesuai dengan perancangan *software*. Tabel 5 berikut adalah hasil dari pengujian alat dan aplikasi IoT MQTT Panel.

Tabel 5. Pengujian Alat dan Aplikasi IoT MQTT Panel

No	Kadar Gas (ppm)	Suhu (°C)	<i>Fan</i>	<i>Buzzer</i>	LED			
	Aplikasi	Aplikasi	Aplikasi	Aplikasi	Aplikasi			
					Hijau (Aman)	Biru (Waspada)	Kuning (Siaga)	Merah (Bahaya)
1	300	23	Mati	Mati	Aktif	Mati	Mati	Mati
2	600	33	Mati	Mati	Mati	Aktif	Mati	Mati
3	700	30	Aktif	Aktif	Mati	Mati	Aktif	Mati
4	900	33	Aktif	Aktif	Mati	Mati	Mati	Aktif

4. KESIMPULAN

Sistem pendeteksi kebocoran gas pada LPG dan suhu ruangan berbasis protokol MQTT menggunakan metode *fuzzy logic* merupakan solusi inovatif untuk meningkatkan keselamatan. Sistem ini bekerja dengan memonitor konsentrasi gas dan suhu secara real-time. Dengan menggunakan protokol MQTT, data dapat dikirim secara efisien ke server atau aplikasi pemantauan. Metode *fuzzy logic* berperan dalam mengolah data yang tidak pasti, menghasilkan keputusan yang lebih akurat terkait status kebocoran. Secara keseluruhan, sistem ini menawarkan respons cepat terhadap potensi bahaya, membantu mencegah kecelakaan dan menjaga keselamatan dari bahaya gas LPG meskipun pengguna tidak berada di rumah.

UCAPAN TERIMAKASIH

Peneliti dengan tulus ingin menyampaikan penghargaan yang mendalam kepada semua pihak yang telah turut serta dalam proses penelitian ini. Kami mengucapkan terima kasih atas bimbingan, petunjuk, serta bantuan yang berharga dari berbagai individu dan lembaga, baik dalam hal dukungan moral maupun material. Kerjasama ini tidak hanya memberikan dorongan, tetapi juga menjadi pendorong utama bagi kesuksesan penelitian kami.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Rahmawan, M. Ginting, M. Djumantara, and M. A. Amri, "Sosialisasi Energi Baru Terbarukan Dalam Menghilangkan Ketergantungan Terhadap Energi Fosil Bagi Warga di RT 009 RW 003 Kelurahan Kebon Jeruk," *J. Abdi Masy. Indones.*, vol. 3, no. 2, pp. 181–187, 2021, doi: 10.25105/jamin.v3i2.9671.
- [2] Y. A. Hasan, M. Mardiana, and G. F. Nama, "Sistem Pendeteksi Kebocoran Tabung Gas Lpg Otomatis Berbasis Arduino Uno Menggunakan Metode Prototype," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 10, no. 3, 2022, doi: 10.23960/jitet.v10i3.2671.
- [3] K. Pugung and K. Tanggamus, "TINJAUAN HUKUM EKONOMI SYARIAH TENTANG PERLINDUNGAN KONSUMEN ATAS PEMBELIAN TABUNG LIQUIFIED PETROLEUM GAS (LPG) TANPA KARET PELINDUNG," 2024.
- [4] I. M. Mara, I. G. Bawa Susana, I. B. Alit, I. G. A. K. C. Adhi W.A., and M. Wirawan, "Penyuluhan Pencegahan Bahaya Kebakaran Penggunaan Kompor Gas LPG Rumah Tangga," *J. Karya Pengabd.*, vol. 5, no. 1, pp. 9–15, 2023, doi: 10.29303/jkp.v5i1.146.
- [5] I. Raharja, I. Budarsa, and I. Yasa, "Sistem Monitoring Kadar CO, Gas LPG, Suhu dan Kelembaban Pada Ruangan Kerja Laundry Berbasis IoT (Internet of Things)," *Repos. Politek. Negeri Bali*, no. September 2022, pp. 1–8, 2022, [Online]. Available: http://repository.pnb.ac.id/2682/%0Ahttp://repository.pnb.ac.id/2682/1/RAMA_36304_1815344010_artikel.pdf
- [6] Tri Sulistyorini, Nelly Sofi, and Erma Sova, "Pemanfaatan Telegram Untuk Pendeteksi Kebocoran Gas Berbasis Nodemcu," *J. Ilm. Tek.*, vol. 3, no. 2, pp. 17–27, 2024, doi: 10.56127/juit.v3i2.1339.
- [7] Aan Darmawan H., *NodeMCU ESP8266-12 untuk Internet of Things (IoT)*. 2023. [Online]. Available: [https://books.google.co.id/books?hl=id&lr=&id=hyrqEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA19&dq=Fi+ESP8266+yang+di+gunakan+secara+luas+dalam+aplikasi+Internet+of+Things+\(IoT\)&ots=Q4uC1U5RoG&sig=dR9ISOG6Y_AmegbndV8lFpPgnU8&redir_esc=y#v=onepage&q=Fi+ESP8266+yang+digunakan+secara+luas+dalam+aplikasi+Internet+of+Things+\(IoT\)&f=false](https://books.google.co.id/books?hl=id&lr=&id=hyrqEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA19&dq=Fi+ESP8266+yang+di+gunakan+secara+luas+dalam+aplikasi+Internet+of+Things+(IoT)&ots=Q4uC1U5RoG&sig=dR9ISOG6Y_AmegbndV8lFpPgnU8&redir_esc=y#v=onepage&q=Fi+ESP8266+yang+digunakan+secara+luas+dalam+aplikasi+Internet+of+Things+(IoT)&f=false)
- [8] B. Rahman, F. Fernando, and N. Indriawan, "Sistem Monitoring Kebocoran Gas Dan Api Menggunakan Sensor MQ-2 Dan Flame Sensor Berbasis Android," *J. Sensi*, vol. 8, no. 2, pp. 209–222, 2022, doi: 10.33050/sensi.v8i2.2429.
- [9] J. Homepage and V. K. Pratifi, "MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science Integration of DHT11 and PIR Sensors in Indoor Temperature Automation and Motion Detection System Using Arduino Nano Microcontroller Integrasi Sensor DHT11 dan PIR dalam Sistem Otomatisasi Suhu dan Deteksi Gerakan dalam Ruangan Menggunakan Mikrokontroler Arduino Nano," vol. 4, no. 3, pp. 1148–1159, 2024.
- [10] U. Athiyah, A. P. Handayani, M. Y. Aldean, N. P. Putra, and R. Ramadhani, "Sistem Inferensi Fuzzy: Pengertian, Penerapan, dan Manfaatnya," *J. Dinda Data Sci. Inf. Technol. Data Anal.*, vol. 1, no. 2, pp. 73–76, 2021, doi: 10.20895/dinda.v1i2.201.
- [11] F. Rozie *et al.*, "Aquaponics System for Catfish Farms and Hydroponic Kale Plants Based on Iot and Fuzzy Inference System," *J. Teknol. Inf. dan Ilmu Komputer*, vol. 8, no. 1, pp. 157–166, 2021, doi: 10.25126/jtiik.202184025.
- [12] H. Sanjaya, J. Triyanto, R. Andri, F. Yani, P. P. Sanjaya, and N. K. Daulay, "Kipas Angin Otomatis Menggunakan Sensor Suhu DHT11," *Semin. Nas. Sains dan Teknol. Inf.*, vol. 3, no. 1, pp. 187–191, 2021, [Online]. Available: <http://prosiding.seminar-id.com/index.php/sensasi/article/view/580>
- [13] S. Laitera, W. A. Dewa, and S. Arifin, "Penerapan Sistem Alarm Berbasis Arduino Uno Untuk Mendeteksi Kebocoran Gas LPG," *J. Janitra Inform. dan Sist. Inf.*, vol. 2, no. 2, pp. 96–106, 2022, doi: 10.25008/janitra.v2i2.159.
- [14] F. P. Eka Putra, F. Muslim, N. Hasanah, Holipah, R. Paradina, and R. Alim, "Analisis Komparasi Protokol Websocket dan MQTT Dalam Proses Push Notification," *J. Sistim Inf. dan Teknol.*, vol. 5, pp. 63–72, 2024, doi: 10.60083/jsisfotek.v5i4.325.
- [15] Hafiizh Asrofil Al Banna, Vikri Muhammad Gafar, Muhammad Darwis Mawardin, and Retno Hendrowati, "Perancangan Aplikasi Pemantauan Energi Listrik Berbasis Iot Dengan Protokol Mqtt," *J. Inform. dan Rekayasa Elektron.*, vol. 6, no. 2, pp. 203–213, 2023, doi: 10.36595/jire.v6i2.975.

Analysis of The Reliability Index of The Platuk Feeder Distribution System at PT. PLN ULP Kenjeran with Section Technique Method

Reza Sarwo Widagdo¹, Gatut Budiono², Puji Slamet³, Muhammad Sultan Abdai Habibullah⁴

^{1,2,3,4} Department of Electrical Engineering, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Indonesia
Jl. Semolowaru No. 45 Surabaya, Indonesia

Article Information:

Dikirim, 3 Juli 2024

Diterima, 6 Desember 2024

Diterbitkan, 20 Desember 2024

Keywords:

CAIDI

Reliability

SAIDI

SAIFI

Section Technique Method

ABSTRACT

A high success rate is required to ensure the continuity of the supply of electricity, so that the distribution of electricity can maintain its availability continuously and have a reliable reliability value. Therefore, this study is intended to help evaluate the reliability of electric power distribution in plate feeders at PT. PLN ULP Kenjeran. The effect of failure on the system caused by equipment failure, as well as its impact on the load point will be evaluated using the section technique method. The results of the calculation show that the value of SAIFI is 2,699 times/year, SAIDI is 5.128 hours/year, and CAIDI is 1.9 hours/disturbance. Based on SPLN No. 68-2: 1986 concerning the reliability index, the value of SAIFI is 3.2 times/year, SAIDI is 21 hours/year, and CAIDI is 6.56 hours/disturbance, where the reliability index value can be categorized in accordance with SPLN standards and is considered reliable. Meanwhile, in the comparison of calculations between the section method and the method without sections, the reliability results were worse. Where the SAIFI value was 3.21112 times/disturbance (up 15.93%), the SAIDI value was 12.4056 hours/year (up 58.65%), and the CAIDI value was 3.9 hours/interruption (up 51.12%). Efforts to improve reliability by improving preventive maintenance and adding switching equipment such as LBS.

Author Correspondence:

Reza Sarwo Widagdo

Department of Electrical Engineering, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Indonesia

Jl. Semolowaru No. 45 Surabaya, Indonesia

Email: rezaswidagdo@untag-sby.ac.id

1. INTRODUCTION

With the development of the modern world, the need for electrical energy consumption is increasingly high. Therefore, with the increasing need for electricity, reliable quality and quantity of electricity supply is needed. In terms of quantity, electricity supply must be available in adequate quantities and in terms of quality, electricity supply must have high reliability in distributing energy to customers [1][2][3]. A high success rate is needed to ensure continuity of electricity supply. This is done to ensure that electric power distribution remains available and has good reliability values [4]. The electricity distribution system to customers is divided into two, including the 20 kV medium voltage network or called primary distribution and the 380/220 Volt low voltage network or called secondary distribution. Distribution network configurations generally operate radially or in loops [5]. The system's ability to distribute electrical energy efficiently under various conditions and within a certain period of time is known as distribution system reliability. The success rate of system operations over a certain period of time can be used to determine the level of reliability of the distribution network. This can be analyzed by comparing it with previously established standards.

Disruptions in the 20 kV medium-voltage distribution network are common and significantly affect users. Recent data shows that these disruptions can be caused by several factors such as short circuits, overloads, and external disturbances like lightning or tree contact with power lines. The 20 kV distribution network, which primarily uses overhead lines, experiences disturbances up to 100 times per 100 km annually, especially in urban areas where tall buildings and trees often come into contact with power lines. In rural areas,

lightning strikes are a frequent cause of disruptions. If left unresolved, these issues can damage equipment and result in power outages affecting customers. The impact on users is often measured using SAIDI (System Average Interruption Duration Index) and SAIFI (System Average Interruption Frequency Index), which track the duration and frequency of outages. Frequent and prolonged outages reduce system reliability, causing inconvenience to consumers and affecting business productivity that relies on stable electricity supply [x].

The SAIFI, SAIDI, and CAIDI reliability indices must be in accordance with the PLN Standart (SPLN) to determine the level of reliability of the electricity distribution system [6]. Failure is a condition that deviates from normal conditions. Disturbances occur due to failure of equipment or components to work according to their function [7]. Although interference cannot be completely eliminated, the possibility of interference can be reduced. The presence of additional load disturbances, additional voltage disturbances, and short circuit disturbances are factors that often cause problems in distribution systems [8]. A network system must be divided into small parts, namely sections and lines. To evaluate the calculation method using the section technique method. In using the section method, evaluation of the reliability index for electric power distribution is carried out by analyzing the impact of equipment failure on the system and looking at its impact on load points [9]. The higher the level of reliability in the electricity distribution system indicates the higher the success in maintaining the electricity supply to customers. In previous research, Samsurizal [10], Noufanda [11], and Said [12] discussed the reliability of distribution systems using various methods, where especially in research using the section technique method, better reliability results were obtained due to dividing the feeder into several sections. and the line is based on the LBS so that the analysis results obtained are more detailed where the failure of each section will be separated by the LBS as a switching device so that the disturbance that occurs will not affect other sections. However, in this research it is still not explained how LBS switching works using the section method and can affect the reliability results and there has been no comparison with calculations between the section and no section methods to see what percentage of differences in reliability results there are. Moreover, the absence of detailed calculations between the section and no section methods leaves a gap in understanding their comparative effectiveness.

Previously, Hanif [13] evaluated the reliability of a 20 kV distribution system by comparing systems with sectional partitioning and those without (non-section). The results showed that the use of sectionalizing (the section method) significantly reduced the values of SAIDI and SAIFI. In the case study conducted, SAIDI decreased by 20-30% compared to the non-sectioned system. Furthermore, sectionalizing allows for the isolation of areas experiencing disturbances without affecting the entire network, thereby improving operational stability and efficiency. Sihombing [14] also researched sectionalizing and reconfiguration strategies in distribution systems to enhance reliability. Simulation results indicated that sectionalizing could reduce outage duration, with SAIDI dropping by up to 35% compared to systems without sections. Additionally, the average frequency of outages per customer also decreased by 15-20%. System reconfiguration with optimal placement of protective devices such as reclosers and fuses in each section is more effective in reducing reliability indices compared to non-section methods. Koba [15] conducted a comparative analysis between sectioned distribution systems and non-sectioned systems. The results showed that sectioned systems yielded a significant improvement in reliability. SAIDI in sectioned systems decreased by up to 30-40%, and SAIFI dropped by 25% compared to non-sectioned systems. Sectioned systems also enable faster responses in terms of disturbance detection and isolation, which directly improves the availability of electricity services.

Research related to the reliability analysis of electric distribution systems has rapidly developed, with various methods applied to enhance efficiency and minimize disruptions in the system. One commonly used method is the Section Technique, which has proven effective in identifying critical points in electric distribution systems. However, most previous studies have focused on general case studies or extensive distribution systems without giving specific attention to particular feeders in specific areas. Additionally, the application of this method rarely considers the unique operational and local environmental characteristics. On the other hand, historical reliability data is often not optimally utilized to develop more precise and locally relevant reliability improvement strategies. In the context of PT. PLN ULP Kenjeran, in-depth reliability analysis of the Platuk Feeder, which is one of the essential feeders in the area, remains limited. Therefore, there is a significant gap in research specifically examining the reliability of electric distribution feeders at this location using tailored methods.

This research offers a novel contribution by applying the Section Technique method specifically to the Platuk Feeder at PT. PLN ULP Kenjeran, providing a more in-depth reliability analysis focused on that feeder. Additionally, this study will consider the unique operational and environmental conditions of the area, thereby offering a more specific and relevant perspective for the Kenjeran region. Another novelty is the use of historical reliability data in greater detail, which has not been extensively applied in previous studies in this area, to predict system failures and formulate more accurate reliability improvement strategies. This research also offers an analysis that connects system reliability with economic impacts, thus not only generating

technical solutions but also providing economic benefits for electricity distribution operations at PT. PLN ULP Kenjeran. This can be a recommendation in calculating a better reliability index in an effort to increase reliability. One of the feeders at PT. PLN ULP Kenjeran, which receives supplies from GI Kenjeran, is the Platuk feeder. The Platuk feeder is a feeder with the most diverse consumer loads, including industrial, home, public and commercial. Therefore, this research is intended to be able to produce calculations of the SAIFI, SAIDI, and CAIDI reliability indices using the section method and then the results will be compared with PLN Standards (SPLN) and also calculations without sections so that conclusions can be drawn in evaluating the effects of failure modes and response time on equipment so that it can increase feeder reliability.

2. RESEARCH METHODS

In this research activity, the course of the activity refers to planning in collecting, processing and analyzing data in a study. Survey and data collection at PT. PLN ULP Kenjeran, in 2024 starting from January to March. This research is intended to assist in analyzing the reliability index for the distribution of Platuk feeder power at PT. PLN ULP Kenjeran. It is hoped that this research will be able to help become a reference in efforts to increase the reliability of electricity distribution. The findings from this study will provide valuable insights into the current performance of the Platuk feeder. By identifying areas of improvement, PT. PLN ULP Kenjeran can implement targeted strategies to enhance service quality. Moreover, the research outcomes will contribute to the development of best practices in the management of electrical distribution systems.

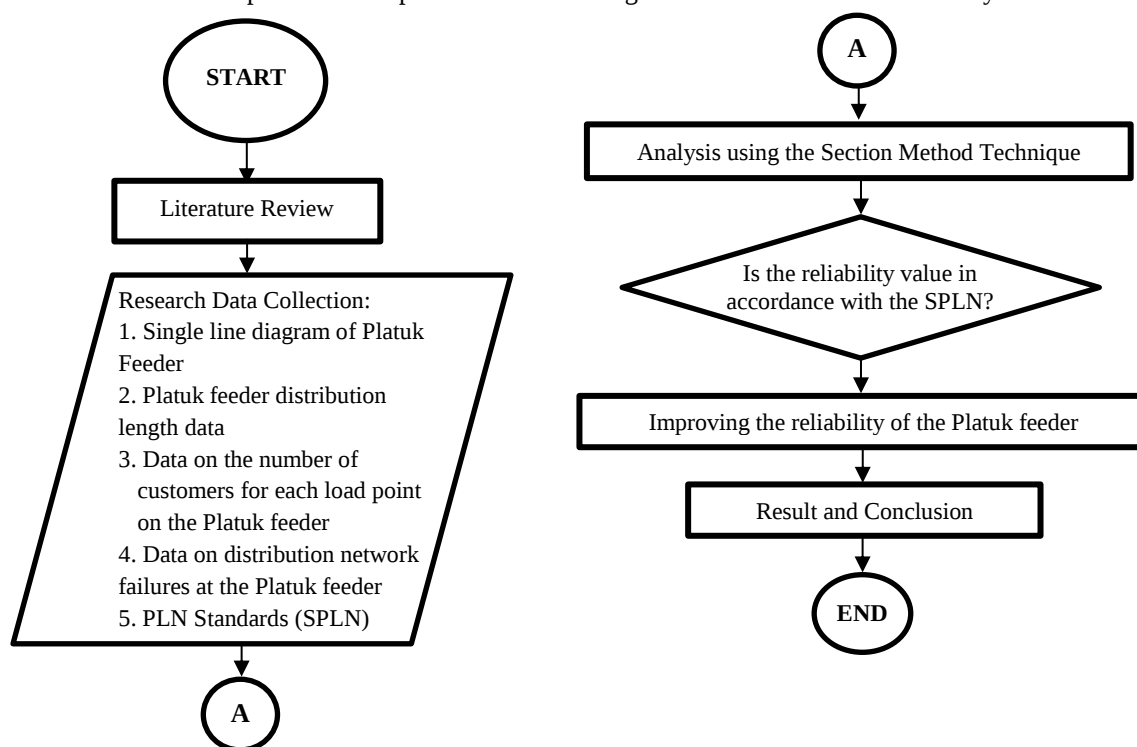


Figure 1. Research Flowchart

Figure 1 explains the course of the research mechanism, starting with a literature study by looking for references regarding the reliability of the distribution system and how the section technique method works. The data required from this research includes a diagram of one line of the Platuk feeder, customer data on the distribution transformer of the Platuk feeder, data on the length of the Platuk feeder line, data on disturbances in 2023, as well as network equipment parameters in accordance with the SPLN. Next, divide the one feeder line diagram into several sections and lines based on the LBS to carry out data analysis using the section technique method. And. Then carry out analysis and calculation of reliability values including SAIFI, SAIDI and CAIDI. After that, the reliability value obtained from the calculation is compared with the PLN Standard (SPLN) and will also be compared with the sectionless method calculation to obtain conclusions in order to increase feeder reliability.

2.1. Required Research Data

The following is data collected and identified from Platuk feeders at PT. PLN ULP Kenjeran:

1. Single line diagram of Platuk feeder
2. Total customers per distribution transformer
3. Length of Platuk feeder line
4. Recap of feeder failures in 2023
5. Parameter data for each network equipment according to PLN Standart (SPLN)

This data is needed in calculating failure rates to obtain reliability index values for the electricity distribution system in the form of SAIFI, SAIDI, and CAIDI.

2.2. Section Technique Method

At this stage, to determine the reliability index using the section technique method, calculations are needed to find the failure rate in the form of disturbance frequency and failure duration to obtain the reliability index value for the electricity distribution system in the form of SAIFI, SAIDI, and CAIDI. A cutting method known as Section Technique is used to assess the reliability index of electrical power distribution by looking at the impact of failures on the system caused by equipment failure and how it impacts the load points. The parameters calculated are the parameters λ and U at each load point in the distribution network [16]. The advantage of using this method is that by cutting the feeder network into small parts limited by load break switches (LBS), it will make it easier to analyze which areas of the network need repair, this will make it easier to calculate the reliability index because with simple analysis it can minimize errors. and the time needed is shorter [17].

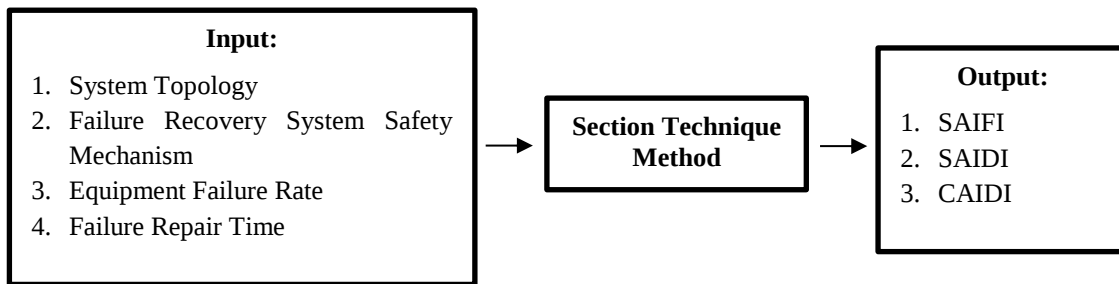


Figure 2. Section Technique Methods Diagram

2.3. Failure Rate (λ)

Failure rate is the number of failure values that occur within a certain time period. The failure frequency is represented by the symbol (λ) which shows the failure rate calculated in units of failure in 1 year. The failure value is addressed to the following equation:

$$\lambda = \frac{\text{Total Failure}}{\text{Total Operating Time}} \quad (1)$$

When calculating using this section method, the failure value is obtained by adding up the equipment failures at each load point on the network in the system with the response time. The following is the formula for finding the failure rate which is divided into 2 variables:

2.3.1. Failure Frequency

Failure frequency is the sum of the failure rates of all equipment in the distribution network that affects the load point.

$$\lambda_{LP} = \sum_i \lambda_i \quad (2)$$

Where,

λ_i = failure rate of each equipment i

i = All equipment affected by loadpoint

2.3.2. Failure Duration

Failure duration is the number of results multiplied by the failure rate (λ) and repair time (r) on each piece of equipment that affects the load point.

$$U_{LP} = \sum_i \lambda_i \times r_i \quad (3)$$

Where,

λ_i = failure rate of equipment (λ) i

r_i = Respon Time of equipment i (Repair time / Switching time)

i = All equipment affected by loadpoint

2.4. Reliability Index Calculation

Overall, system reliability can be calculated and assessed based on the success rate of the system. Three values SAIFI, SAIDI, and CAIDI are used to evaluate the reliability value using the cutting section technique method. The reliability index formula is shown in the following equation:

2.4.1. SAIFI (System Average Interruption Frequency Index)

The SAIFI value index is obtained by adding up the average value of each customer's failures for one year. The SAIFI calculation is shown in the following equation:

$$SAIFI = \frac{\text{Total Number of Outages}}{\text{Number of Customers}} \quad (4)$$

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_{LP} \times NLP}{\sum N} \quad (5)$$

Where,

λ_{LP} = Failure rate of *loadpoint*

NLP = Number of customers on loadpoint

N = Total customers

2.4.2. SAIDI (System Average Interruption Duration Index)

The SAIDI value index is obtained by adding up the average value of the duration of disruption from total customer failures for one year. The SAIDI calculation is shown in the following equation:

$$SAIDI = \frac{\text{Total Duration of Outages}}{\text{Number of Customers}} \quad (6)$$

$$SAIDI = \frac{\sum ULP \times NLP}{\sum N} \quad (7)$$

Where,

ULP = Duration of interruption per *load point* (hours/years)

NLP = Number of customers per *load point*

N = Total customers

2.4.3. CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index)

The CAIDI value index is obtained by summing the average annual disturbances of consumers. The CAIDI formula is shown in the following equation:

$$CAIDI = \frac{\text{Customer Outages Duration}}{\text{Total Number of Customer Disruptions}} \quad (8)$$

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} (\text{Customer Usage Hours} \times \text{Total Failures}) \quad (9)$$

3. RESULT DAN ANALYSIS

In this research, the reliability index will be calculated using the section technique method which will then be compared with the SPLN standard and the results of calculations without sections and provide suggestions for efforts to increase reliability.

3.1. Feeder Data Analysis using the Section Technique Method

This research will analyze using the section technique method to obtain the reliability index values for SAIFI, SAIDI, and CAIDI. The first step is to divide the platuk structure into four parts with 83 lines. The division of the 4 platuk feeder sections is based on the placement of the Load Break Switch (LBS). The calculation and analysis mechanism of this method uses failure modes in distribution network equipment such as CB, LBS, Transformer, and SUTM. Failure modes impact the load point, resulting in failure mode results for each part against the load point. The calculation results obtained will be used to calculate the total value of the failure rate and duration of the disturbance. Then, these results will be used to calculate the feeder reliability index value. However, the mechanism says that if an equipment failure occurs in one of the feeder sections, the switches will work together to open the switching, stopping the system temporarily. After 0.15 hours, the feeder will supply power again to the undisturbed part through a load transfer process with another nearby feeder or through the feeder itself.

3.2. Calculation Analysis Using the Section Technique Method

The type of network equipment, equipment failure rate, overhead line length, and number of customers at each load point are needed to perform reliability analysis. The failure rate value (λ LP) for each load point is obtained by multiplying the failure rate of the equipment affected by the failure by the length of the line. These results are then summed to obtain the total failure rate of the equipment failure rates affecting that load point. In accordance with the formula in equation (2). For example, the failure rate for line 1 is obtained by:

$$\begin{aligned}\lambda (\text{line } 1) &= \text{failure rate equipment} \times \text{length of feeder line} \\ &= 0.2 \times 0.5 \\ &= 0.1 \text{ failure/year}\end{aligned}$$

To calculate the value of equipment disruption duration (U LP), the value of each load point is obtained by multiplying the failure rate of the equipment being disrupted by the repair or transition time (where the equipment undergoes repair or only transitions during the disruption condition). These results are then added up to produce the total duration of equipment disruption affected by the loadpoint as in equation (3). For example, for LP 1 on line 1, it is obtained by:

$$\begin{aligned}U (\text{line } 1) &= \text{failure rate equipment } (\lambda) \times \text{repair time } (r_i) \\ &= 0.1 \times 3 \\ &= 0.3 \text{ hour/year}\end{aligned}$$

It can be seen in Table 1 to Table 8 showing the results of the analysis of failure modes, failure rates and duration of disruption for each component of the Platuk feeder. The analysis highlights the most critical components that contribute to the overall failure rate. Based on the data presented, the transformer and circuit breaker appear to have the highest failure modes. These components also have the longest disruption durations, significantly impacting the reliability of the feeder. By addressing these key areas, improvements in feeder performance and system reliability can be achieved. Preventive maintenance and timely replacement of these components are crucial to reducing overall system downtime. Furthermore, advanced monitoring systems can help detect early signs of failure, enabling faster response times. Implementing these strategies will lead to a more efficient and reliable power distribution network. Additionally, training personnel to recognize and address potential issues can further enhance system reliability. Regular assessments of maintenance protocols can identify gaps and ensure that all components function optimally. Overall, a proactive approach to maintenance will not only minimize disruptions but also extend the lifespan of critical equipment.

a. Analysis Section 1

Table 1. Equipment Failure Index Section 1

Equipment Data		Impact System	
Number	Equipment	LP Repair Time	LP Transition Time
1	PMT	LP 1-LP20	-
2	LBS Pogot Lama	LP 1-LP20	-
3	LBS Pogot Seleb	LP 1-LP20	LP21-LP76
4-23	Transformer 1-20	LP 1-LP20	-
24-44	Line 1-22	LP 1-LP20	-

Table 2. Failure Rate (λ) and Duration of Failure (U) on LP Section 1

Loadpoint	Reliability Index on Loadpoint	
	λ (failure/year)	U (hour/year)
LP 1 – LP20	1.12	34
LP21 – LP76	1.11	3.39

b. Analysis Section 2

Table 3. Equipment Failure Index Section 2

Equipment Data		Impact System	
Number	Equipment	LP Repair Time	LP Transition Time
1	LBS Pogot Seleb	LP21-LP32	LP33-LP76
2	LBS Donomulyo	LP21-LP32	LP33-LP76
3	LBS Randu	LP21-LP32	LP33-LP76
4	LBS Sikar	LP21-LP32	LP33-LP76
5-16	Transformer 21-32	LP21-LP32	-
17-31	Line 23-37	LP21-LP32	LP1-LP20 dan LP 33-LP76

Table 4. Failure Rate (λ) and Duration of Failure (U) on LP Section 2

Loadpoint	Reliability Index on Loadpoint	
	λ (failure/year)	U (hour/year)
LP21 – LP32	0.437	1.46
LP1 – LP20 and LP33 – LP76	0.432	0.0648

c. Analysis Section 3

Table 5. Equipment Failure Index Section 3

Equipment Data		Impact System	
Number	Equipment	LP Repair Time	LP Transition Time
1	LBS Donomulyo	LP33-LP41	LP1-LP32
2	LBS X Kedinding	LP33-LP41	LP1-LP32
3-11	Trafo 33-41	LP33-LP41	-
12-21	Line 38-47	LP33-LP41	LP1-LP32 dan LP42-LP76

Table 6. Failure Rate (λ) and Duration of Failure (U) on LP Section 3

Loadpoint	Reliability Value on Loadpoint	
	λ (failure/year)	U (hour/year)
LP33 – LP41	0.321	1.04
LP1 – LP32 and LP42 – LP76	0.316	0.0474

d. Analysis Section 4

Table 7. Equipment Failure Index Section 4

Equipment Data		System Impact	
Number	Equipment	LP Repair Time	LP Transition Time
1	LBS Randu	LP42-LP76	LP1-LP41
2	LBS Platuk	LP42-LP76	LP1-LP41
3-37	Transformer 42-76	LP42-LP76	-
38-73	Line 48-83	LP42-LP76	LP1-LP41

Table 8. Failure Rate (λ) and Duration of Failure (U) on LP Section 4

Loadpoint	Reliability Value on Loadpoint	
	λ (failure/year)	U (hour/year)
LP42 – LP76	0.8492	2.6336
LP1 – LP41	0.8472	0.12708

From the tables, the failure mode, failure frequency and duration of interruption in each feeder section, the SAIFI and SAIDI values, can be seen by calculating load point 1 in section 1. The SAIFI Load point 1 calculation is carried out using the formula in equation (5) by multiplying the number of consumers (N LP1) by (λ LP1), then the results obtained are divided by the total number of consumers in the Platuk feeder system. Meanwhile, the SAIDI Load point 1 calculation is carried out using the formula in equation (7) by multiplying the number of consumers (N LP1) by (U LP1), then the results obtained are divided by the total number of consumers in the Platuk feeder system. The following is an example of the calculation results on LP 1:

$$\text{SAIFI LP1} = \frac{\lambda \times N \text{ LP1}}{N \text{ total}} = \frac{1.12 \times 541}{14852} = 0.0407972 \text{ time/year}$$

$$\text{SAIDI LP1} = \frac{U \text{ LP1} \times N \text{ LP1}}{N \text{ total}} = \frac{3.4 \times 541}{14852} = 0.12384864 \text{ hour/year}$$

The same formula is used to calculate LP2 through LP76. The total value of SAIFI and SAIDI obtained from section 1 is 1.11264409 times/year and 3.39440951 hours/year. By collecting reliability indices from the 4 sections of the Platuk feeder, the SAIFI and SAIDI values can be added up. The total value of the reliability index from section 1 to section 4 is shown in the following Table 9. This aggregation provides a comprehensive overview of the feeder's reliability performance. The SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) reflects the average number of interruptions experienced by customers, while the SAIDI (System Average Interruption Duration Index) indicates the average duration of these interruptions. By analyzing these combined values, stakeholders can better understand the overall service quality of the Platuk feeder. The following Table 9 illustrates these key reliability indices and highlights areas for potential improvement.

Table 9. Accumulated Reliability Value for each Section

SECTION	SAIFI	SAIDI
1	1.112	3.39
2	0.42264	0.243474
3	0.316667	0.179796
4	0.848148	1.315534
Result	2.699455	5.128804

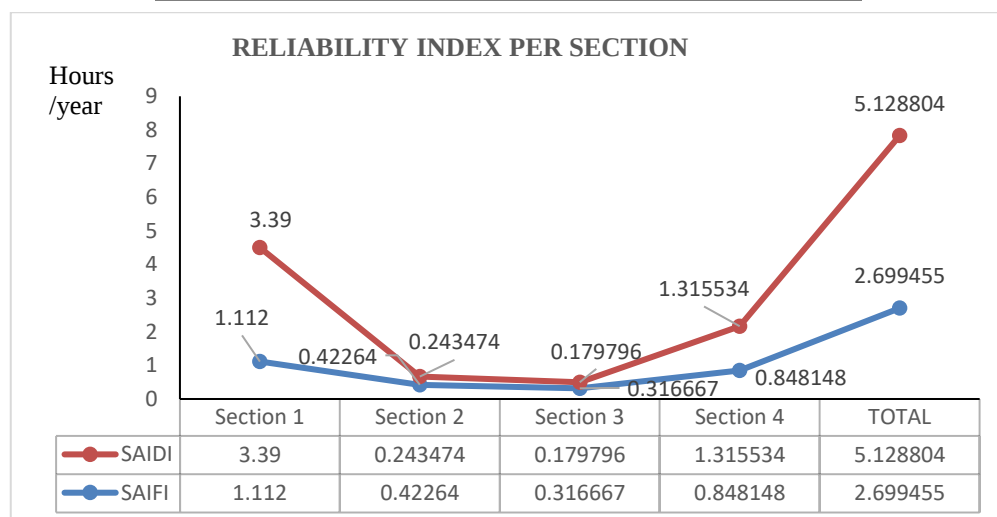


Figure 3. Reliability Index per Section

Based on Figure 3, the SAIFI and SAIDI values that experienced a spike were found in section 1, this is because this section has the longest channel compared to other sections so it is more susceptible to interference, besides that, the position at the base of the feeder makes section 1 the the most crucial because if there is a disturbance in section 1 it will affect the condition of all feeders while the other sections tend to have values that tend to be constant. This persection calculation produces a total SAIFI value of 2.699455 times/year and a SAIDI value of 5.128804 hours/year. The CAIDI value of 1.9 hours/disruption is obtained from calculating the division between the SAIDI value and the SAIFI value.

3.3. Comparison of Reliability Index Values for the Section Technique Method with SPLN 68-2:1986

It can be seen that the results of calculating the SAIFI, SAIDI, and CAIDI values using the section technique method are then compared with SPLN No. 68-2:1986, where the SAIFI value is 2.699455 times/year, the SAIDI value is 5.128804 hours/year, and the CAIDI value is 1.9 hours/disruption which meets the SPLN standards so that the platuk feeder is in the reliable category.

Table 10. Comparison of Calculations with PLN Standart (SPLN)

Reliability Index	Section Technique Method	SPLN 68-2 : 1986	Result
SAIFI	2.699455 time/year	3.2 time/year	Standar Compliant
SAIDI	5.128804 hour/year	21 hour/year	Standar Compliant
CAIDI	1.9 hour/failure	6.56 hour/failure	Standar Compliant

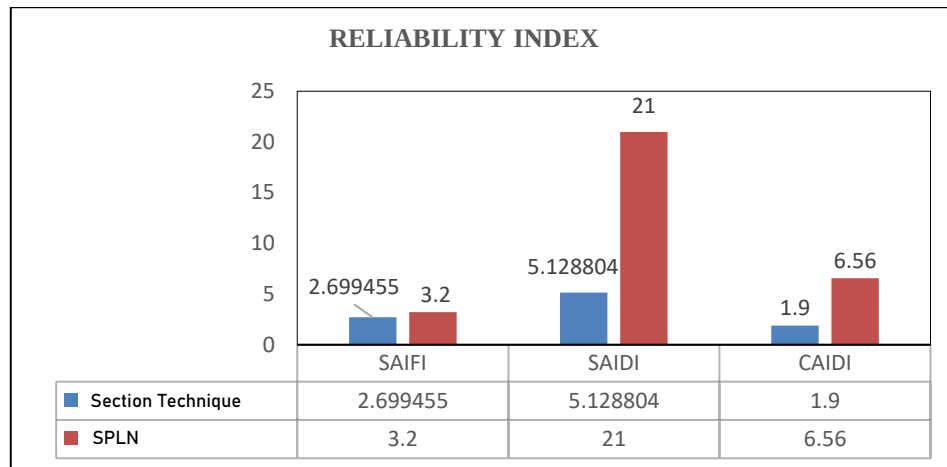


Figure 4. Comparison Calculation with SPLN

3.4. Comparison of Reliability Index Values for Section Technique and Without Section Technique

In calculations without sections on the trigger feeder, the failure mode, failure rate and failure duration are as follows:

Table 11. Feeder Equipment Failure Index

Equipment Data		Impact System	
Number	Equipment	LP Repair Time	LP Transition Time
1	PMT 1	LP1-LP76	-
2-5	LBS 1-4	LP1-LP76	-
6-81	Transformer 1-76	LP1-LP76	-
82-164	Line 1-83	LP1-LP76	-

Table 12. Failure Rate (λ) and Duration of Failure (U) on Feeder Loadpoint

Loadpoint	Reliability Value	
	λ (failure/year)	U (hour/year)
LP1 – LP76	3.2112	12.4056

Table 13. Comparison of Reliability Value Calculation Results for Section Technique and Without Section

Index	With Section Technique	Without Section Technique	Result
SAIFI	2.699455 time/year	3.21112 time/year	0,511665 (15,93%)
SAIDI	5.128804 hour/year	12.4056 hour/year	7,276796 (58,65%)
CAIDI	1.9 hour/failure	3.9 hour/failure	2 (51,12%)

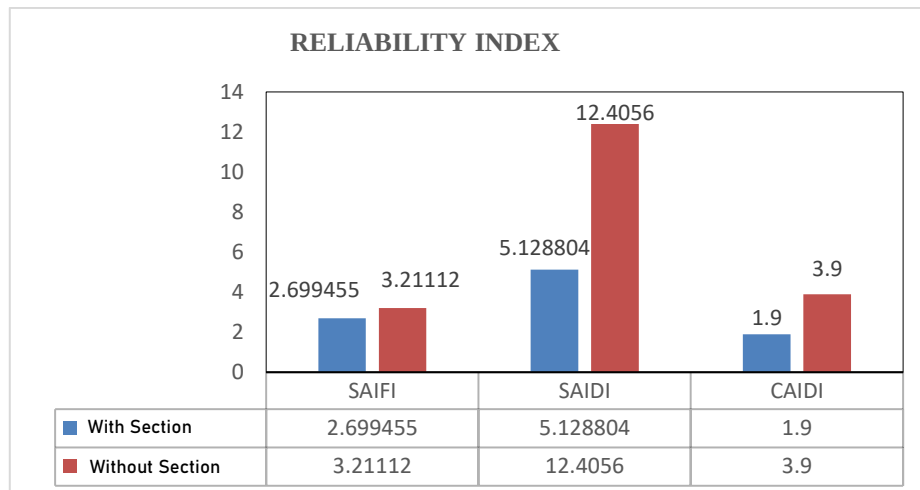


Figure 5. Comparison Diagram for Calculation of Sections and Without Sections

From Table 13, the SAIFI and SAIDI values can be calculated using the method without sections. The CAIDI value is obtained by dividing the SAIDI value by SAIFI. Then the results can be compared in the calculation between the section technique method and the method without sections. The results of the comparison of calculations between the section technique and without the section technique showed that the reliability value was getting worse. This can be seen where in the section technique method the SAIFI value calculation was obtained from 2.699455 times/year, increasing by 15.93% to 3.21112 times/year using the method without sections, and in the SAIDI value using the section technique method, it was found to be 5.128804 hours/year, increasing by 58.65 % becomes 12,4056 hours/year with the method without sections, so that the CAIDI value using the section technique method is found to be 1.9 hours/interference, an increase of 51.12% to 3.9 hours/interference with the method without sections. This proves that the results of the reliability evaluation using the section technique obtained better reliability results than without sections.

The difference in calculating reliability values when using the Section Technique method and without Sections lies in the way the distribution network is divided into several parts to make it easier to analyze. By dividing the network into several small sections based on LBS, dividing the network sections into several lines using the Section Technique method, this makes it possible to find out more quickly which areas of the network need maintenance. Meanwhile, without using the Section Technique method, the reliability index calculation is carried out directly on the distribution system as a single unit, without dividing the network into smaller parts. So, from the results of the calculation data with sections and without sections, it can be concluded that by using a section technique where failures can be analyzed in small sections to find out the location of the failure position so that repairs can be prioritized, so that the system will be able to experience more optimal switching times with the help of LBS, so that by implementing equipment switching, the effect of a disturbance can minimize the blackout area so that sections that are not disturbed do not need to experience repair time. This can reduce the number of failure frequencies and failure duration to reduce the SAIFI, SAIDI, and CAIDI.

In this research, the analysis of the reliability index of the Platuk Feeder distribution system at PT. PLN ULP Kenjeran using the section technique method provides in-depth insights into the system's performance. The results obtained show a significant difference between the SAIFI and SAIDI indices when compared to conventional methods that do not consider section divisions. The use of the section technique method allows for more accurate identification of the frequency and duration of outages in each section, reflecting the variability of performance across different segments of the network. These findings highlight that some sections have higher reliability levels, while others indicate potential areas for necessary improvements. Thus, the application of the section technique not only enhances accuracy in reliability measurement but also provides a solid foundation for decision-making related to maintenance and improvement of distribution infrastructure. This analysis is expected to contribute to the development of more effective disruption management strategies to enhance the reliability of electricity supply for customers in the Kenjeran area.

3.5. Analysis of Efforts to Improve Feeder Reliability

Determining the reliability index on feeders in the electricity distribution network can be done using two main approaches, namely the section method and without the section method. The section method involves dividing the feeder into several segments or sections. Reliability is calculated for each segment based on fault data and recovery time. For example, a feeder can be divided into segments such as transformer, main line, and branch line, and the overall reliability is calculated by multiplying the reliability of each segment if they are

considered connected in series. This method helps identify the segments most vulnerable to disruption and allows more specific improvements. On the other hand, determining the reliability index without the section method does not involve dividing the feeder into smaller segments. Instead, reliability is calculated overall for the feeder using several indices such as SAIDI (System Average Interruption Duration Index), which measures the average duration of interruptions per customer in one year, and SAIFI (System Average Interruption Frequency Index), which measures the average Frequency of interruptions per customer in one year [18],[19].

In addition, MTBF (Mean Time Between Failures) is used to measure the average time between two consecutive failures on a feeder, while MTTR (Mean Time to Repair) measures the average time required to repair a feeder after a failure occurs. This approach provides a general overview of feeder reliability performance without requiring segmentation, making it easier to apply on a wider scale. Both methods are important for the management and maintenance of electricity distribution networks, with the choice of method depending on the analysis objectives and data availability. Reducing fault frequency and fault time are two ways to increase trigger feeder reliability [20],[21]. Reducing the frequency of disturbances can be done by increasing preventive maintenance and using LBS or fuses to minimize fault areas. As a result, the smaller the λ value, the failure will decrease and the frequency of failure will also decrease. In addition, LBS can reduce the time to failure of equipment repairs. Where the failure rate decreases, the frequency of failure will also decrease. Meanwhile, duration can reduce repair time for equipment that has failed by adding LBS. When a disturbance occurs in a certain section so that it is necessary to disconnect the electricity network in that section, the disturbance can only occur in the section experiencing the disturbance so that the disturbance will not spread to other sections. With LBS operating, it carries out switching so that other sections will only experience switching times and the blackout area can be minimized [22]-[24].

4. CONSLUSION

The results of the evaluation of the reliability calculation of the platuk feeder at PT. PLN ULP Kenjeran using the section technique method obtained a SAIFI value of 2.699455 times/year, a SAIDI value of 5.128804 hours/year, and a CAIDI value of 1.9 hours/interruption, including in the reliable and standard (SPLN) category because the SAIFI value is below 3.2 times/year, the SAIDI value is below 21 hours/year, and the CAIDI value is below 6.56 hours/interruption. The results of the evaluation carried out to obtain comparison results of the reliability index values resulting from calculations between the use of the section technique and without section methods show that the reliability values have worsened. Where the previous SAIFI value of 2.699455 times/year rose 15.93% to 3.21112 times/year, the SAIDI value of 5.128804 hours/year rose 58.65% to 12.4056 hours/year, and the CAIDI value of 1.9 hours/interruption rose 51.12% to 3.9 hours/interruption. Efforts to increase the reliability of the Platuk feeder to reduce the frequency of failures and duration of failures are by increasing routine maintenance (preventive maintenance) and adding switching equipment, such as LBS to separate sections that experience problems so that they do not impact other sections in order to minimize blackout areas so that in sections that undisturbed no need to experience repair time.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. S. Widagdo and A. H. Andriawan, "Prediction of Age Loss on 160 KVA Transformer PT. PLN ULP Kenjeran Surabaya using The Linear Regression Method," *J. Ris. Rekayasa Elektro*, vol. 5, no. 2, p. 83, 2023, doi: 10.30595/jre.v5i2.18140.
- [2] R. S. W. Widagdo and A. H. A. Andriawan, "Analysis of Losses Due to Load Unbalance in a 2000 kVA Transformer at Supermall Mansion 2 Tower Tanglin Surabaya," *J. Eng. Sci. Res.*, vol. 5, no. 2, pp. 78–84, 2023, doi: 10.23960/jesr.v5i2.144.
- [3] R. S. Widagdo, P. Slamet, and M. Ubaidillah, "Prediction of Transformer Age Based on Temperature Due to Loading Using Linear Trend Method : Case Study of 60 MVA Transformer," 2024.
- [4] Gozali, S. Prasetyono, and R. Mufaizah, "Analisis Perbandingan Keandalan Sistem Jaringan Distribusi Berkonfigurasi Radial Dan Loop Menggunakan Metode Section Technique," *JASEE J. Appl. Sci. Electr. Eng.*, vol. 3, no. 02, pp. 12–26, 2022, doi: 10.31328/jasee.v3i02.113.
- [5] R. Harahap, S. A. Siregar, S. Hardi, and S. HS, "Analisis Sistem Jaringan Distribusi 20 KV Penyulang SB.02 Pada PT. PLN (Persero) ULP Sibolga Kota Menggunakan Metode Section Technique dan Failure Mode Effect Analysis (FMEA)," *J. Electr. Technol.*, vol. 7, no. 2, pp. 87–95, 2022.
- [6] R. Maulana, Suardi, and S. R. Halid, "Analisa Sistem Keandalan Jaringan Distribusi Menggunakan Metode Section Technique," *J. Kitektro*, vol. Vol. 6, no. No. 3, p. 2021, 2021.
- [7] U. K. Luthfiyani, A. Setiawan, and S. Arifin, "INSOLOGI: Jurnal Sains dan Teknologi Analisis Perbandingan Indeks Keandalan Sistem Jaringan Distribusi dengan Metode Section Technique dan Reliability Index Assessment (RIA): Studi Kasus Gardu Induk Balaraja," *Media Cetak*, vol. 2, no. 1, pp. 250–264, 2023, doi: 10.55123/insologi.v2i1.1782.
- [8] U. Usman, I. Indra, M. Thahir, S. Sofyan, A. R. Idris, and S. Thaha, "Penentuan Keandalan Sistem Distribusi 20 KV Penyulang Malili dengan Metode Section Technique dan FMEA," *PROtek J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 2, p. 126, 2022, doi: 10.33387/protk.v9i2.4985.
- [9] G. Sihombing, "Analisis Indeks Keandalan Secara Teknis Dan Ekonomis Jaringan Distribusi 20 Kv Dengan

- Menggunakan Metode Section Tehnique Pada Pt.Pln (Persero) Rayon Belawan,” E-Link J. Tek. Elektro dan Inform., vol. 17, no. 2, p. 55, 2022, doi: 10.30587/e-link.v17i2.4683.
- [10] S. Samsurizal and Y. D. Fadli, “Relokasi Recloser Dengan Metode Section Technique Pada Jaringan Distribusi 20 kV,” *Sutet*, vol. 11, no. 1, pp. 13–24, 2021, doi: 10.33322/sutet.v11i1.1328.
- [11] Y. F. Noufanda, P. Slamet, N. A. Basyarach, A. Ridhoi, and G. D. Prenata, “Keandalan sistem jaringan distribusi 20KV di PT. PLN Rayon Ploso Menggunakan Metode FMEA,” *El Sains J. Elektro*, vol. 3, no. 2, pp. 53–60, 2021, doi: 10.30996/elsains.v3i2.5990.
- [12] M. U. Said, G. Budiono, and R. S. Widagdo, “Analisa Sistem Keandalan Distribusi Dengan Penambahan LBS Pada PT . PLN Rayon Kenjeran Menggunakan Metode Section Technique,” pp. 1393–1401, 2023.
- [13] Hanif, M. R., & Suheta, T. (2020). Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20kv di PT. PLN (Persero) Rayon Kudus Kota Menggunakan Metode Section Technique. *SinarFe7*, 3(1).
- [14] Sihombing, G. (2022). Analisis Indeks Keandalan Secara Teknis Dan Ekonomis Jaringan Distribusi 20 kV Menggunakan Metode Section Tehnique Pada PT. PLN (Persero) Rayon Belawan. *Jurnal Edukasi Elektro*, 6(2), 105-115.
- [15] Koba, N., Suheta, T., Cahyono, W. D., & Putra, I. P. (2023, November). Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20 KV di PT. PLN (Persero) ULP Bajawa. In *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan*.
- [16] P. Seminar, N. Nciet, and N. Conference, “Analisis Keandalan Menggunakan Metode Section Technique Pada Penyulang P6 Gardu Induk Petung Pt Pln (Persero) Area Balikpapan,” *Pros. Semin. Nas. NCIET*, vol. 1, no. 1, pp. 423–429, 2020, doi: 10.32497/nciet.v1i1.149.
- [17] F. Haz, A. Mustopa, G. A. Setia, and D. Furqon, “Reliability Index Assessment-Section Technique pada Distribusi Listrik Penyulang Suci Menggunakan Software ETAP,” vol. 23, no. 01, pp. 61–74, 2024.
- [18] M. Jooshaki, S. Karimi-Arpanahi, M. Lehtonen, R. J. Millar, and M. Fotuhi-Firuzabad, “Reliability-Oriented Electricity Distribution System Switch and Tie Line Optimization,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 130967–130978, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3009827.
- [19] M. C. W. Lestari and Y. Mulyadi, “Analysis of 20 kV Power Distribution System Reliability using the Section Technique,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 384, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/384/1/012035.
- [20] Nazaruddin et al., “Reliability Analysis of 20 KV Electric Power Distribution System,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 854, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/854/1/012007.
- [21] H. Suyono, R. N. Hasanah, W. A. Syahri, H. Mokhlis, M. T. Rahman, and R. Omar, “Power system distribution reliability enhancement of pujon feeder malang-indonesia case study using bat and cuckoo search algorithms,” *EECCIS 2020 - 2020 10th Electr. Power, Electron. Commun. Control. Informatics Semin.*, pp. 87–92, 2020, doi: 10.1109/EECCIS49483.2020.9263439.
- [22] R. Aprialdi and Z. Aini, “Analysis of the Reliability of Electrical Distribution Systems Using the Technical Section Method and Rnea Repeat Gibp-Mesir,” *J. Edukasi Elektro*, vol. 7, no. 2, pp. 133–145, 2023, doi: 10.21831/jee.v7i2.63118.
- [23] N. R. Najib and Hama, “Analysis of Feeder Reliability in a 20 kV Distribution Network System Using the Reliability Network Equivalent Approach (RNEA) Testing Method,” *Indones. J. Adv. Res.*, vol. 2, no. 6, pp. 561–576, 2023, doi: 10.55927/ijar.v2i6.4424.
- [24] A. Hasibuan, A. Bintoro, S. Salahuddin, and R. D. Meutia, “Reliability Distribution System on Load Break Switch Addition at PT. PLN (PERSERO) ULP Langsa City Using RIA-SECTION Technique Combined Method on ETAP 14.1.0,” *Andalasian Int. J. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 2, no. 2, pp. 57–64, 2022, doi: 10.25077/aijaset.v2i2.42.

Desain Antena Microstrip MIMO 2x2 dengan *Defected Ground Structure* (DGS) untuk Implementasi Teknologi 5G pada Frekuensi 26 GHz

Design of Microstrip Antenna MIMO 2x2 with Defected Ground Structure (DGS) for 5G Technology Implementation at 26 GHz Frequency

Erisa Fresti Fadlillah¹, Alfin Hikmaturokhman², Petrus Kerowe Goran³

^{1,2,3} Telkom University, Departemen Teknik Elektro

Jl. DI Panjaitan N0. 128, Purwokerto Selatan, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah 53147, (0281) 641629

Informasi Makalah

Dikirim, 15 Januari 2024
Diterima, 5 Desember 2024
Diterbitkan, 20 Desember 2024

Kata Kunci:

Antena patch square, Multi Input-Multi Output (MIMO), Defected Ground Structure (DGS), U-Slot

Keyword:

Antena patch square, Multi Input-Multi Output (MIMO), Defected Ground Structure (DGS), U-Slot

INTISARI

Saat ini, teknologi komunikasi nirkabel telah mencapai generasi kelima, yang dikenal sebagai teknologi telekomunikasi 5G. Teknologi 5G telah mulai diterapkan di Indonesia, meskipun belum sepenuhnya menjangkau seluruh wilayah. Salah satu keunggulan teknologi 5G adalah kemampuannya untuk menyediakan kapasitas besar bagi pengguna, namun kelemahannya terletak pada cakupan area yang terbatas. Penelitian ini berfokus pada perancangan antena untuk implementasi teknologi 5G dengan frekuensi kerja 26 GHz, bertujuan untuk meningkatkan jangkauan sinyal dan memperluas cakupan dibandingkan antena 5G konvensional. Antena yang dirancang adalah antena microstrip dengan bentuk patch persegi (*patch square*), disusun dalam konfigurasi *array Multi Input-Multi Output (MIMO) 2x2* menggunakan metode *Defected Ground Structure (DGS)*. Desain ini juga mencakup penambahan metode U-Slot dan *inset feed* pada *patch antena*, menghasilkan dimensi akhir sebesar 33,77 mm x 7,63 mm. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada frekuensi kerja 26 GHz, antena ini memiliki nilai *return loss* (S11) sebesar -11,079 dB, VSWR 1,775, *bandwidth* 125 MHz, dan gain 5,725 dBi. Selain itu, desain antena ini menghasilkan koefisien korelasi sebesar 0,070377, nilai *mutual coupling* -50,477 dB, dan pola radiasi *unidirectional*.

ABSTRACT

At present, wireless communication technology has reached the fifth generation, known as 5G telecommunication technology. 5G technology has been implemented in Indonesia, although it has not yet fully covered all regions. One of the advantages of 5G technology is its ability to provide large capacity for users; however, its limitation lies in the small coverage area. This research focuses on designing an antenna for the implementation of 5G technology operating at a frequency of 26 GHz, aiming to extend the signal range and broaden the coverage compared to conventional 5G antennas. The designed antenna is a microstrip antenna with a square patch shape, configured in a 2x2 Multi Input-Multi Output (MIMO) array using the Defected Ground Structure (DGS) method. The design also incorporates the U-Slot method and inset feed on the patch antenna, resulting in a final dimension of 33.77 mm x 7.63 mm. Simulation results show that at the operational frequency of 26 GHz, the antenna achieves a return loss (S11) of -11.079 dB, a VSWR of 1.775, a bandwidth of 125 MHz, and a gain of 5.725 dBi. Additionally, the antenna design yields a correlation coefficient of 0.070377, a mutual coupling value of -50.477 dB, and a unidirectional radiation pattern.

Korespondensi Penulis:

Alfin Hikmaturokhman

Telkom University

Jl. DI Panjaitan N0. 128, Purwokerto Selatan, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah 53147, (0281) 641629

Email : alfinh@telkomuniversity.ac.id

1. PENDAHULUAN

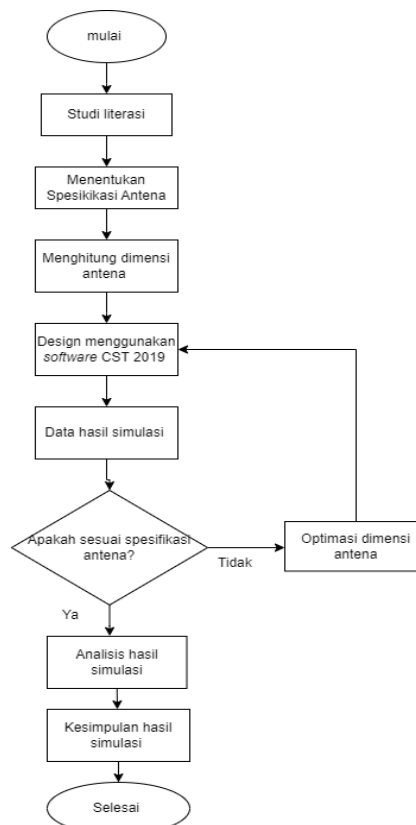
Perkembangan teknologi semakin meningkat dari masa ke masa. Dengan meningkatnya teknologi maka trafik pelanggan pun meningkat[1]. Dengan ini maka diperlukan komunikasi yang handal untuk mempercepat akses data yang dibutuhkan oleh pelanggan. Teknologi 5G memberikan layanan peningkatan kecepatan data 10 hingga 100 kali lebih cepat [2], [3]. Untuk memenuhi kebutuhan *data rate*, diharapkan akan digunakan teknologi baru yaitu *Multiple Input* dan *Multiple Output* (MIMO) [4]. Teknologi ini memiliki sistem multi antenna [5]. Antena merupakan alat yang bersifat pasif dalam dunia telekomunikasi dan digunakan untuk mengirim serta menerima sinyal elektromagnetik. Pada penelitian ini antena yang dibuat untuk aplikasi teknologi 5G menggunakan frekuensi tinggi [6] [7], [8], [9]. Salah satu jenis antena yang sesuai untuk teknologi 5G adalah antena mikrostrip. Antena mikrostrip merupakan antena yang berukuran kecil, dan mudah di buat, tetapi antena mikrostrip memiliki kekurangan yaitu dengan *bandwith* yang sempit[10].

Permasalahan yang muncul adalah bagaimana mendesain suatu antena dapat mendukung teknologi 5G. Harapannya adalah dengan menggunakan antena desain ini, maka memudahkan pengguna mengakses jaringan teknologi 5G, sekalipun pengguna tidak berada dalam jangkauan jaringan 5G. Sehingga, aplikasi desain antena ini memudahkan pengguna. Pada penelitian ini menggunakan antena mikrostrip yang diimplementasikan pada teknologi 5G dengan menggunakan frekuensi 26 GHz [11]. Jenis antena yang dipakai yaitu antena mikrostrip *patch square* dengan penambahan metode *defected ground structure* (DGS) serta U – Slot, dan menggunakan teknik *array* MIMO 2x2. Penelitian ini menggunakan bahan material berupa RT Duroid 5880 dengan ketebalan bahan 0,035 mm serta permitivitas bahan 2,2. Perancangan antena ini menggunakan *software* simulasi CST 2019.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dalam beberapa tahap yaitu tahap studi literasi atau mengkaji jurnal-jurnal terkait untuk dijadikan referensi, kemudian setelah itu merumuskan masalah serta melakukan pengumpulan data-data yang kemudian melakukan perancangan dimulai dengan menghitung dimensi antena untuk kemudian akan di desain. Setelah melakukan desain maka tahap selanjutnya yaitu tahap pengujian hasil, yang kemudian akan di analisa, setelah itu hasil analisa akan ditarik kesimpulan dari hasil simulasi yang sudah dibuat.

Pada Gambar 1 dapat dilihat mengenai alur penelitian setelah melakukan literasi penelitian ini, maka menentukan spesifikasi dari alat yang dibuat dan hasil akhir seperti apa yang diinginkan. Lalu melakukan perhitungan terkait dimensi antena. Jika sudah sesuai dengan hasil parameter yang diinginkan maka membuat kesimpulan hasil simulasi.



Gambar 1. Alur Penelitian

2.1. Perhitungan Dimensi Antena

Pada perhitungan ini merupakan perhitungan dari dimensi antena yang digunakan untuk mengetahui nilai dari ukuran antena yang akan didesain pada *software* simulasi CST *Studio Suite* 2019. Perhitungan dimensi ini meliputi perhitungan dimensi *patch*, dimensi *substrate*, saluran pencatu dan *groundplane*. Berikut merupakan perhitungan dimensi antena.

2.1.1. Menentukan Frekuensi Tengah

Pada perancangan antena ini, menentukan antena mikrostrip yang dapat bekerja pada frekuensi 26 GHz, dengan demikian frekuensi tengah yang dimiliki pada rentang yang telah ditetapkan dapat ditentukan dengan persamaan 1 yaitu sebagai berikut

$$\text{Frekuensi kerja} = 25 \text{ GHz} - 27 \text{ GHz}$$

Maka

$$\begin{aligned} f_c &= \frac{f_2 + f_1}{2} \quad [12] \\ &= \frac{27000 + 25000}{2} \\ &= 26000 \text{ MHz} / 26 \text{ GHz} \end{aligned} \quad (1)$$

2.1.2. Dimensi Patch Persegi

Untuk menghitung lebar elemen *patch* antena dengan menggunakan frekuensi kerja 26 GHz dan konstanta dielektrik (ϵ_r) sebesar 2,2 dengan menggunakan persamaan 2

a. Lebar *Patch*

$$\begin{aligned} W &= \frac{c}{2f} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad [13] \\ &= \frac{3 \times 10^8}{2 \times 26 \times 10^9} \sqrt{\frac{2}{2,2+1}} \\ &= 4,560 \text{ mm} \end{aligned} \quad (2)$$

b. Panjang *Patch*

$$\begin{aligned} L &= L_{eff} - 2\Delta L \quad [13] \\ &= 3,913 - 2(0,01876) \\ &= 3,875 \text{ mm} \end{aligned} \quad (3)$$

2.1.3. Dimensi Saluran Pencatu

Untuk mendapatkan karakteristik impedansi saluran pencatu yang diinginkan dengan impedansi saluran catu (Z_0) 50 Ω sedangkan untuk mendapatkan nilai lebar saluran pencatu (W_f) [14]

$$\text{Impedansi input} = 50 \Omega$$

$$B = \frac{60 \pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{60 \pi^2}{50 \sqrt{2,2}} \\ &= 7,984 \end{aligned}$$

$$W_f = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2 \epsilon_r} \left[\ln(B - 1) 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{2 \times 0,035}{\pi} \left\{ 7,984 - 1 - \ln(2 \times 7,984 - 1) + \frac{2,2-1}{2 \times 2,2} \left[\ln(7,984 - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{2,2} \right] \right\} \\ &= 0,1096 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kemudian $\frac{W_f}{h} = \frac{0,1096}{0,035} = 3,131$ atau (> 1) maka dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \epsilon_{eff} &= \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{W_f} \right)^{-0,5} \\ &= \frac{2,2+1}{2} + \frac{2,2-1}{2} \left(1 + \frac{12 \times 0,035}{3,131} \right)^{-0,5} \\ &= 2,163 \text{ mm} \end{aligned} \quad (6)$$

Nilai frekuensi = 26 GHz maka untuk mencari panjang gelombang pada udara bebas dapat menggunakan persamaan 2.23, sedangkan untuk mencari panjang gelombang pada bahan dielektrik dapat menggunakan persamaan 2.22 yaitu sebagai berikut :

$$\lambda_o = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{26 \times 10^9} = 0,01153 = 11,53 \text{ mm} \quad (7)$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} = \frac{11,53}{\sqrt{2,163}} = 7,839 \text{ mm}$$

Dan untuk mencari panjang saluran pencatu dapat menggunakan persamaan 2.21 yaitu sebagai berikut :

$$L_f = \frac{1}{4} \lambda_g = \frac{1}{4} \times 7,839 = 1,959 \text{ mm} \quad (8)$$

2.1.4. Menghitung Lebar Substrate / Groundplane

Untuk menentukan lebar *substrate* atau *groundplane* dapat menggunakan persamaan 2.2 yaitu sebagai berikut [13]:

$$\begin{aligned} W_g &= W + 6h \\ &= 4,560 + 6 (0,035) \\ &= 4,77 \text{ mm} \end{aligned} \quad (9)$$

2.1.5. Panjang Substrate / groundplane

Kemudian untuk mencari panjang *substrate* atau *groundplane* dapat menggunakan persamaan yaitu sebagai berikut [13] :

$$\begin{aligned} L_g &= L + 6h \\ &= 3,875 + 6 (0,035) \\ &= 4,085 \text{ mm} \end{aligned} \quad (10)$$

2.1.6. Jarak Antar Patch

Dan pada jarak antar *patch* dapat dihitung menggunakan persamaan 11 [4], [15].

$$d = \frac{\lambda}{2} = \frac{11,53}{2} = 5,765 \text{ mm} \quad (11)$$

2.1.7. Inset Feed Microstrip

Untuk mencari dimensi lebar *inset – feed* (X_0) dapat menggunakan persamaan berikut[16]

$$\begin{aligned} X_0 &= \frac{c}{\sqrt{2 \times \epsilon_{reff}}} \frac{4,65 \times 10^{-12}}{f} \\ X_0 &= \frac{3 \times 10^{11} \text{ m/s}}{\sqrt{2 \times 2,173}} \frac{4,65 \times 10^{-12}}{26 \text{ GHz}} \\ &= \frac{3 \times 10^{11}}{\sqrt{3,436}} \frac{4,65 \times 10^{-12}}{26} \\ &= \frac{13,95 \cdot 10^{-1}}{54,2} \\ &= 0,025738 \end{aligned} \quad (12)$$

Kemudian untuk mencari dimensi panjang dari *inset – feed* dapat dicari dengan menggunakan persamaan

$$y_0 = \frac{L}{\pi} \cos^{-1} \left(\sqrt{\frac{Z_{in}}{R_{in}}} \right) \quad (13)$$

$$Z_{in} = 90 \frac{\epsilon_r^2}{\epsilon_r - 1} \left(\frac{L}{w} \right)^2 \quad (14)$$

$$R_{in} = \frac{1}{2G_1} \quad (15)$$

$$G_1 = \frac{1}{90} \left(\frac{W}{\lambda_0} \right)^2 \quad W < \lambda_0 \quad (16)$$

$$G_1 = \frac{1}{120} \left(\frac{W}{\lambda_0} \right)^2 \quad W > \lambda_0 \quad (17)$$

Diketahui $W = 4,560 \text{ mm}$

$$\lambda_0 = \frac{c}{f} = 11,53 \text{ mm}$$

$$G_1 = \frac{1}{90} \left(\frac{W}{\lambda_0} \right)^2 \quad W < \lambda_0$$

$$\begin{aligned} G_1 &= \frac{1}{90} \left(\frac{4,560}{11,53} \right)^2 \\ &= 0,00173791512 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{in} &= \frac{1}{2G_1} = \frac{1}{2 (0,00173791512)} \\ &= \frac{1}{0,00347583024} \\ &= 287,701 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z_{in} &= 90 \frac{\varepsilon_r^2}{\varepsilon_{r-1}} \left(\frac{L}{W} \right)^2 \\
 L &= 3,875 \text{ mm} \\
 &= 90 \frac{(2,2)^2}{(2,2-1)} \left(\frac{3,875}{4,560} \right)^2 \\
 &= 90 \frac{(4,84)}{1,2} (0,7221) \\
 &= 262,1223 \\
 y_0 &= \frac{L}{\pi} \cos^{-1} \left(\sqrt{\frac{Z_{in}}{R_{in}}} \right) \\
 &= \frac{3,875}{\pi} \cos^{-1} \left(\sqrt{\frac{262,1223}{287,701}} \right) \\
 &= \frac{3,875}{\pi} \cos^{-1}(0,911) \\
 &= (1,23345) (0,4922154) \\
 &= 0,6
 \end{aligned}$$

Sehingga sesudah menghitung dimensi antenna yang akan dibuat, selanjutnya membuat dalam tabel seperti pada Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Nilai Perhitungan Dimensi Antena

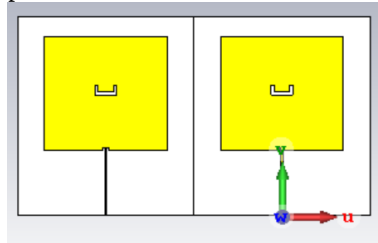
Komponen	Simbol	Nilai Dimensi (mm)
Lebar <i>patch</i>	W	4,560
Panjang <i>patch</i>	L	3,875
Tebal <i>patch</i>	Tp	0,035
Lebar <i>substrate</i>	Ws	4,77
Panjang <i>substrate</i>	Ls	4,085
Tebal <i>substrate</i>	h	0,035
Lebar <i>feeder</i>	Wf	0,1096
Panjang <i>feeder</i>	Lf	1,959
Jarak antar <i>patch</i>	d	5,765

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

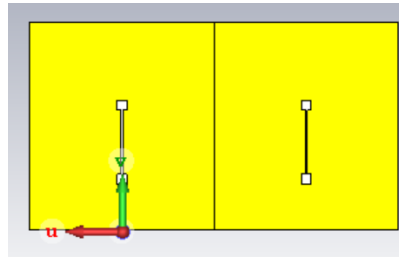
Metode yang dapat meningkatkan *bandwidth* pada antenna yaitu dengan penambahan metode *defected ground structure* (DGS) dan penambahan U – Slot pada *patch* antenna. Sedangkan untuk teknologi MIMO digunakan untuk meningkatkan kualitas transmisi data. Pada hasil dan pembahasan ini menyajikan hasil pengaruh penggunaan metode *defected ground structure* (DGS) menggunakan u – slot dan tanpa u – slot serta pengaruh antenna MIMO setelah ditambahkan metode DGS dan U – Slot. Di bawah ini merupakan hasil dan pembahasan dari penelitian tersebut.

3.1. Antena Mikrostrip dengan Penambahan MIMO 2x2

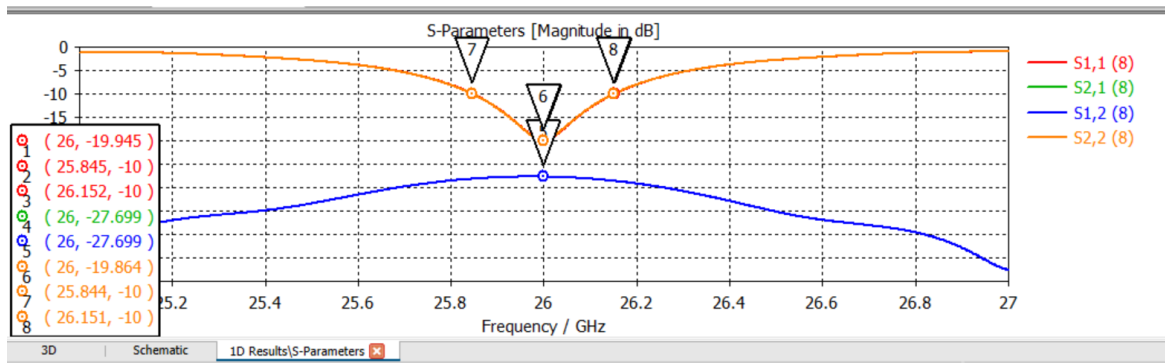
Desain dari MIMO 2x2 dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3 berikut



Gambar 2. Desain MIMO 2x2 Tampak Depan



Gambar 3. Desain MIMO 2x2 Tampak Belakang

Gambar 4. Nilai *Return Loss* MIMO 2x2

Pada Gambar 4 ditunjukkan nilai *return loss* dari MIMO 2x2. Dari perancangan antenna MIMO 2x2 didapatkan hasil nilai *return loss* (S_{11} , S_{22}) dari kedua port yaitu port 1 dan port 2. Dapat dilihat dari kurva nilai yang didapat antara kedua port tersebut pada port 1 atau pada S_{11} di frekuensi 26 GHz menghasilkan nilai *return loss* -19,945 dB, sedangkan pada port 2 pada S_{22} di frekuensi 26 GHz menghasilkan nilai *return loss* sebesar -19,864 dB.

Pada Gambar 4 dapat diketahui juga nilai *mutual coupling*. *Mutual coupling* merupakan nilai dimana antara port satu dengan port yang lainnya yang saling berhubungan yang dipengaruhi oleh nilai d atau nilai jarak antar patch antenna, dimana jarak antar patch tersebut dapat mempengaruhi kinerja dari antenna tersebut. Jika dilihat pada kurva tersebut nilai *mutual coupling* dapat dilihat dari parameter S_{21} dan S_{12} . Parameter S_{21} berarti nilai *mutual coupling* terjadi pada port 2 terhadap port 1, begitu juga sebaliknya dengan parameter S_{12} yang berarti nilai *mutual coupling* terjadi pada port 1 terhadap port 2. Dari kedua parameter tersebut yaitu S_{21} dan S_{12} memiliki nilai *mutual coupling* sebesar -27,699 dB.

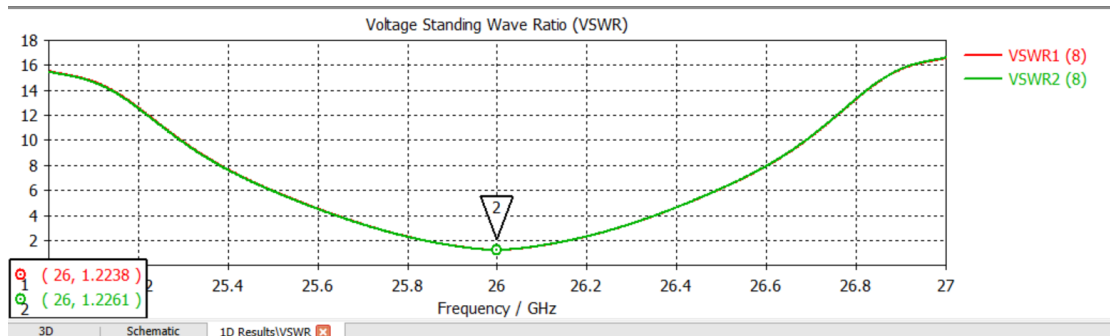
Dari kurva tersebut juga dapat dicari nilai *bandwidth* pada port 1 dan port 2. Pada port 1 memiliki nilai frekuensi tertinggi yaitu dengan nilai sebesar 26,152 GHz dan nilai frekuensi terendah yaitu 25,845 GHz. Maka dengan pengurangan kedua frekuensi tersebut dapat dihasilkan nilai *bandwidth* pada port 1 yaitu sebesar 307 MHz atau 0,307 GHz. Sedangkan pada port 2 dapat dicari juga nilai *bandwidth* nya yaitu dengan frekuensi tertinggi yaitu 26,151 GHz dan frekuensi terendah yaitu 25,844 GHz maka dengan ini dapat diketahui nilai *bandwidth* nya yaitu sebesar 307 MHz atau 0,307 GHz.

Dari kurva S parameter yang ditunjukkan pada gambar di atas dapat juga didapatkan nilai koefisien korelasi (ρ). Nilai koefisien korelasi merupakan parameter yang dapat digunakan untuk mengukur interferensi sinyal antar saluran. Nilai koefisien korelasi dapat dicari menggunakan persamaan 18, pada persamaan tersebut diperlukan nilai *return loss* dan nilai *mutual coupling* antar port. Pada gambar 4. pada parameter S antara port 1 dan port 2 dimana pada port 1 yaitu S_{11} memiliki nilai *return loss* sebesar -19,945 dB sedangkan pada port 2 pada S_{22} GHz menghasilkan nilai *return loss* sebesar -19,864 dB. Lalu untuk nilai *mutual coupling* pada parameter S_{21} atau nilai *mutual coupling* port 2 terhadap port 1 sebesar -27,699 dB, dan pada parameter S_{12} atau nilai *mutual coupling* port 1 terhadap port 2 juga sama yaitu sebesar -27,699 dB. Maka dari itu dari nilai yang telah di hasilkan dapat dicari nilai koefisien korelasinya dengan persamaan 18 sebagai berikut

$$\rho = \frac{|S_{11} * S_{12} + S_{21} * S_{22}|}{[1 - (|S_{11}|^2 + |S_{21}|^2)][1 - (|S_{22}|^2 + |S_{12}|^2)]}$$

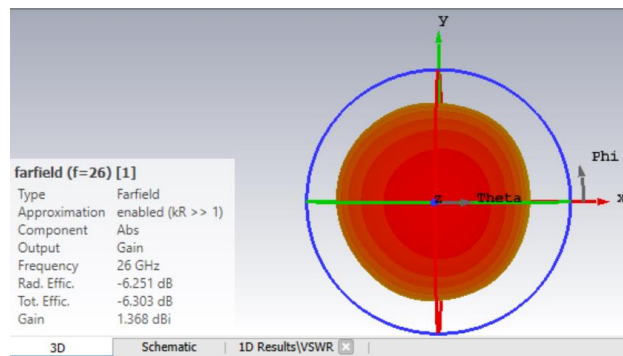
$$\rho = \frac{|(-19,945 * -27,699) + (-27,699 * -19,864)|}{[1 - (|-19,945|^2 + |-27,699|^2)][1 - (|-19,864|^2 + |-27,699|^2)]}$$

$$= 0,000814$$

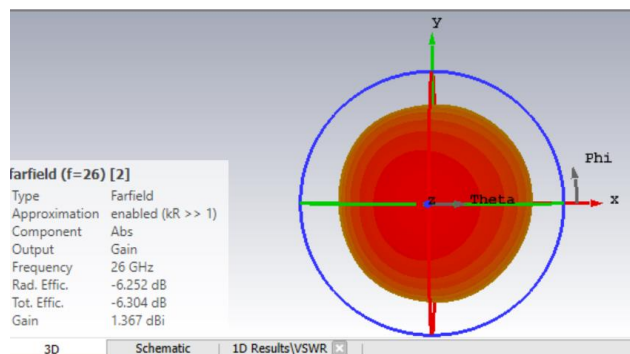


Gambar 5. Nilai VSWR MIMO 2x2

Pada kurva yang ditunjukkan oleh Gambar 5 dari perancangan MIMO 2x2 didapatkan nilai parameter VSWR dari *port* 1 dan *port* 2 secara berurutan yaitu sebesar 1,223 ; 1,226. Dari hasil VSWR yang diperoleh tersebut telah memenuhi spesifikasi parameter VSWR yaitu dibawah 2 dB pada frekuensi 26 GHz.

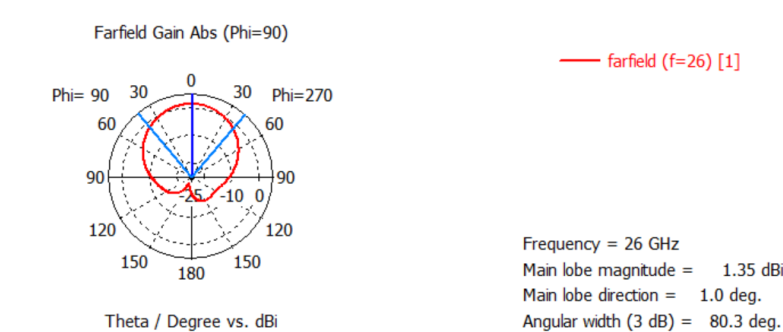


Gambar 6. Nilai Gain MIMO 2x2 port 1

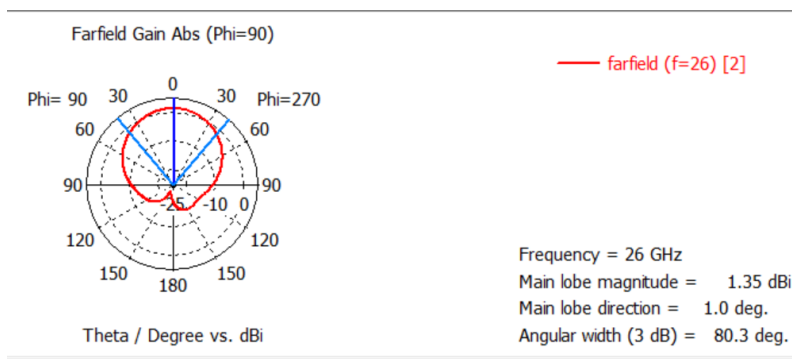


Gambar 7. Nilai Gain MIMO 2x2 port 2

Pada Gambar 6 dan Gambar 7 merupakan hasil parameter *gain* yang dihasilkan pada *port* 1 dan pada *port* 2. Pada nilai *gain* *port* 1 dihasilkan nilai *gain* pada MIMO 2x2 yaitu sebesar 1,368 dBi, sedangkan pada *port* 2 dihasilkan nilai *gain* sebesar 1,367 dBi.



Gambar 8. Pola Radiasi MIMO 2x2 port 1

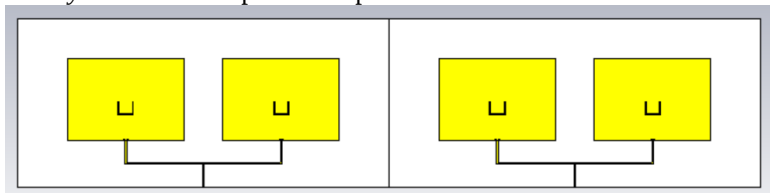


Gambar 9. Pola Radiasi MIMO 2x2 port 1

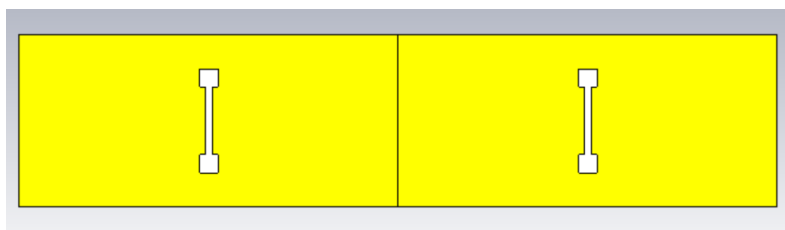
Pada Gambar 9 merupakan pola radiasi yang dihasilkan oleh antenna MIMO 2x2 yaitu *unidirectional*, yang mana pada pola radiasi *unidirectional* pola pancar antenna mengarah pada arah tertentu, dari kedua port tersebut atau port 1 dan port 2 memiliki bentuk pola radiasi yang sama.

3.2. Antena Array MIMO 2x2

Desain dari Antena Array MIMO 2x2 dapat dilihat pada Gambar 10 dan Gambar 11 berikut



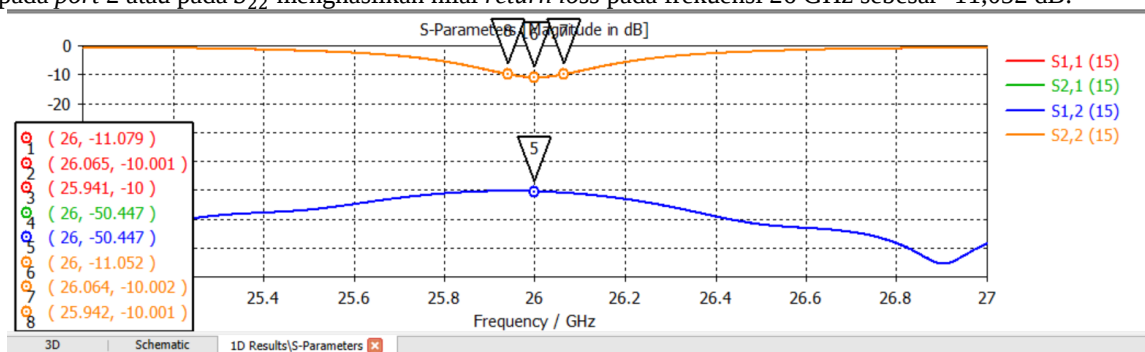
Gambar 10. Desain Antena Array MIMO 2x2 Tampak Depan



Gambar 11. Desain Antena Array MIMO 2x2 Tampak Belakang

3.2.1. Return Loss

Pada Gambar 12 yang ditunjukkan oleh gambar diatas merupakan kurva nilai *return loss* yang dihasilkan oleh antenna array MIMO 2x2. Pada gambar diatas dapat ditunjukkan nilai *return loss* yaitu pada port 1 atau pada S_{11} menghasilkan nilai *return loss* pada frekuensi 26 GHz yaitu sebesar -11,079 dB. Sedangkan pada port 2 atau pada S_{22} menghasilkan nilai *return loss* pada frekuensi 26 GHz sebesar -11,052 dB.



Gambar 12. S – Parameter Antena Array MIMO 2x2

Dari Pada Gambar 12 dapat diketahui juga nilai *mutual coupling* antenna array MIMO 2x2 yang dihasilkan pada frekuensi 26 GHz. Nilai *mutual coupling* dihasilkan karena kedua port pada antenna array MIMO 2x2 saling berhubungan antara port yang satu dengan port yang lainnya yang dipengaruhi nilai dari d atau jarak antar patch pada antenna, yang dimana jarak antar patch tersebut dapat mempengaruhi nilai kinerja dari antenna. Jika dilihat dari Gambar 12 kurva tersebut nilai *mutual coupling* yang dihasilkan pada s – parameter

S_{12} dan S_{21} yaitu sebesar -50,447 dB. Parameter S_{12} merupakan nilai *mutual coupling* yang dihasilkan dari port 1 terhadap port 2, sedangkan S_{21} merupakan nilai *mutual coupling* yang dihasilkan dari port 2 terhadap port 1. Jika dilihat dari nilai *mutual coupling* yang dihasilkan pada frekuensi 26 GHz sudah memenuhi kondisi yang diharapkan yaitu kurang dari -20 dB.

Dari nilai *mutual coupling* dan nilai *return loss* pada Gambar 12 dapat dihasilkan nilai koefisien korelasi (ρ). Koefisien korelasi merupakan parameter yang digunakan untuk mengukur interferensi sinyal antar saluran dengan nilai kurang dari 0,3. Nilai koefisien korelasi dapat dihasilkan menggunakan persamaan 2.8. Untuk mencari nilai koefisien korelasi dibutuhkan nilai *return loss* dan nilai *mutual coupling* antar port yang saling berkaitan. Dapat diketahui sebelumnya bahwa nilai *return loss* yang dihasilkan pada port 1 atau pada S_{11} sebesar -11,079 dB, sedangkan pada port 2 atau pada S_{22} menghasilkan nilai *return loss* sebesar -11,052 dB. Diketahui juga sebelumnya nilai *mutual coupling* yang dihasilkan oleh port 1 terhadap port 2 atau pada S_{12} yaitu sebesar -50,477 dB dan pada *mutual coupling* yang dihasilkan pada port 2 terhadap port 1 atau pada S_{21} yaitu sebesar -50,477 dB. Dari nilai – nilai tersebut dapat dicari nilai dari koefisien korelasi yang dihasilkan oleh antenna array MIMO 2x2 pada frekuensi 26 GHz menggunakan persamaan 18.

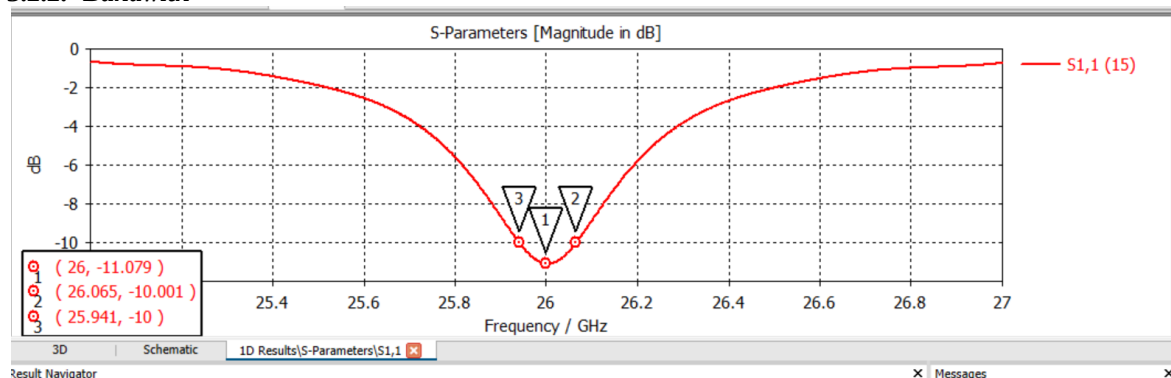
$$\rho = \frac{|S_{11} \cdot S_{12} + S_{21} \cdot S_{22}|}{[1 - (|S_{11}|^2 + |S_{21}|^2)][1 - (|S_{22}|^2 + |S_{12}|^2)]} \quad (18)$$

$$\rho = \frac{|(-11,079) \cdot (-50,477) + (-50,477) \cdot (-11,052)|}{[1 - (|-11,079|^2 + |-50,477|^2)][1 - (|-11,052|^2 + |-50,477|^2)]}$$

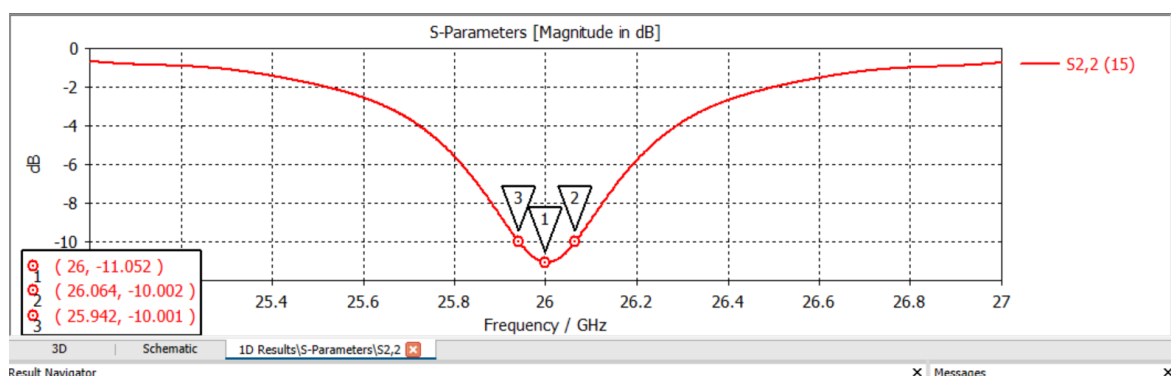
$$= 0,070377$$

Jadi nilai koefisien korelasi yang dihasilkan oleh antenna array MIMO 2x2 pada frekuensi 26 GHz yaitu 0,070377.

3.2.2. Bandwith



Gambar 13. Bandwith Pada Port 1

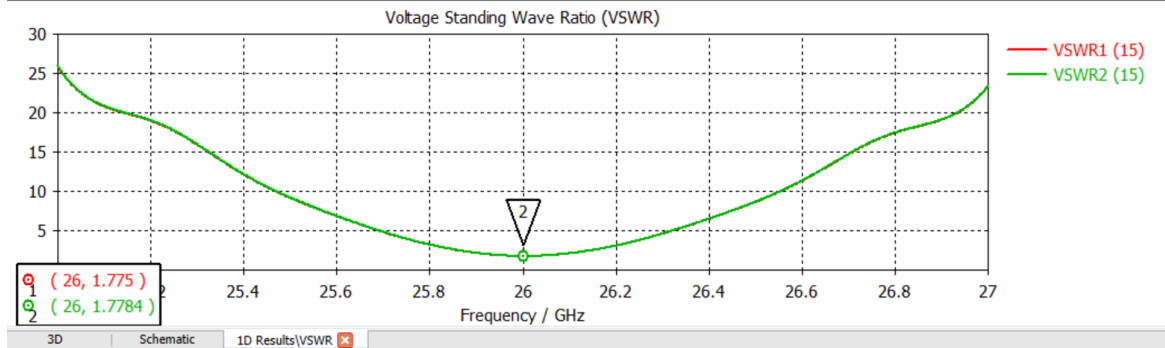


Gambar 14. Bandwith Pada Port 2

Pada Gambar 13 dan Gambar 14 diatas merupakan nilai dari *bandwith* yang dihasilkan oleh antenna array MIMO 2x2. Pada Gambar 13 merupakan s – parameter yang dihasilkan pada port 1 atau pada antenna 1, dari gambar tersebut yang ditunjukkan oleh kurva dapat dicari nilai *bandwith* nya yaitu dengan cara mengurangi nilai frekuensi tertinggi dengan frekuensi terendah, dalam kurva ditunjukkan bahwa nilai tertinggi nya yaitu pada frekuensi 26,065 GHz, sedangkan frekuensi terendah nya yaitu 25,941 GHz. Maka dari frekuensi tersebut dapat ditemukan nilai *bandwith* nya sebesar 0,125 GHz

Kemudian pada Gambar 14 merupakan s – parameter yang dihasilkan oleh *port* 2 atau pada antenna 2, dari gambar dapat dicari nilai *bandwith* nya. Pada kurva tersebut ditunjukkan bahwa frekuensi tertinggi yaitu berada pada frekuensi 26,064 GHz, sedangkan pada frekuensi terendah berada pada frekuensi 25,942 GHz. Maka *bandwith* yang dihasilkan yaitu sebesar 0,122 GHz.

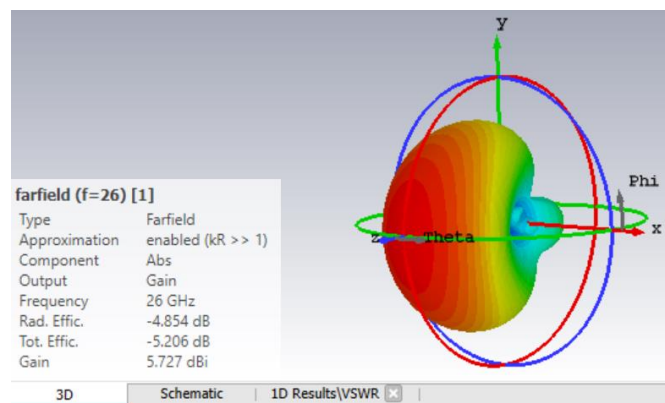
3.2.3. Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)



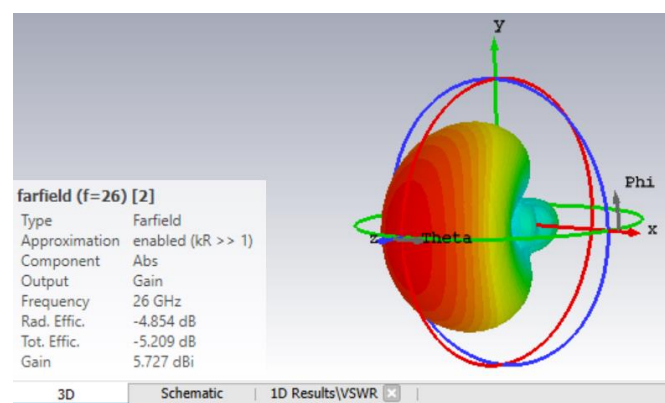
Gambar 15. Nilai VSWR Antena Array MIMO 2x2

Dari Gambar 15 menunjukkan hasil simulasi antenna *array* MIMO 2x2 pada frekuensi 26 GHz menghasilkan nilai VSWR pada *port* 1 yaitu sebesar 1,775 dB, sedangkan pada *port* 2 menghasilkan nilai VSWR sebesar 1,77 dB. Dilihat dari nilai VSWR tersebut dapat dikatakan sudah memenuhi nilai spesifikasi yang telah diharapkan yang mana ≤ 2 dB.

3.2.4. Gain



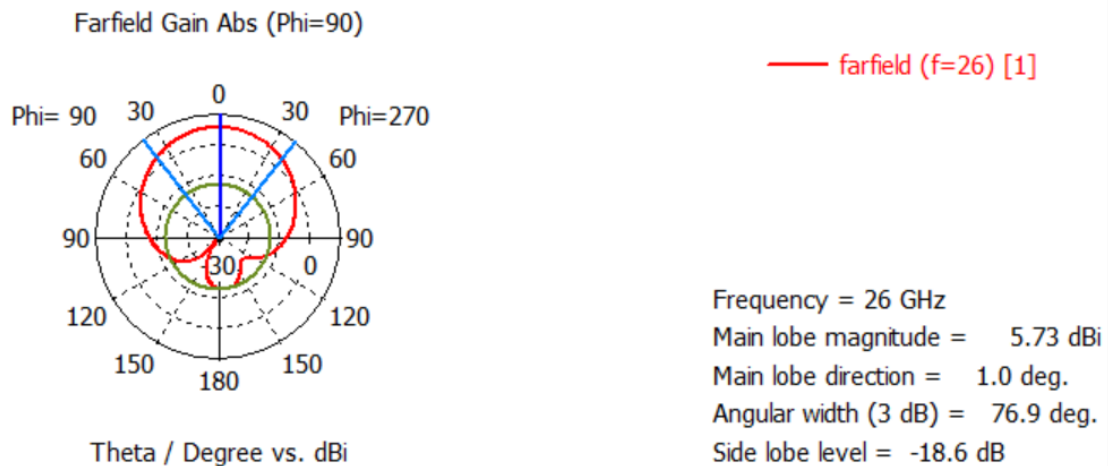
Gambar 16. Nilai Gain pada Port 1



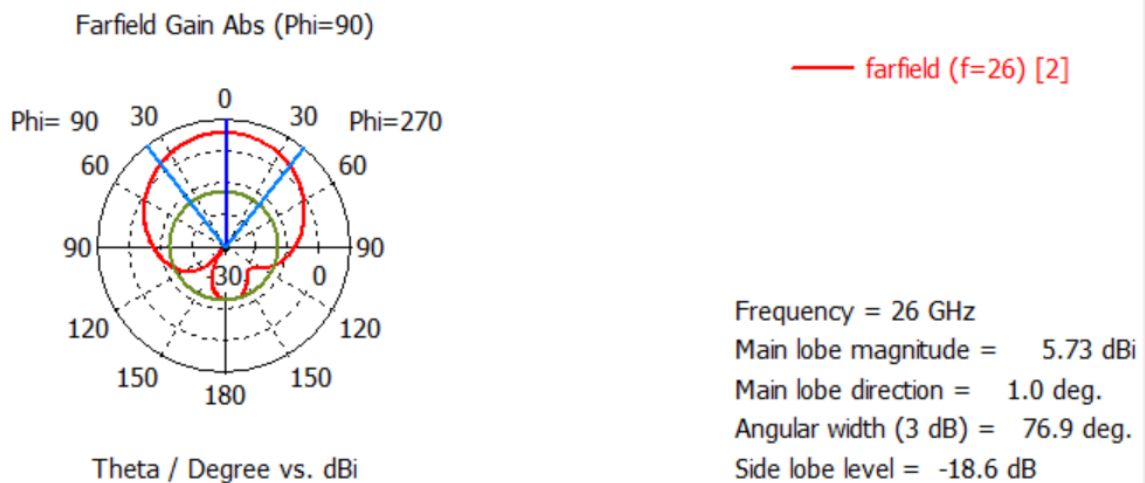
Gambar 17. Nilai Gain pada Port 2

Dari Gambar 16 dapat dilihat nilai *gain* yang dihasilkan pada antenna *array* MIMO 2x2 pada *port* 1 yaitu sebesar 5,727 dBi, sedangkan Gambar 17 menunjukkan nilai *gain* yang dihasilkan pada *port* 2 sebesar 5,727 dBi.

3.2.5. Pola Radiasi



Gambar 18. Pola Radiasi Port 1



Gambar 19. Pola Radiasi Port 2

Dari Gambar 18 dan Gambar 19 menunjukkan pola radiasi yang dihasilkan dari simulasi antenna array MIMO 2x2 pada frekuensi 26 GHz, pada port 1 dan port 2 menghasilkan pola radiasi *unidirectional*. Dimana pola radiasi *unidirectional* merupakan pola radiasi yang mengarah pada arah tertentu saja.

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini berhasil merancang desain antenna array MIMO 2x2 untuk komunikasi 5G dengan ukuran dimensi 33,77 mm x 7,63 mm, menggunakan beberapa metode yaitu dengan menggunakan metode U-Slot dan DGS sehingga memperoleh *bandwidth* sebesar 125 MHz, sedangkan *gain* nya mengalami kenaikan sebesar 5,725 dB. Koefisien korelasinya menghasilkan 0,070377, sedangkan *mutual coupling* pada S_{12} dan S_{21} sebesar -50,477 dB. Sehingga desain ini dapat difabrikasi dan dilakukan uji coba terhadap antenna ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Hadi and A. Aminah, "Jurnal Matematika dan Sains," *Jurnal Sains Dan Matematika*, vol. 20, no. 3, pp. 54–57, 2015.
- [2] D. Rianti, A. Hikmaturokhman, and D. Rachmawaty, "Techno-Economic 5G New Radio Planning Using 26 GHz Frequency at Pulogadung Industrial Area," in *International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems (ISRITI)*, Yogyakarta, Indonesia: IEEE, 2020, pp. 272–277.
- [3] F. K. Karo, A. Hikmaturokhman, and M. A. Amanaf, "5G New Radio (NR) Network Planning at Frequency of 2.6 GHz in Golden Triangle of Jakarta," in *2020 3rd International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems, ISRITI 2020*, 2020. doi: 10.1109/ISRITI51436.2020.9315504.
- [4] H. B. Riswanto, I. Erlangga, D. Putra Sati, M. Rizky, F. A. Rosyid, and A. Hikmaturokhman, "Dampak MU-MIMO dan SU-MIMO pada Perencanaan Jaringan Seluler 2300 MHz: Studi Komprehensif di Kota Cilacap," *Jurnal Riset Rekayasa Elektro*, vol. 6, no. 1, pp. 13–24, 2024, doi: <https://dx.doi.org/10.30595/jrre.v6i1.20921>.

- [5] Huawei, "New 5G , New Antenna," *Huawei*, 2019.
- [6] R. Ghifari, L. Sari, R. D. Mardian W, S. Alam, and I. Surjati, "Interference Analysis Between 5G System and Fixed Satellite Service in the 28 GHz Band," *ELKHA*, vol. 15, no. 2, pp. 91–97, 2023, doi: <https://dx.doi.org/10.26418/elkha.v15i2.51040>.
- [7] A. Hikmaturokhman, "Spectrum Considerations for 5G in Indonesia," in *ICT Rudev*, 2018, pp. 1–6.
- [8] A. Sukarno, A. Hikmaturokhman, and D. Rachmawaty, "Comparison of 5G NR Planning in Mid-Band and High-Band in Jababeka Industrial Estate," in *2020 IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite, Comnetsat 2020 - Proceedings*, 2020. doi: 10.1109/Comnetsat50391.2020.9329000.
- [9] A. Hikmaturokhman, M. Suryanegara, and K. Ramli, "A Comparative Analysis of 5G Channel Model with Varied Frequency: A Case Study in Jakarta," in *2019 7th International Conference on Smart Computing and Communications, ICSCC 2019*, 2019. doi: 10.1109/ICSCC.2019.8843632.
- [10] K. Jones A.S., L. Olivia N., and B. Syihabuddin, "Perancangan Antena MIMO 2×2 Array Rectangular Patch dengan U-Slot untuk Aplikasi 5G," *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI)*, vol. 6, no. 1, 2017, doi: 10.22146/jnteti.v6i1.299.
- [11] A. Wahyudin, A. Hikmaturokhman, and D. A. Harish, "Spectrum Fee License Analysis on 3.5, 26, and 28 GHz Frequency For 5G Implementation in Indonesia," in *2021 IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite (Comnetsat)*, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2021.
- [12] M. R. Syahputra and M. Irhamsyah, "Perancangan Antena Microstrip Rectangular Patch Array 4 Elemen Untuk Aplikasi Lte," *Jurnal Karya Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 2, no. 4, pp. 52–58, 2017.
- [13] M. Yuniati, "DESIGN DAN REALISASI ANTENA MIKROSTRIP REKTANGULAR 2 ARRAY UNTUK APLIKASI WiFi," 2015.
- [14] A. Widiyanti, *Program studi s1 teknik telekomunikasi fakultas teknik telekomunikasi dan elektro institut teknologi telkom purwokerto 2022*. 2022.
- [15] M. Ihsan, A. Hikmaturokhman, S. Laras, and S. Alam, "Design of 5G MIMO 2x2 Broadband Antenna At 26 GHz Frequency Using Double U-Slot Method and Defected Ground Structure," *Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering)*, vol. 10, no. 2, pp. 247–257, Oct. 2023, doi: 10.33019/jurnalecotipe.v10i2.4409.
- [16] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design, 3rd Edition*. 2005.

Fire Alarm System Design Based on PLC Pi Pico at MCC XYZ Company

Gama Dhuhry Avreliyanda¹, Rini Puji Astutik²

^{1,2} Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Muhammadiyah University Gresik
Jl. Sumatra No. 101, Mt. Malang, Randuagung, Gresik Regency 61121

Informasi Makalah

Dikirim, 1 Desember 2024

Diterima, 10 Desember 2024

Diterbitkan, 20 Desember 2024

Keyword:

Fire alarm system

PLC rapsberry pi pico

MQ2 sensor

Flame detector sensor

SCADA

MCC

ABSTRACT

As is known, the development of technology today is much faster than in previous eras. Especially in the field of industrial automation systems. With the rapid development of technology, one of its functions is to facilitate human work with the existence of an automatic control system. MCC or known as the motor control center is equipment in industrial applications that is used to control motors centrally on a panel. This article describes the design and prototype method for a fire alarm system based on the PLC pi pico at the MCC XYZ company. The work process in this system is to monitor fires in the MCC room of the XYZ company, this system is controlled using the PLC Rapsberry pi pico. While SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) is used as a monitoring system with the MQ 2 sensor, Flame detector sensor, pushbutton as a temperature sensor and can also be accessed via the melsec protocol. The output is in the form of an alarm and a pump. The results of this study show that the tool works well and is able to help minimize fires in the area.

Korespondensi Penulis:

Gama Dhuhry Avreliyanda

Undergraduate Study Program in Electrical Engineering

Faculty of Engineering, Muhammadiyah University Gresik

Jl. Sumatra No. 101, Mt. Malang, Randuagung, Gresik Regency 61121

Email : gamaavreliyanda@gmail.com

1. INTRODUCTION

In today's technological developments, the control system is one of the systems that cannot be separated from everyday life, starting from room temperature control, robot control, and so on. Basically, the control system can make everyday life easier and is also expected to speed up the process stably and can reduce (human error) which is usually done by humans. One form of application of the fire alarm system in the MCC room. MCC or known as the motor control center is equipment in industrial applications that is used to control motors centrally in a panel. In addition, the main purpose of the MCC is used to provide a centralized location and protection so as to facilitate the maintenance process.

The general understanding of a fire alarm system is a system or tool for detecting fires in a room. Basically, fires are a fatal problem in factories or a room. In addition, fires can cause the production process to stop or can also destroy a particular factory. So that from some of these problems, a fire detection device or known as a fire alarm system is needed.

Based on the research, it has been discussed about the automatic cooling system. From [1] conducted a study using the MQ2 sensor and IR Flame Sensor as input, then monitored with android in real time. In this study, it was controlled by the esp8266 microcontroller. In this study, it was monitored via Whatsapp Bot and there is no report data that records history in real time on the system and SCADA. In the study [2] conducted a study using fire sensor input, MQ7 sensor, LM35 sensor. The system is controlled using Arduino Uno which

is connected to ESP8266 by connecting to the blynk application. This study does not use PLC PI Pico or Scada. In the study [3] designed a fire detection system with a programming algorithm on the Arduino idea. In the working system of the designed tool, the sensor can detect fire points and provide signals to the microcontroller by converting the infrared light emitted by the fire and converting it into analog voltage and given to the microcontroller. In the study [4] designed a fire alarm system with the aim of This system has been designed to cover three protection zones (three rooms) where when detecting a fire, zone 1 produces a light-emitting diode (LED) alarm that can be heard and seen, while the LED, direct current (DC) water pump and buzzer are triggered in zone 2 and the LED, buzzer, and Solenoid valve are triggered for zone 3. From [5] designing a system aims to create a fire and smoke alarm device consisting of PLC components, solenoid, sprinkler, power supply, adapter, smoke detector, heat detector, pilot lamp, push button, relay and selector switch. The application design is set to detect smoke and heat generated during a fire. If the smoke detector detects a ceiling and heat height, the sensor will send a signal to the PLC to turn on the alarm to warn all units to work and extinguish the fire. From [6] a fire alarm system was created using the MQ-2 Sensor, DHT22 sensor, IR flame sensor and using a communication system using the telegram application. In this study, the ESP32 MCU-32S Node acts as a data processing center obtained from sensors due to changes in different conditions. From [7] conducted a fire alarm system study with the aim of preventing fire accidents to residents and building property. This project uses an Arduino Uno board and an ATmega328 chip. The main controller used is the ATmega328 which controls the home fire alarm based on temperature signals. The LM35 temperature sensor is used to detect heat from the fire. Notification messages are sent to users via short message service (SMS) via the GSM module.

From the background above, the author made an innovation, namely creating a fire alarm system design and construction system based on PLC Pi Pico on MCC XYZ company. Where PLC Raspberry Pi Pico[8] is the controller. Where this PLC[9] is programmed using GX work software version 2[10] which has been changed to PLC Mitsubishi FX1n. The display uses Haiwell SCADA. The input section uses a flame detector sensor and MQ2 and pushbutton. At the output, it uses indicator lights, buzzers and motors, these devices are driven by relay[11] coils. In this study, the results can overcome the above problems and as a development of previous research.

2. METHOD

This research method is divided into three stages to implement this System. The first stage is the Design of the detailed part and the next stage is the design of the overall system as a prototype. The third stage and the last stage is implementation.

2.1. Designing Detailed Part

At the design stage of this system device, the components that will be used in the tool will be explained. In the process of designing the fire alarm system based on PLC Pi Pico on MCC XYZ company, several supporting components are used, including PLC Pi Pico as a controller, Sensors (MQ-2, flame detectors and pushbuttons) used as process input, and DC motors and buzzers [12] and LED indicators as outputs. For the monitoring system, Haiwell Cloud Scada software [13] is used. In this system, the power supply uses a power supply [14] and is equipped with Rs485 to ttl [15] as a slave to this PLC. The design of this system is by assembling components and programming the system so that it can work as desired. In general, the system design is as follows in the Figure 1.

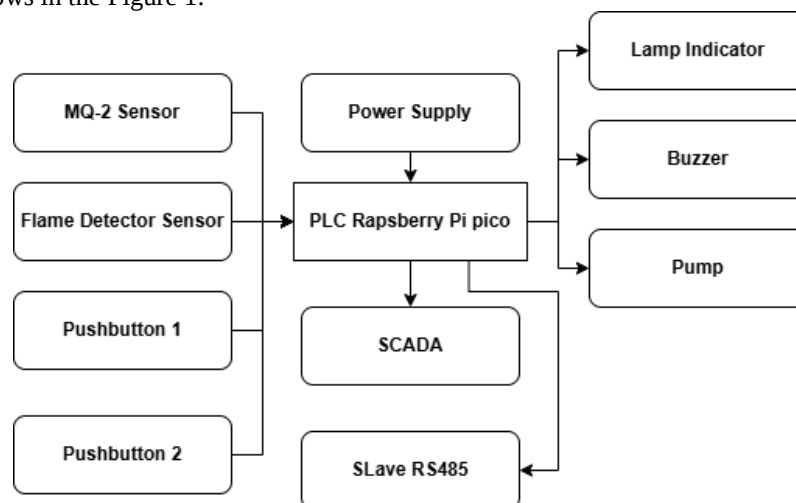


Figure 1. System Design Block

In terms of wiring, it will produce a circuit as shown in the following Figure 2.

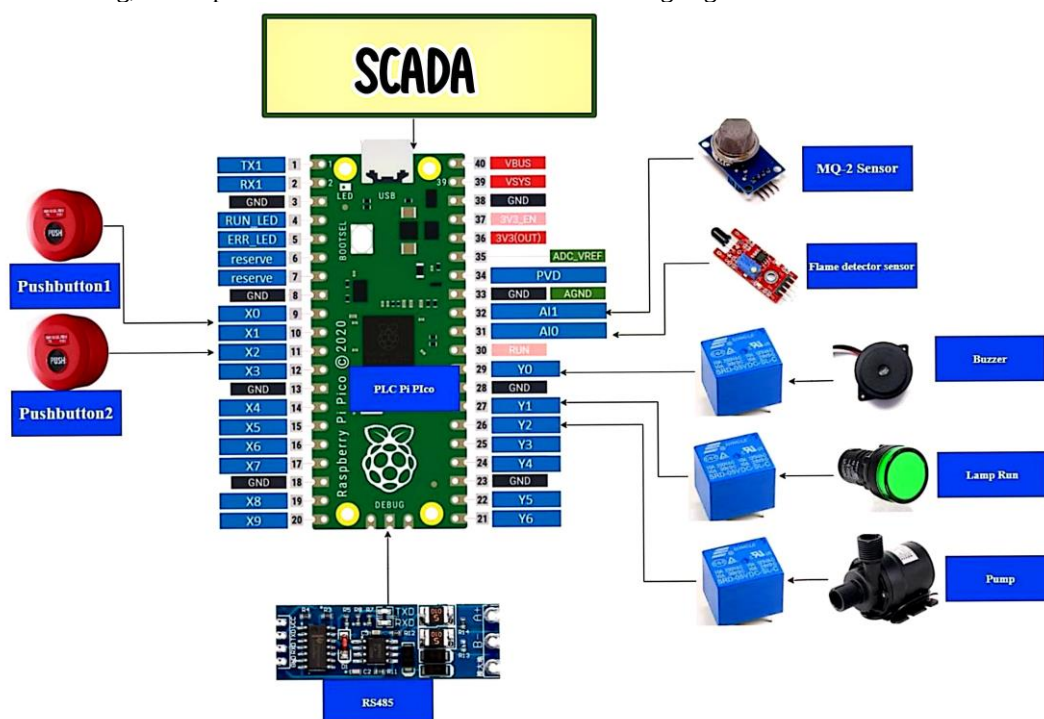


Figure 2. Wiring Input and Output

The following is a Table 1 of the system input and output layout.

Table 1. Configuration Pin IO

Component	PLC Pi Pico Pins
MQ-2 sensor	Ai 0
flame detektor sensor	Ai 1
Pushbutton 1	Di x0
Pushbutton 2	Di x1
Pump	Do Y3
Lamp Indikator Buzzer	Do Y0-Y1
Rs 485	Rx and Tx

The following is the display design of this system.

2.1.1. SCADA Design

The SCADA display has several features including the main menu, data reports, graphs and parameters.

a. Main Menu

Figure 3 or main menu is part of the SCADA screen that functions as part of the main screen. This menu has several functions. These are Graphics, parameters and reports. In addition, there are pop up control pushbutton, motor control, buzzer control, MQ2 sensor pop up and flame sensor.

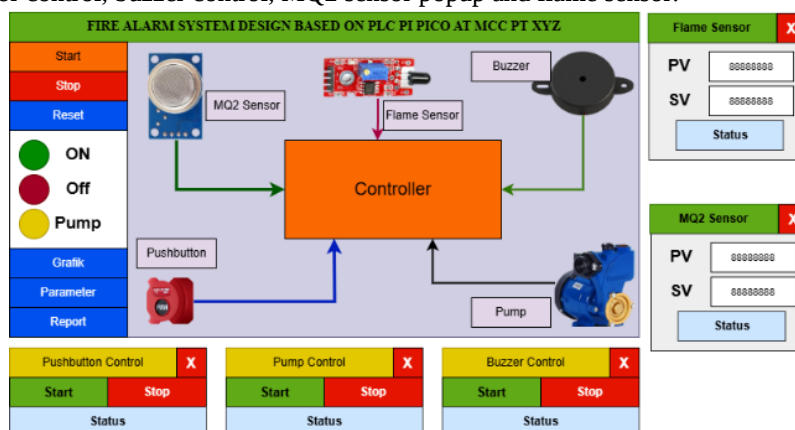


Figure 3.Design main menu

b. Graphic

Figure 4 or graphic display is also a part that shows the process of rising and falling of an object indicated in the form of line fluctuations, with the graphic display giving a more detailed impression to see changes in temperature and humidity in every second, minute, or hour. In Figure 4 the red color is the MQ2 sensor graph while the black color is the flame detector sensor.

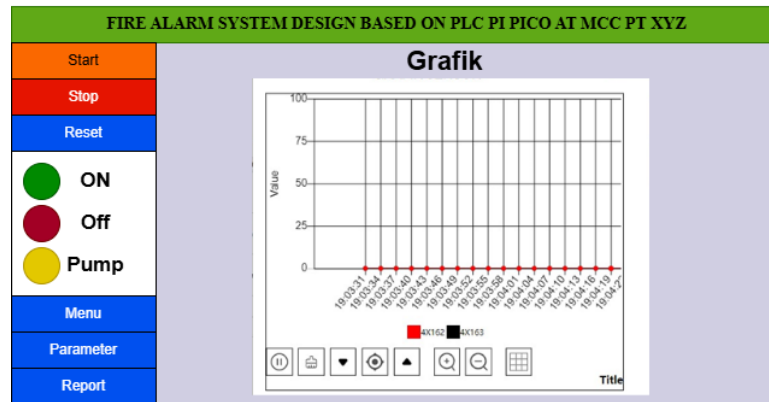


Figure 4.Design grafik

c. Parameter

This display also displays Parameters. In Figure 5 there are 3 types of data displayed, including PV, SV and tolerance. The definition of PV itself is the sensor input value. SV is a set value that is set as a reference for the output. Tolerance is the value of the sensor value calculation. In this menu there are also auto and manual buttons on the system.

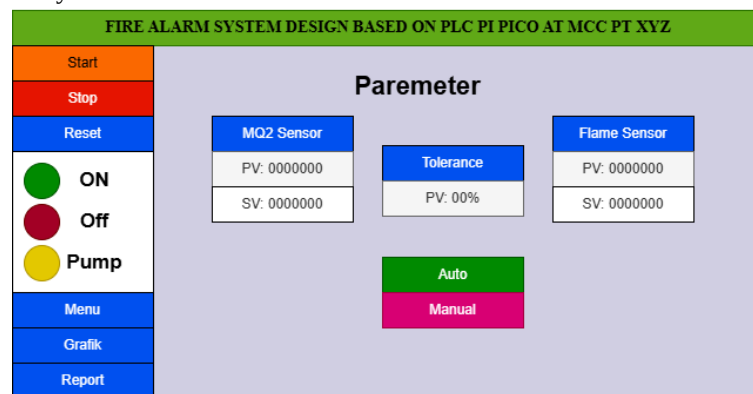


Figure 5. Design Parameter

d. Report

Figure 6 is a section that shows real-time system events from the start of the system to the end of operation. This report section can also be saved in PDF, XLS or CSV format. The information read from the report is the value of the MQ2 sensor and the flame detector sensor.

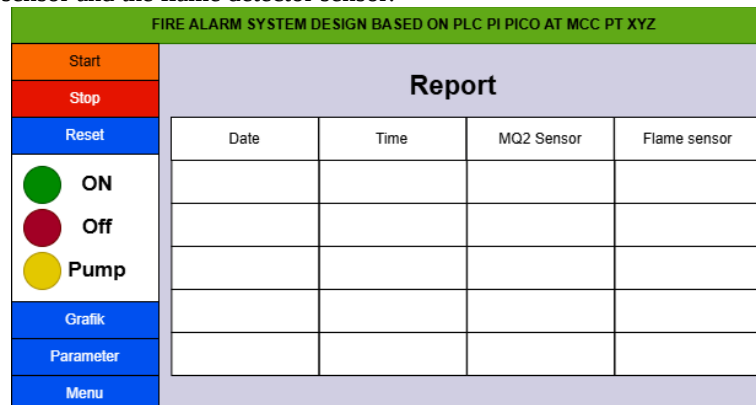


Figure 6.Design Report

2.2 Prototype Design

In the process of making a prototype control circuit design (PLC Raspberry pi pico), the design of a fire alarm system based on PLC Pi Pico on MCC XYZ company requires supporting tools such as wood or acrylic as a base. The main components and their outputs use relays as pump drivers, buzzers, indicator leds, flame detector sensors are used as input for detecting fire in the room. The MQ-2 sensor is used to detect fire smoke. The controller uses PLC PI Pico while SCADA is used as a monitoring system. After the material is made, the next step is to install the components as shown in Figure 7. From is the layout of the prototype design to be made. On Pusbutton it will be used as a manual system button.

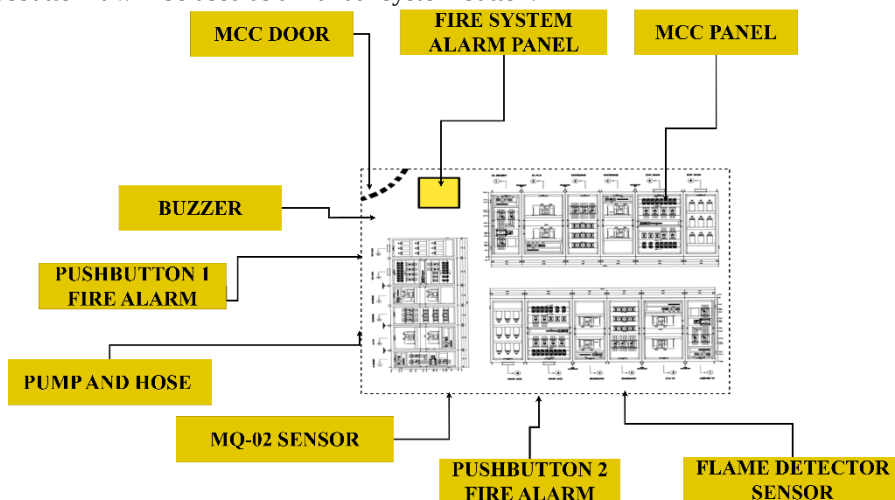


Figure 7. Prototype Design

2.3 Function Diagram

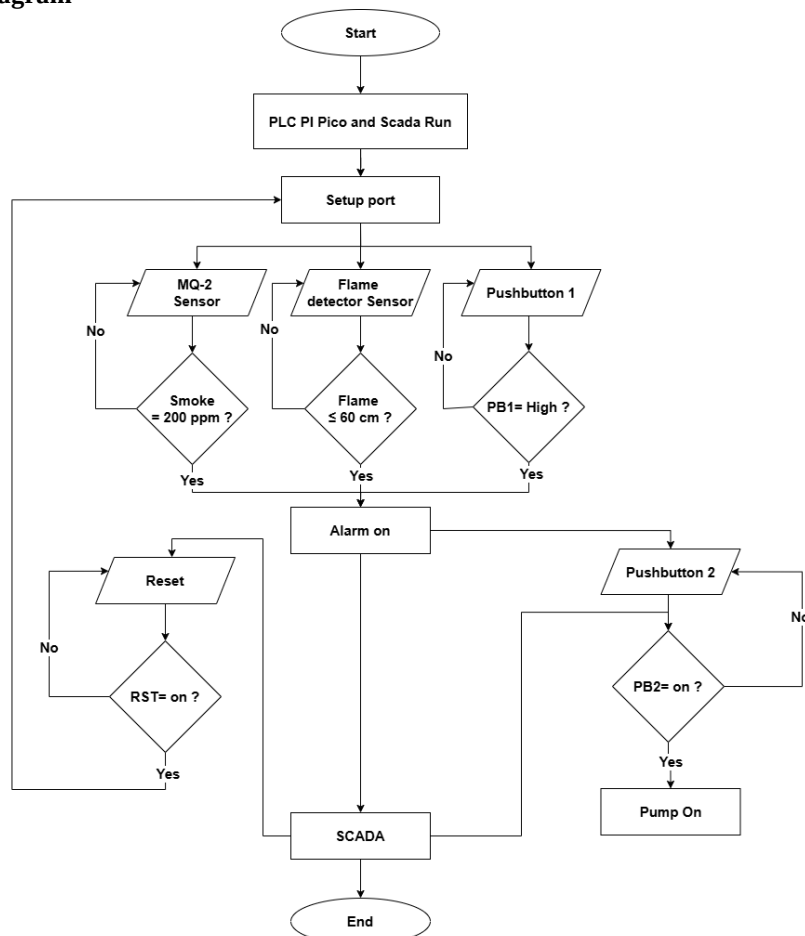


Figure 8. System Workflow Flowchart

According to figure 8, the way this system works is centered on the PLC Pi Pico and SCADA as a centralized controller. In the flowchart, it starts from the PLC Pi Pico and SCADA when on. When the MQ2 sensor is on which is connected to the Ai0 pin. After that, the flame detector sensor is on which is configured on the Ai1 pin. If the sensor value exceeds the specified setpoint and pushbutton1 is pressed, an alarm occurs. While the pump will go off if pushbutton 2 is pressed if the system is in an alarm state. When to research all systems are controlled by SCADA.

3. RESULTS AND DISCUSSION

After the tool is made, the next step is to test the tool. During the testing of this tool, several analyzes were carried out including MQ2 sensor testing, flame detector sensor testing, pushbutton testing and SCADA testing. The following is the test data on this system.

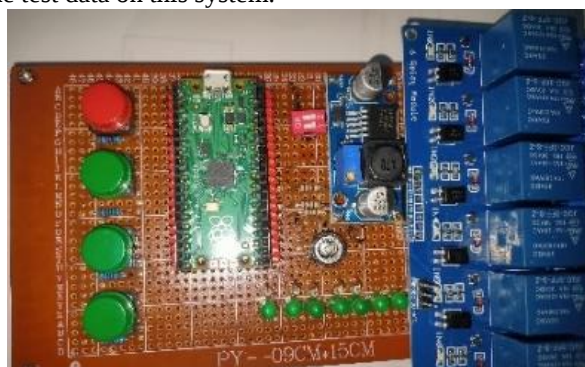


Figure 9. System Design Results

3.1. MQ2 Sensor Testing and Analysis



Figure 10. MQ2 sensor test

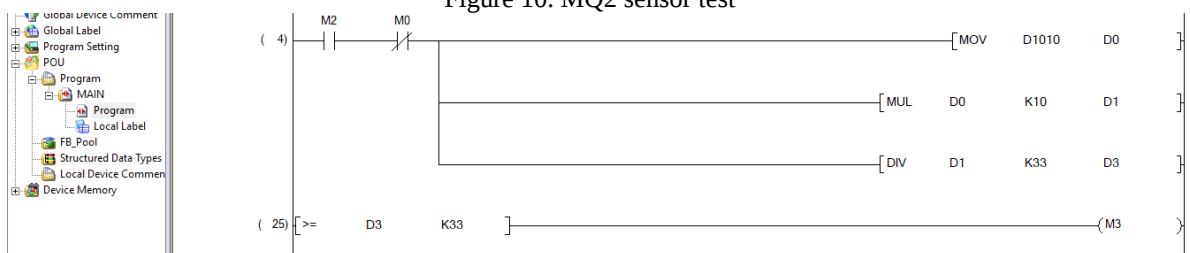


Figure 11. MQ2 Sensor Program Test

The following are the results of testing the MQ2 sensor on this system.

Table 2. MQ2 Sensor Testing and Analysis

No.	Date	Sensor values	Setpoint	alarm
1.	27/11/2024	175 Ppm	200 Ppm	Alarm Off
2.	27/11/2024	180 Ppm	200 Ppm	Alarm Off
3.	27/11/2024	200 Ppm	200 Ppm	Alarm On
4.	28/11/2024	190 Ppm	200 Ppm	Alarm Off
5.	28/11/2024	150 Ppm	200 Ppm	Alarm Off

If you look at the data in Table 2, the sensor test results are running well. This test uses the MQ2 sensor analog pin. The set point parameter used is 200ppm. This means that there is a scaling of the analog value between the minimum and maximum values between 0 and 200ppm. This is processed through the raspberry Pi Pico PLC program with the ascii value. From the program above, the sensor analog pin is configured at d1010 which is issued at d0.

3.2 Flame Detector Sensor Testing and Analysis

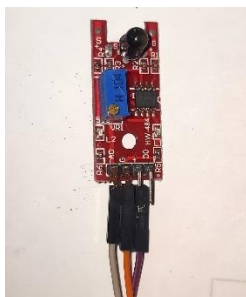


Figure 12.Flame Detector Sensor Test

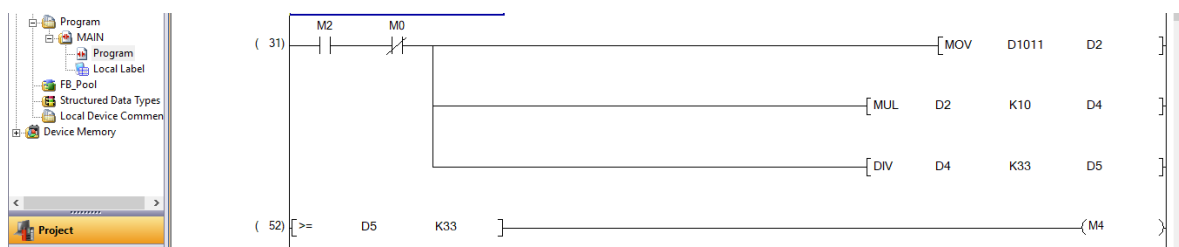


Figure 13.Flame Detector Sensor Program Test

The following are the results of testing the flame detector sensor on this system.

Table 3. Flame Detector Sensor Testing and Analysis

No.	Date	Sensor Values	Setpoint	Alarm
1.	27/11/2024	45 Cm	60 Cm	Alarm On
2.	27/11/2024	55 Cm	60 Cm	Alarm On
3.	27/11/2024	60 Cm	60 Cm	Alarm On
4.	28/11/2024	63 Cm	60 Cm	Alarm Off
5.	28/11/2024	7 Cm	60 Cm	Alarm On

In Table 3 are the results of the flame detector sensor test. This test uses analog output. This means that the analog pin is connected to the ADC 2 which is configured on the D1011. This test uses a set point distance of 60 cm. From the data in table 2, if the sensor value is below 60 cm, the system will display an alarm. If the sensor value is above 60 cm, the alarm is off.

3.3 Digital Component Testing and Analysis

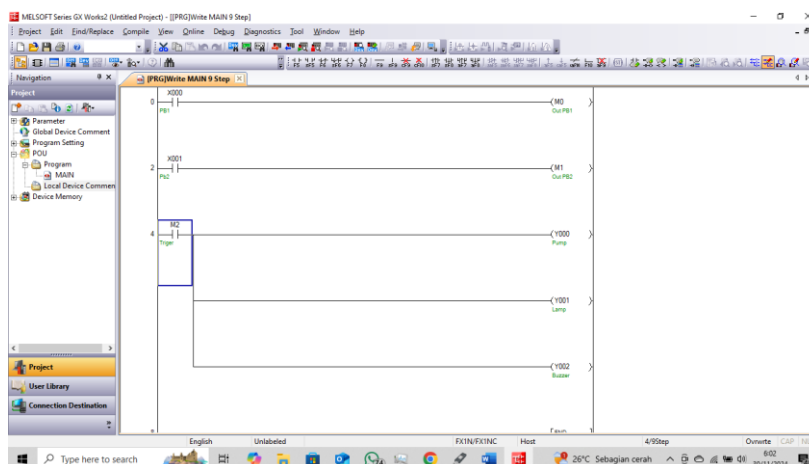


Figure 14. Digital Component Program Test

The following are the results of testing the flame detector sensor on this system.

Table 4. Digital Component Test and Analysis

Digital Component	Component	Remark
Pushbutton 1	Yes	Components work according to function
Pushbutton 2	Yes	Components work according to function
Pump	Yes	Components work according to function
Buzzer	Yes	Components work according to function
Lamp	Yes	Components work according to function

Table 4 shows the results of digital component testing. Basically, digital components only use high and low commands. In the test above, pushbutton 1 is configured at x0, pushbutton 2 x1, pump y0, lamp y1 and buzzer y2. In this test, the input is issued with the memory instruction (m) and the output is triggered by the instruction (m).

3.4 SCADA Testing and Analysis

In Table 5 shows the results of SCADA Testing and Analysis

Table 5. SCADA Testing

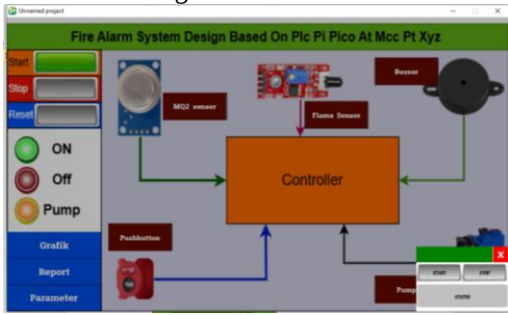
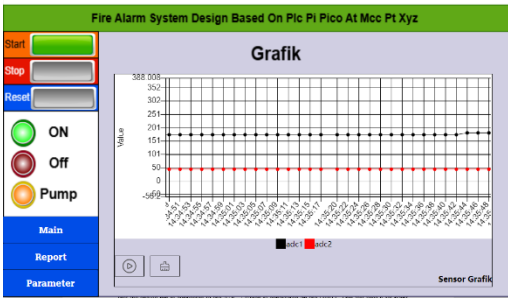
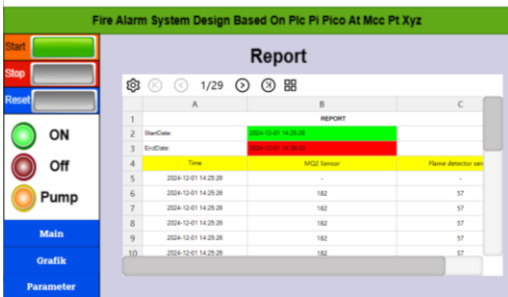
No.	Types of Testing	Compliance		Remark
		Yes	No	
1.	Main menu design 	✓		Figure 15 shows the design of the main menu. In testing this display contains several buttons, namely the toolbar on the left and the pop-up menu in the input and output.
2.	Grafik design 	✓		Figure 16 shows the graphic design. In this display test, there are 2 graphs, namely the ADC 1 graph (MQ2 sensor) and ADC2 (flame detector sensor). This display is loaded in real time every second.
3.	Report design 	✓		Figure 17 shows the data report display. The results of this report can be saved in Excel, PDF and CSV formats. From this test, the values recorded are the mq2 sensor and the flame detector sensor. At the time according to the computer used.

Figure 17. Report design

No.	Types of Testing	Compliance		Remark
		Yes	No	
4.	Parameter design	✓		Figure 18 shows the parameter display. In this display, the PV or real value of the mq 2 sensor is 182 ppm with an SV or set point value of 200. On the flame detector sensor, the PV value is 57 cm with an SV of 60. Here, there is also a tolerance value of 10 which is used for maximum sensor reading guidance if there is a difference in value.

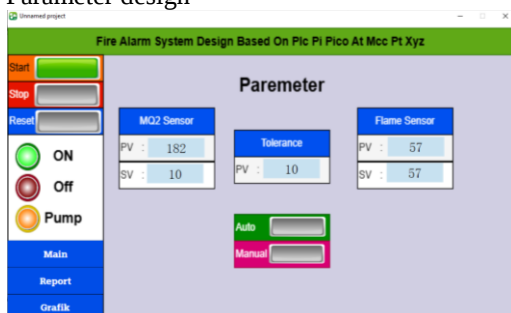


Figure 18. Parameter design

4. CONCLUSION

Based on the design and testing of the PLC Pi Pico based fire alarm system on the MCC XYZ company equipment, it was concluded that the device works well and can overcome fires in the MCC. For its implementation, it can make it easier for workers to monitor fire protection in the MCC area. This system is suitable because it is cheaper than using an official PLC. The features contained in SCADA are very helpful for monitoring and acquiring fire protection data in the MCC room. The relative display uses a serial for the future can be used via Ethernet using the moxa msgate module.

REFERENCE

- [1] H. Jurnal, A. Anggarani, And T. Feri Efendi, "Jurnal Riset Teknik Komputer (Jurtikom) Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Kebakaran Dan Pemadam Api Otomatis Berbasis Internet Of Things (Iot)," Jurtikom, Vol. 1, No. 2, Pp. 97–111, 2024, [Online]. Available: <https://Journal.Smartpublisher.Id/Index.Php/Jurtikom/Article/Download/112/133/614>
- [2] T. H. Siregar, S. P. Sutisna, G. E. Pramono, And M. M. Ibrahim, "Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Kebakaran Berbasis Iot Menggunakan Arduino," Ame (Aplikasi Mek. Dan Energi) J. Ilm. Tek. Mesin, Vol. 7, No. 2, P. 59, 2021, Doi: 10.32832/Ame.V7i2.5063.
- [3] D. K. Prasetyo, M. Fauziyah, And S. Adhisuwarnjo, "Jurnal+Dimas+Kohesi (1)," Vol. 2, No. 6, Pp. 71–80, 2024.
- [4] K. Umaru, D. Joseph, And F. Tartisious, "Design And Implementation Of A Fire Detection, Alarm And Suppression System Using Programmable Logic Controller (Plc)," Int. J. Acad. Eng. Res., Vol. 7, No. 12, Pp. 20–29, 2023, [Online]. Available: www.ijeais.org/Ijaer
- [5] H. Darmawan, V. Yusiana, And H. Siregar, "Rancang Bangun Fire Alarm Dan Smoke Detector Berbasis Programmable Logic Controller (Plc) Tyfe Sr3b261bd," J. Electr. Power Control Autom., Vol. 5, No. 2, P. 58, 2022, Doi: 10.33087/Jepca.V5i2.77.
- [6] M. N. Fachry, H. S. Syah, And S. Sungkono, "Rancang Bangun Sistem Pemadam Kebakaran Berbasis Internet Of Things," E-Link J. Tek. Elektro Dan Inform., Vol. 16, No. 2, P. 65, 2021, Doi: 10.30587/E-Link.V16i2.2956.
- [7] N. N. Mahzan, N. I. M. Enzai, N. M. Zin, And K. S. S. K. M. Noh, "Design Of An Arduino-Based Home Fire Alarm System With Gsm Module," J. Phys. Conf. Ser., Vol. 1019, No. 1, 2018, Doi: 10.1088/1742-6596/1019/1/012079.
- [8] A. N. Y. Express Et Al., "Colophon," [Online]. Available: <https://Datasheets.Raspberrypi.Com/Pico/Pico-Datasheet.Pdf>
- [9] Y. A. Desita, "Bab Ii Landasan Teori," J. Chem. Inf. Model., Vol. 53, No. 9, Pp. 1689–1699, 2021, [Online]. Available: [https://Repository.Mercubuana.Ac.Id/84998/4/Bab 2.Pdf](https://Repository.Mercubuana.Ac.Id/84998/4/Bab%202.Pdf)
- [10] P. 47, "Mitsubishi Plc Software," Plc247.Com. Accessed: Oct. 20, 2024. [Online]. Available: <https://Plc247.Com/Download-Gx-Works-2-V1-620w-Full-New-Version/>
- [11] Fec, "Relay Modules 1-Channel Features," Futur. Electron. Corp., No. 5 V, Pp. 1–2, 2019, [Online]. Available: http://Fecegypt.Com/Uploads/Datasheet/1522335719_Relay Module.Pdf
- [12] L. Rri, "Dioda," Kantor Pusat Lpp Rri. Accessed: Oct. 20, 2024. [Online]. Available: <https://Www.Rri.Co.Id/Iptek/832724/Alat-Elektronik-Dioda-Ini-Jenis-Dan-Fungsinya>
- [13] Pt. Canindo Daya Elektri, "Haiwell Cloud Scada." Accessed: Aug. 05, 2023. [Online]. Available: Www.Canindo-Cde.Co.Id
- [14] R. Adolph, "Catu Daya," Pp. 1–23, 2016, [Online]. Available: <https://Digilib.Polban.Ac.Id/Files/Disk1/246/Jbtpolban-Gdl-Saepulmulu-12262-3-Bab2--2.Pdf>
- [15] Helen, "Rs485 Wiring, Communication And Difference With Rs232," Shandong Renke Control Technology Co.,Ltd. Accessed: Dec. 21, 2023. [Online]. Available: <https://Www.Renkeer.Com/What-Is-Rs485/>
- [16] T. Data, "Mq-2 Semiconductor Sensor For Combustible Gas," Pololu, P. 2, 2016, [Online]. Available: <https://Www.Pololu.Com/File/0j309/Mq2.Pdf>
- [17] Suprianto, "Pengertian Push Button Switch (Saklar Tombol Tekan)," Wordpress. Accessed: Oct. 20, 2024. [Online].

- Available: <https://Blog.Unnes.Ac.Id/Antosupri/Pengertian-Push-Button-Switch-Saklar-Tombol-Tekan/>
- [18] P. Technical, "Ky-026 Flame-Sensor Module," Pp. 118–124, 2017, [Online]. Available: <https://Moviltronics.Com/Wp-Content/Uploads/2019/10/Ky-026.Pdf>
- [19] W. K. Raharja And R. Ramadhon, "Purwarupa Alat Pendeteksi Kebakaran Jarak Jauh Menggunakan Platform Thinger.Io," J. Elektro Luceat, Vol. 7, No. 2, Pp. 188–206, 2021.
- [20] D. Sasmoko And A. Mahendra, "Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Kebakaran Berbasis Iot Dan Sms Gateway Menggunakan Arduino," Simetris J. Tek. Mesin, Elektro Dan Ilmu Komput., Vol. 8, No. 2, P. 469, 2017, Doi: 10.24176/Simet.V8i2.1316.

Prototipe Timbangan Digital dan Pengendali Konveyor Otomatis untuk Pembersih Limbah Kotoran Hewan Ternak Kambing

Prototype of Digital Scales and Automatic Conveyor Controller for Cleaning Goat Animal Manure Waste

Son Ali Akbar¹, Ruly Erwin AfanDika², Anton Yudhana³, Dian Nova Kusuma Hardani⁴

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan

⁴ Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Muhammadiyah Purwokerto

^{1,2,3} Jl. Ahmad Yani (Ringroad Selatan) Tamanan, Bantul, Yogyakarta 55166, Indonesia

⁴ Jl. K. H. Ahmad Dahlan PO BO 202, Purwokerto 53182, Indonesia

Informasi Makalah

Dikirim, 20 November 2024

Diterima, 16 Desember 2024

Diterbitkan, 20 Desember 2024

Kata Kunci:

Limbah kotoran ternak

Konveyor otomatis

Timbangan digital

Sensor *load cell*

Keyword:

Animal manure waste

Automatic Conveyor

Digital Scale

Load cell sensor

INTISARI

Peternakan kambing menghadapi masalah terkait pengelolaan limbah kotoran yang berbau. Untuk mengatasi hal ini, dikembangkan sebuah alat otomatisasi yang dapat membersihkan kotoran basah dan cair secara efisien. Sistem ini mengintegrasikan sensor *load cell* untuk mengukur berat kotoran, Arduino Uno sebagai mikrokontroler, dan LCD 16x2 I2C untuk menampilkan hasil pengukuran. Penelitian dilakukan di peternakan Desa Jangkang, Sleman, D.I. Yogyakarta, dengan fokus pada pemisahan kotoran basah dan cair secara otomatis. Kandang yang dirancang memiliki ukuran 1,6m x 3m x 2,4m. Konveyor yang digerakkan oleh motor DC memindahkan kotoran ke penampungan sementara, sekaligus memisahkan feses dari urine. Sistem beroperasi pada konveyor sepanjang 160 cm, tegangan rata-rata 11,19 V, dan kecepatan sebesar 17,94 RPM dengan waktu operasional rata-rata 20 detik. Hasil pengujian menunjukkan error 4,9% dan tingkat akurasi 96,49%. Inovasi ini berkontribusi pada peningkatan efisiensi pengelolaan limbah dan pengurangan bau, mendukung pengembangan sektor peternakan kambing secara berkelanjutan.

ABSTRACT

Goat farms face problems related to the management of smelly waste. An automation tool was developed to clean wet and liquid dirt efficiently to overcome this. This system integrates a load cell sensor to measure dirt weight, Arduino Uno as a microcontroller, and a 16x2 I2C LCD to display measurement results. The research was conducted at the farm in Jangkang Village, Sleman, D.I. Yogyakarta, focusing on automatically separating wet and liquid waste. The cage design has 1.6 m x 3 m x 2.4 m dimensions. A conveyor driven by a DC motor moves faeces to a temporary reservoir, separating faeces from urine. The system operates on a 160 cm long conveyor, an average voltage of 11.19 V, and a speed of 17.94 RPM with an average operational time of 20 seconds. The test results show an error of 4.9% and an accuracy rate of 96.49%. This innovation contributes to increasing the efficiency of waste management and reducing odors, supporting the sustainable development of the goat farming sector.

Korespondensi Penulis:

Son Ali Akbar

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan

Jl. Ahmad Yani (Ringroad Selatan) Tamanan, Bantul, Yogyakarta 55166, Indonesia

Email : son.akbar@te.uad.ac.id

1. PENDAHULUAN

Populasi peternakan kambing di Indonesia dari tahun ke tahun mengalami peningkatan yang sangat signifikan dikarenakan kambing merupakan salah satu ternak ruminansia yang paling bermanfaat bagi manusia [1]. Peternakan kambing yang dikelola oleh mandiri maupun sekelompok peternak biasanya memiliki tujuan untuk penggemukan daging maupun dikembangbiakan [2]. Terdapat permasalahan utama yang dapat menyebabkan turunnya kualitas hidup ternak kambing seperti pengelolaan limbah kotoran, dimana dapat mempengaruhi kondisi kesehatan ternak kambing yang disebabkan polusi udara [3].

Selain itu, pengelolaan limbah kotoran yang tidak optimal dapat mengakibatkan penurunan kualitas lingkungan sekitar, yang berpotensi menambah risiko penyebaran penyakit di kalangan ternak kambing [4]. Limbah kotoran kambing yang terabaikan juga dapat mencemari sumber air dan merusak kesuburan tanah, yang pada gilirannya mempengaruhi keberlanjutan usaha peternakan tersebut [5]. Oleh karena itu, pengelolaan limbah secara efektif dan efisien sangat penting untuk menjaga kesehatan ternak dan kualitas lingkungan, yang pada akhirnya akan meningkatkan produktivitas dan kesejahteraan peternak [6].

Untuk mengatasi permasalahan ini, berbagai metode pengelolaan limbah kotoran kambing telah dikembangkan, baik melalui pendekatan teknologi maupun sistem tradisional [7]. Inovasi kandang kambing sistem terkoleksi efektif mengatasi pencemaran lingkungan dan menghasilkan pendapatan tambahan melalui pengolahan kotoran kambing menjadi pupuk cair dan padat organik [8]. Penerapan teknologi ini tidak hanya mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, tetapi juga dapat meningkatkan efisiensi dalam operasional peternakan [9], [10], [11], [12]. Salah satu pengembangan teknologi pembersih kandang ternak yakni terintegrasi sistem otomatis, dimana dapat mengurangi beban peternak dan dapat disesuaikan berbasis penjadwalan [13]. Disamping itu, cara atau metode pengumpulan limbah kotoran ternak dari jenis fases basah maupun cair dapat dipisahkan dengan perangkat bantu sejenis konveyor [14].

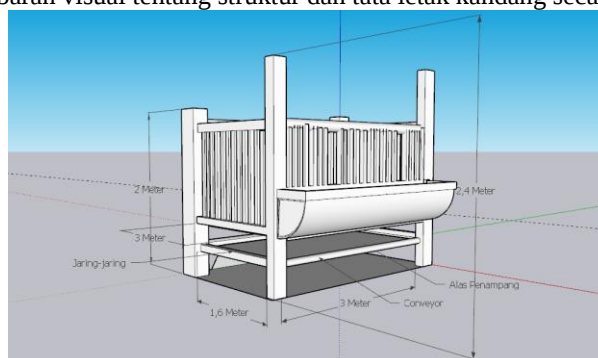
Berdasarkan kajian yang ditinjau dari akar masalah dalam upaya meningkat mutu dan kualitas hasil ternak melalui pengelolaan limbah kotoran ternak yang optimal, maka penelitian ini mengusung penerapan teknologi tepat guna melalui rancang bangun prototipe pembersih limbah kotoran ternak kambing. Teknologi yang dikembangkan mengintegrasikan sensor timbangan digital dan konveyor otomatis. Dengan pendekatan yang lebih terpadu, diharapkan dapat tercipta sistem peternakan kambing yang tidak hanya efisien dan produktif, tetapi juga ramah lingkungan dan berkelanjutan, yang pada akhirnya mendukung ketahanan pangan nasional.

2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini tentang penerapan prototipe pemisah limbah kotoran kambing jenis fases basah dan cair. Penelitian ini memanfaatkan data berat kotoran kambing, khususnya berat feses, yang diperoleh melalui sensor. Data tersebut akan dianalisis untuk membandingkan hasil pengukuran berat menggunakan sensor dengan hasil pengukuran yang diperoleh melalui sensor timbangan digital [15]. Tempat penelitian dan pengambilan data dilaksanakan di penelitian ini dilaksanakan bersama mitra peternakan kambing di Desa Jangkang, Kabupaten Sleman, D.I. Yogyakarta.

2.1. Desain Kandang

Rancang bangun desain kandang kambing panggung dirancang dengan dimensi lebar kandang 1,6 meter, tinggi bagian depan 2,4 meter, dan tinggi bagian belakang 2 meter. Desain ini dirancang untuk memastikan sirkulasi udara yang baik, memudahkan pembuangan kotoran, serta memberikan kenyamanan bagi ternak. Material yang digunakan disesuaikan dengan kebutuhan untuk meningkatkan daya tahan kandang terhadap kondisi lingkungan. Desain 3D kandang ini telah dibuat secara rinci dan dapat dilihat pada Gambar 1, yang memberikan gambaran visual tentang struktur dan tata letak kandang secara keseluruhan.

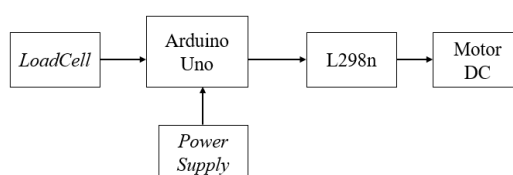


Gambar 1. Desain 3D Kandang Kambing.

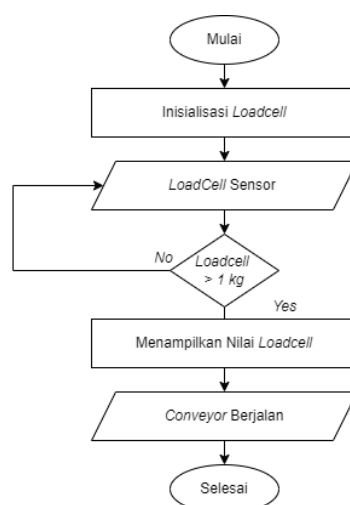
Pada Gambar 1, desain 3D yang dihasilkan mengintegrasikan sebuah konveyor otomatis yang dapat beroperasi sesuai dengan penjadwalan, serta dipasang di bawah kandang ternak. Sistem ini juga dilengkapi dengan sensor timbangan digital yang berfungsi untuk mengukur berat kotoran ternak yang dikumpulkan oleh konveyor. Penempatan konveyor di bawah kandang ternak juga merupakan solusi praktis yang memanfaatkan ruang secara efisien. Dengan posisi tersebut, konveyor dapat mengumpulkan kotoran dengan mudah tanpa mengganggu aktivitas peternakan lainnya, sementara sistem penjadwalan memastikan konveyor beroperasi pada waktu yang tepat untuk menghindari penumpukan limbah.

2.2. Perancangan Sistem

Pada perancangan sistem, diagram blok sistem dirancang dengan fokus pada pembacaan data berat melalui sensor timbangan digital, yaitu sensor *load cell*. Sensor ini bertugas untuk mengukur massa secara presisi, sementara data yang diperoleh diproses menggunakan mikrokontroler Arduino Uno. Arduino Uno dipilih karena keandalannya dalam mengolah data dan kemudahan integrasinya dengan perangkat lain. Diagram blok sistem ini dirancang untuk memberikan gambaran yang jelas mengenai hubungan antar komponen, mulai dari input sensor, pengolahan data oleh mikrokontroler, hingga output yang ditampilkan. Detail dari blok diagram sistem tersebut dapat dilihat pada Gambar 2, yang menggambarkan konfigurasi perangkat keras secara menyeluruh. Gambar 3 menunjukkan alur kerja sistem dalam mengukur berat fases melalui sensor *load cell* dan operasional konveyor otomatis.



Gambar 2. Diagram Blok Intergrasi Perangkat Keras Sistem.



Gambar 3. Alur Kinerja Sistem.

Pada Gambar 2 dan Gambar 3 ditunjukkan peran utama Arduino Uno sebagai komponen inti dalam sistem ini. Arduino Uno diintegrasikan dengan sensor untuk membaca berat kotoran kambing. Data yang diperoleh dari sensor akan diproses melalui program yang dirancang menggunakan perangkat lunak Arduino IDE, kemudian hasil pembacaan ditampilkan melalui LCD 16x2. Dalam perancangan perangkat keras, diagram perkabelan dibuat untuk menghubungkan semua komponen menggunakan kabel, memastikan koneksi dengan mikrokontroler Arduino Uno dan sumber daya. Catu daya yang digunakan berupa adaptor dengan tegangan antara 5V hingga 12V. Sensor *load cell* dipasang di bawah papan penampang dan dikalibrasi terlebih dahulu untuk meningkatkan akurasi pengukuran. Program yang dibuat disimpan pada papan Arduino Uno, dan Arduino IDE, sebagai perangkat lunak bawaan, digunakan untuk mengembangkan dan mengunggah kode ke mikrokontroler. Diagram ini juga mempermudah pengujian dan pemantauan keseluruhan sistem.

2.3. Evaluasi Akurasi dan Nilai Kesalahan (Error)

Dalam penelitian ini, untuk menentukan nilai kesalahan serta mengevaluasi keberhasilan pengukuran berat yang dilakukan menggunakan sensor *load cell*. Maka dapat ditentukan dengan persamaan (1) dan persamaan (2).

$$\text{Nilai error} = \frac{s - x}{s} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{Akurasi} = \frac{s}{x} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana s merupakan nilai yang terbaca pada sensor *load cell*, sedangkan x adalah nilai pembacaan berat pada timbangan digital.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Integrasi Prototipe Alat pada Kandang Ternak

Penelitian ini telah berhasil merancang dan membangun sebuah prototipe sistem kendali otomatis untuk pembersihan limbah kotoran ternak kambing, baik berupa feses basah maupun cair. Prototipe ini dirancang untuk mendukung efisiensi operasional dan meningkatkan kebersihan kandang dengan teknologi otomatisasi. Sistem ini terintegrasi dengan sensor *load cell* yang berfungsi untuk mendeteksi berat feses yang diolah. Mikrokontroler Arduino Uno digunakan sebagai unit kendali utama untuk mengelola data yang diperoleh dari sensor dan mengatur operasional sistem. Gambar 4 memperlihatkan prototipe sistem kendali konveyor beserta mekanisme pembacaan data dari sensor *load cell*. Selanjutnya, Gambar 5 menampilkan pemasangan prototipe sistem kendali konveyor otomatis yang telah diimplementasikan pada kandang ternak untuk pengujian di lapangan.



Gambar 4. Prototipe Kendali Konveyor Otomatis dan Pengukur Timbangan Digital.



Gambar 5. Pemasangan Konveyor dan Prototipe Pengendali Otomatis pada Kandang.

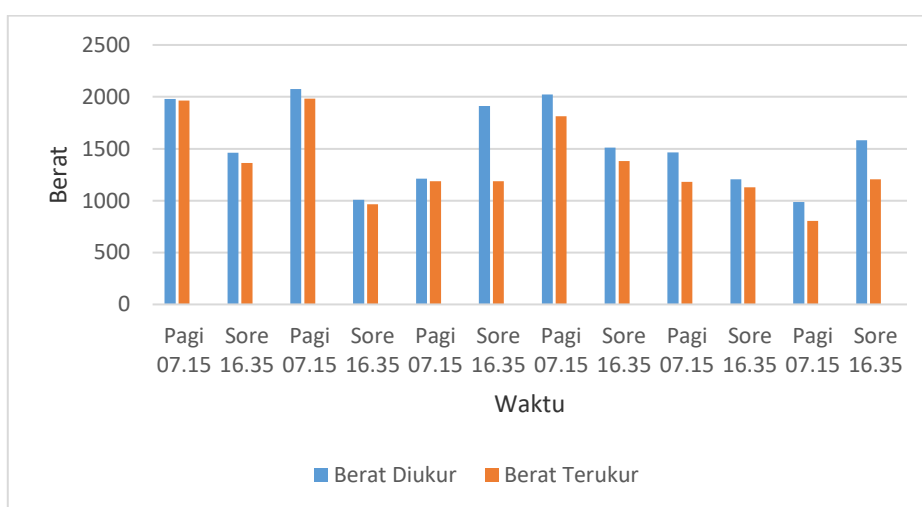
Pemasangan konveyor, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5, dirancang untuk ditempatkan di bawah kandang ternak guna menampung limbah kotoran kambing, baik yang berbentuk basah maupun cair. Penempatan ini memastikan bahwa limbah dapat dikumpulkan secara efektif tanpa mencemari area sekitar kandang. Sistem konveyor dirancang agar dapat bergerak secara teratur, dengan mekanisme penggerak yang dapat dikendalikan oleh pengguna sesuai kebutuhan. Hal ini memungkinkan pengguna untuk mengoperasikan konveyor kapan saja diperlukan, seperti saat pembersihan jaring-jaring penampung.

3.2. Perbandingan Performa Sensor *Load Cell* dengan Timbangan Konvensional

Pengujian dilakukan untuk mengukur data yang diperoleh dari sensor berat dengan membandingkannya menggunakan timbangan digital sebagai acuan. Proses pengujian dilakukan sebanyak 12 kali dalam dua waktu berbeda, yaitu pukul 07.15 dan 16.35, selama periode enam hari. Dalam pengujian ini, dua jenis data dikumpulkan, yaitu data berat yang terbaca oleh sensor *load cell* dan data berat yang diperoleh dari timbangan digital. Selanjutnya, hasil pengukuran dibandingkan untuk menghitung nilai error dan tingkat akurasi sistem berbasis sensor berat. Analisis ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sensor *load cell* dalam mendeteksi berat secara presisi dan menentukan sejauh mana alat memenuhi standar akurasi yang diharapkan.

Tabel 1. Perbandingan Kinerja Sensor *Load Cell* dengan Timbangan Konvensional

Hari ke-	Jam ke-	Berat Diukur (kg)	Berat Terukur (kg)	Nilai <i>error</i> (%)	Akurasi (%)
1	07.15	1981×10^{-6}	1965×10^{-6}	2,8	98,14
	16.35	1462×10^{-6}	1362×10^{-6}	3,6	97,34
2	07.15	2075×10^{-6}	1982×10^{-6}	5,3	94,70
	16.35	1009×10^{-3}	965×10^{-3}	5,5	94,55
3	07.15	1212×10^{-6}	1188×10^{-6}	7,9	92,02
	16.35	1911×10^{-6}	1186×10^{-6}	19,9	86,11
4	07.15	2024×10^{-6}	1814×10^{-6}	8,8	91,15
	16.35	1510×10^{-3}	1380×10^{-3}	7,8	92,20
5	07.15	1466×10^{-3}	1180×10^{-3}	7,6	92,42
	16.35	1207×10^{-3}	1129×10^{-3}	3,1	96,90
6	07.15	987×10^{-3}	806×10^{-3}	1,7	98,24
	16.35	1581×10^{-6}	1207×10^{-6}	6,9	93,09

Gambar 6. Perbandingan Kinerja Sensor *Load Cell* dan Timbangan Konvensional

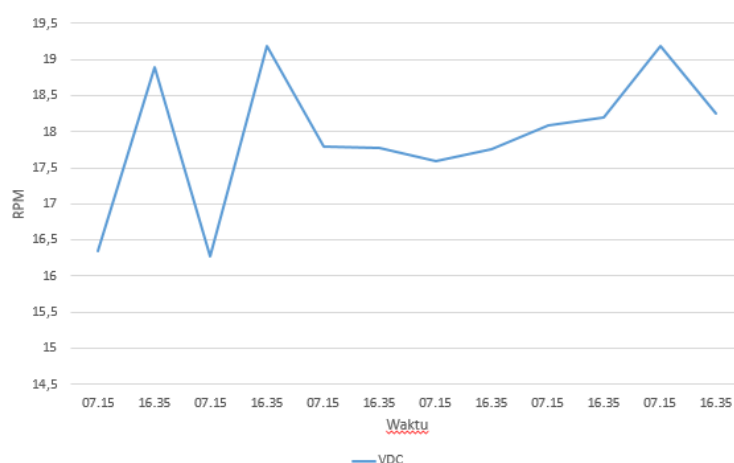
Tabel 1 dan Gambar 6 menyajikan hasil pengujian dan pengukuran yang dilakukan dengan menggunakan sensor *load cell* dan timbangan digital, yang menghasilkan rata-rata nilai *error* sebesar 4,9% dan akurasi sebesar 96,49%. Nilai *error* yang terdeteksi sebesar 4,9% mengindikasikan bahwa sensor *load cell* dapat memberikan hasil yang cukup konsisten, namun masih ada ruang untuk peningkatan dalam hal presisi pengukuran. Analisa lain memperlihatkan hasil kinerja pengukuran yang dilakukan dengan menggunakan sensor *load cell*, yang menunjukkan rata-rata akurasi sebesar $\geq 95\%$ dan $\text{error} \leq 5\%$. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor *load cell* memiliki kinerja yang baik dalam hal akurasi pengukuran berat, dengan tingkat *error* yang rendah, sehingga dapat diandalkan dalam aplikasi praktis. Namun, perbandingan antara pengukuran berat feses yang dilakukan dengan sensor *load cell* dan timbangan digital menunjukkan bahwa timbangan digital menghasilkan nilai yang sedikit lebih tinggi dibandingkan sensor *load cell*. Hal ini mungkin disebabkan oleh perbedaan sensitivitas dan kalibrasi antara kedua alat ukur.

3.3. Performa Motor DC Penggerak Konveyor

Pengujian terhadap Driver L298N dan Motor DC dilakukan dengan memberikan masukan tegangan sebesar 5V dari mikrokontroler Arduino Uno. Fungsi dari Motor Driver L298N adalah untuk membagi arus yang bersumber dari suplai daya 12V, sehingga memungkinkan kontrol yang efisien terhadap motor. Tabel 2 menyajikan data hasil pengujian yang digunakan untuk menentukan tegangan (VDC) dan kecepatan putaran motor (RPM) pada setiap pengukuran berat yang dilakukan dengan menggunakan sensor *load cell*. Pengujian ini bertujuan untuk mengukur dampak variabel tegangan terhadap kinerja motor DC, serta hubungannya dengan akurasi pengukuran berat yang diperoleh dari sensor *load cell*, yang merupakan aspek penting dalam sistem pengendalian otomatis yang diujikan.

Tabel 2. Hasil Ukur Luaran Tegangan dan Putaran Poros Motor DC

Hari ke-	Jam ke-	Berat Terukur (kg)	Tegangan (Volt)	Putaran Poros (RPM)
1	07.15	1965×10^{-6}	10,44	16,62
	16.35	1362×10^{-6}	11,13	17,72
2	07.15	1982×10^{-6}	10,09	16,66
	16.35	965×10^{-3}	11,45	18,23
3	07.15	1188×10^{-6}	11,10	17,68
	16.35	1186×10^{-6}	11,36	18,19
4	07.15	1814×10^{-6}	10,12	16,11
	16.35	1380×10^{-3}	11	17,51
5	07.15	1180×10^{-3}	11,65	18,55
	16.35	1129×10^{-3}	12	19,18
6	07.15	806×10^{-3}	11,16	17,77
	16.35	1207×10^{-6}	11,10	17,67



Gambar 7. Kolerasi Antara Luaran Tegangan (VDC) Terhadap Waktu dan Kecapatan Putaran Motor (RPM)

Tabel 2 menyajikan hasil pengujian tegangan DC (VDC) yang digunakan untuk mengontrol aktuatur dalam sistem, dengan pengujian dilakukan sebanyak 12 kali. Nilai rata-rata tegangan yang diperoleh adalah 11,19V, yang menunjukkan kestabilan dalam pengaturan daya yang diberikan kepada aktuatur. Pengujian lebih lanjut terhadap kecepatan aktuatur, yang menggunakan tipe aktuatur GW4632-370, menghasilkan rata-rata kecepatan putaran sebesar 17,94 RPM dari 12 kali pengujian. Hasil ini menggambarkan bagaimana perubahan tegangan berpengaruh terhadap kecepatan aktuatur, dengan semakin tinggi tegangan yang diberikan, maka kecepatan aktuatur cenderung meningkat, dan sebaliknya, penurunan tegangan menyebabkan penurunan kecepatan. Gambar 7 mengilustrasikan hubungan langsung antara tegangan VDC dan kecepatan aktuatur, di mana kecepatan semakin meningkat dengan tingginya tegangan yang diterima. Selain itu, beban yang diterima oleh aktuatur juga menjadi faktor signifikan yang mempengaruhi kinerja motor. Ketika aktuatur menerima beban ringan, motor dapat beroperasi pada kecepatan maksimumnya. Namun, dengan meningkatnya beban, kecepatan motor berkurang karena kebutuhan energi yang lebih besar untuk mengatasi beban tersebut. Hal ini mencerminkan prinsip dasar mekanisme kontrol motor DC, yang dipengaruhi oleh variabel tegangan dan beban.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem otomatisasi pembersihan kotoran basah dan cair yang dikembangkan telah berhasil diimplementasikan di peternakan kambing di Desa Jangkang, Kabupaten Sleman, D.I. Yogyakarta. Penggunaan sensor *load cell* dalam sistem ini menghasilkan pengukuran berat kotoran dengan tingkat error rata-rata 4,9% dan akurasi sebesar 96,49%, yang menunjukkan bahwa sensor mampu memberikan hasil yang akurat dan dapat diandalkan. Selain itu, pengaturan tegangan aktuatur pada 11,19V dan kecepatan operasional rata-rata sebesar 17,94 RPM membuktikan bahwa aktuatur dapat berfungsi dengan efisien dan konsisten dalam menggerakkan konveyor. Secara keseluruhan, penerapan sistem ini berhasil meningkatkan efisiensi dan kontrol dalam pengelolaan limbah ternak secara otomatis, yang berpotensi meningkatkan keberlanjutan dan produktivitas peternakan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini dilaksanakan bersama mitra di peternakan kambing di Desa Jangkang, Kabupaten Sleman, D.I. Yogyakarta. Peneliti mengucapkan terimakasih kepada mitra yang telah bersedia berkontribusi dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. W. Talakua, L. O. Kakisina, and N. R. Timisela, "Strategi Pengembangan Ternak Kambing Lakor: Pendekatan Produksi, Pendapatan, Dan Analisis Swot," *JSEP (Journal Soc. Agric. Econ.*, vol. 15, no. 1, p. 59, 2022, doi: 10.19184/jsep.v15i1.26474.
- [2] U. Ali and A. B. A. Mardhotillah, "Ipteks Pengembangan Usaha Penggemukan Kambing Peranakan Etawah," *JMM (Jurnal Masy. Mandiri)*, vol. 7, no. 2, p. 1973, 2023, doi: 10.31764/jmm.v7i2.13861.
- [3] H. Aspriyono, N. Saputra, and E. P. Rohmawan, "Penerapan Wireless Sensor Network Untuk Deteksi Suhu, Kelembapan dan Gas Amonia Pada Kandang Sapi," *J. Amplif. J. Ilm. Bid. Tek. Elektro Dan Komput.*, vol. 14, no. 1, pp. 89–94, 2024, doi: 10.33369/jamplifier.v14i1.31801.
- [4] M. A. Ichwanto, D. A. Asmara, L. G. O. Ramdhani, R. Nursafitri, and N. Najla, "Pemanfaatan Limbah Kotoran Kambing Sebagai Pupuk Organik Di Desa Kasembon, Kecamatan Bululawang," *J. Graha Pengabd.*, vol. 4, no. 1, p. 93, 2022, doi: 10.17977/um078v4i12022p93-101.
- [5] N. Z. Dewi, O. A. Hermawan, A. M. Luthfi, S. Putra Kunsina, and M. Putri Jati, "Enhancing Barn Hygiene through Smart Farming: A Goat Farm Case Study in Besijangkang using IoT," *J. Robot. Autom. Electron. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–14, 2023, [Online]. Available: <https://journal.uny.ac.id/v3/jraee>
- [6] S. S. Tri Pamungkas and E. Pamungkas, "Pemanfaatan Limbah Kotoran Kambing Sebagai Tambahan Pupuk Organik Pada Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit (Elaeis guineensis Jacq.) DI PRE-NURSERY," *Mediagro*, vol. 15, no. 01, pp. 66–76, 2019, doi: 10.31942/md.v15i01.3071.
- [7] S. N. H. Hasanah and F. Jannah, "Pengolahan Kotoran Kambing Berbasis Zero Waste Pada Usaha Ternak Bapak Wardi Sukowono-Jember," *Konf. Nas. Mitra FISIP*, vol. 2, no. 1, pp. 468–473, 2024.
- [8] M. David, S. R. Sulistiyanti, H. Herlinawati, and H. Fitriawan, "Rancang Bangun Prototipe Kandang Kambing Sistem Terkoleksi Dan Pemberian Pakan Otomatis Berbasis Arduino Uno R3," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 10, no. 2, pp. 102–107, 2022, doi: 10.23960/jitet.v10i2.2442.
- [9] E. Muchyar Hasiri and M. Arif Suryawan, "Penerapan Spray Fogging Pada Prototype Alat Sterilisasi Dan Cleaning Kandang Ayam Implementation of Spray Fogging on Prototype of Sterilization and Cleaning Tools Chicken Coop," *J. Inform.*, vol. 9, no. 2, pp. 10–18, 2020, [Online]. Available: <http://ejournal.unidayan.ac.id/index.php/JIU>
- [10] E. Ekawati, F. Yudi Limpraptono, T. S. Elektro, I. Malang, and M. Indonesia, "Rancang Bangun Pembersih Kotoran Kandang Ayam Berdasarkan Kadar Gas Berbahaya Amonia berbasis Atmega 2560," *Magnetika*, vol. 7, no. 2, pp. 35–44, 2023, [Online]. Available: <https://ejournal.itn.ac.id/index.php/magnetika/article/view/8590>
- [11] D. Hermanto and D. Yendri, "Rancang Bangun Sistem Pembersih Kotoran Otomatis Pada Kandang Kelinci Berbasis Iot (Internet of Things)," *Chipset*, vol. 3, no. 02, pp. 146–154, 2022, doi: 10.25077/chipset.3.02.146-154.2022.
- [12] B. W. Ramadhan and Hikmah Nuzul, "Rancang Bangun Sistem Pemberi Pakan dan Pembersih Kotoran Pada Kandang Kelinci Berbasis Mikrokontroler Atmega 2560," *SinarFe7-3*, vol. 3, no. 1, pp. 1–5, 2020.
- [13] M. Y. Gunawan, A. Finawan, and A. F. Dewi, "Rancang bangun alat pengontrolan pembersih kotoran ayam dilengkapi dengan sistem pencucian otomatis berbasis mikrokontroler," vol. 8, no. 1, pp. 14–20, 2024.
- [14] I. Bagus, O. Tyagi Natha, Y. Herlambang, and H. Adiluhung, "Perancangan Conveyor Feses Sapi Untuk Meningkatkan Efektivitas Kerja Peternak Sapi Perah Tradisional Di Pangalengan," *e-Proceeding Art Des.*, vol. 7, no. 2, pp. 4915–4924, 2020.
- [15] Abdul Muis Muslimin, "Perancangan Alat Timbangan Digital Berbasis Arduino Leonardo Menggunakan Sensor Load cell," *J. Nat.*, vol. 17, no. 1, pp. 50–63, 2021.

Analisa Kemampuan dan Kelayakan *Lightning Arrester* (LA) untuk Pengaman Transformator 5 (60 MVA) pada Gardu Induk 150 KV Kalibakal dengan *Software Matrix Laboratory*

Analysis of Lightning Arrester (LA) Capability and Suitability for Protecting Transformer 5 (60MVA) at 150 KV Kalibakal Substation using Matrix Laboratory Software

Ramadika Falih Hibatullah¹, Winarso²

^{1,2} Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik & Sains, Universitas Muhammadiyah Purwokerto
Jl. Raya Dukuwaluh, Kembaran 53182, Jawa Tengah, Indonesia

Informasi Makalah

Dikirim, 17 Agustus 2024
Diterima, 16 Desember 2024
Diterbitkan, 20 Desember 2024

Kata Kunci:

lightning arrester, petir, resistif, arus bocor, thermovisi

Keyword:

lightning arrester, lightning, resistive, leakage current, thermovision

INTISARI

Indonesia sebagai negara beriklim tropis memiliki kepadatan petir mencapai angka yang tinggi oleh karena itu, perlu penangkap petir agar mengurangi resiko terjadinya gangguan petir pada sistem tenaga listrik. Metode pada penelitian ini meliputi analisa pengambilan data hasil pengukuran, dan pengolahan data menggunakan aplikasi *Analyzer Lightning Arrester* berbasis MATLAB dengan perbandingan spesifikasi *lightning arrester* yang terpasang. Hasil pengolahan data kemampuan yang terpasang memenuhi kebutuhan sistem untuk melindungi surja petir maupun surja hubung. Hasil Analisa Kelayakan arus bocor resistif menggunakan alat ukur LCM (*Leakage Current Monitoring*), pengolahan data presentase arus bocor setiap fasa mengalami penurunan setiap tahunnya, fasa R tahun 2023 memiliki nilai yang tidak baik yaitu 95%, tahun 2024 mengalami penurunan menjadi 85%. Hasil pengolahan data thermovisi suhu pada 05 April-03 Juni 2024 seluruh fasa selisih suhu dibawah standarisasi PLN yaitu <10 °C. Hasil rata-rata emisivitas dari 6 sampel sebesar 0,50548 sama dengan nilai ACSR Aluminium 0,5 versi *Infrared Training Center of Flir System Inc.*

ABSTRACT

Indonesia, as a country with a tropical climate, has a high density of lightning, therefore lightning catchers are needed to reduce the risk of lightning disturbances in the electric power system. The method in this research includes analysis of data collection from measurement results, and data processing using the MATLAB-based Lightning Arrester Analyzer application with a comparison of the installed Lightning Arrester specifications. The data processing results of the installed capabilities meet the system requirements to protect against lightning surges and power surges. Feasibility Analysis Results of resistive leakage current using the LCM measuring instrument, data processing of the percentage of leakage current for each phase has decreased every year, the R phase in 2023 has a bad value, namely 95%, in 2024 it has decreased to 85%. The results of processing temperature thermovision data on 05 April-03 June 2024, all phases of the temperature difference are below the PLN standard, namely < 10 °C. The average emissivity result of the 6 samples was 0.50548, the same as the ACSR Aluminum 0.5 value according to the *Infrared Training Center of Flir System Inc.*

Korespondensi Penulis:

Ramadika Falih Hibatullah
Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik & Sains, Universitas Muhammadiyah Purwokerto
Jl. Raya Dukuwaluh, Kembaran 53182, Jawa Tengah, Indonesia
Email: ramadika21435@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Dalam upaya mengurangi tingkat gelombang surja petir, *lightning arrester* juga merupakan peralatan untuk melindungi gardu induk dari tegangan tinggi. *Lightning arrester* pada gardu induk harus di pasang pada bagian paling depan dekat dengan transformator, agar dapat melindungi transformator secara maksimal [1]. Salah satu faktor yang menyebabkan gangguan pada sistem transmisi adalah petir yang sering kali memengaruhi sistem tegangan tinggi, kisaran 150 KV hingga 500 KV [2]. Hal ini di karena lokasi Indonesia berada di daerah tropis, gangguan alam seperti petir sering terjadi dan dapat menyebabkan tegangan berlebih [2]. Salah satu fungsi manajemen adalah pengawasan, yang bertujuan untuk memastikan bahwa setiap tahapan dilakukan sesuai dengan prosedur, persyaratan, dan spesifikasi peralatan [3]. Koordinasi lokasi *lightning arrester* dengan tingkat isolasi yang baik adalah *lightning arrester* ditempatkan sedekat mungkin pada jepitan transformator, namun nyatanya *lightning arrester* dipasang dengan jarak [4]. LCM (*Leakage Current Monitoring*) adalah alat ukur untuk pengukuran arus bocor resistif pada peralatan agar arus bocor pada peralatan tidak melebihi batas kebocoran yang ditentukan, jika arus bocor yang melebihi batas yang ditentukan maka peralatan tersebut dapat dikatakan tidak layak [5]. Untuk menjamin keselamatan sistem tenaga listrik dari tegangan surja dan menjaga agar kinerja *lightning arrester* tetap andal, diperlukan kegiatan perawatan pada *lightning arrester*. Pemeliharaan yang dilakukan yaitu pengujian LCM dan dilakukannya pengantian *lightning arrester* [6]. Pada “Buku Pedoman Lightning Arrester” untuk mendukung hasil evaluasi yang baik, konsistensi pelaksanaan alat ukur LCM dan thermovisi sangat penting, terutama ketika membandingkan hasil pengukuran dilakukan pada waktu yang berbeda [7].

Thermal image merupakan kegiatan pengamatan komponen menggunakan alat bantu kamera thermal/kamera thermovisi. Kegiatan ini merupakan pengamatan yang mengindikasikan hot-spot/titik panas/adanya anomali suhu peralatan. Beban saat pengukuran dan beban tertinggi yang pernah dicapai (dalam Ampere) [8]. Bagian yang sering mengalami pemanasan adalah terminal sambungan terutama antara dua logam yang berbeda, serta bagian konduktor yang menyusut akibat korosi. Oleh karena itu memerlukan perhatian khusus suhu menggunakan thermovisi [9]. Berdasarkan latar belakang pada penelitian ini akan menganalisa alat *lightning arrester* dengan menentukan kemampuan pada *lightning arrester* berdasarkan tegangan nominal, tegangan maksimum, arus pelepas, jarak maksimum dan tegangan tiba pada transformator dengan membandingkan hasil perhitungan dengan data spesifikasi *lightning arrester* yang terpasang. Kelayakan pada *lightning arrester* data perhitungan hasil pengukuran arus bocor resistif dengan menggunakan alat ukur LCM dan hasil pengukuran thermovisi suhu berdasarkan standarisasi yang ditetapkan oleh PLN. Hasil perhitungan kemampuan dan kelayakan *lightning arrester* akan dianalisis kemudian diolah kembali menggunakan aplikasi yang sudah dibuat bernama *Analyzer Lightning Arrester* berbasis MATLAB.

1.1. Klasifikasi dan Spesifikasi Lightning Arrester

1.1.1. Klasifikasi Lightning Arrester

Klasifikasi harga maksimum tegangan lebih gelombang petir *lightning arrester* berdasarkan rating *Lightning Arrester* sebagai acuan perhitungan arus pelepas, jarak maksimum, dan tegangan tiba pada transformator sesuai pada Tabel 1 [4].

Tabel 1. Harga Maksimum Tegangan Lebih Gelombang Petir

Rating Arrester (KV)	<i>Lightning Arrester</i> Class 10 kA	
	Tegangan percik <i>Impuls</i> Maksimum (KV)	<i>EQ</i> (KV)
97	310	36
109	360	258
121	390	290
133	430	320
145	460	342
169	540	410
182	585	430
195	610	455
285	830	625
276	900	665

1.1.2. Spesifikasi Lightning Arrester

Lightning arrester terdiri dari 2 jenis, yaitu: *lightning arrester* yang memiliki sela percik standar IEC 600099-4, 2001) [10] dan *lightning arrester* tanpa sela percik standar (IEC 60099-1, 1999) [11]. Berdasarkan

(IEC 600099-4, 2001), spesifikasi *lightning arrester* tanpa sela percik untuk gardu induk sistem yang bertegangan AC sebagai berikut:

- Tegangan Operasi *Continue*, yaitu tegangan maksimum yang dapat disalurkan *lightning arrester* secara terus menerus.
- Tegangan Nominal yaitu tegangan efektif tertinggi yang bisa disalurkan *lightning arrester*.
- Tegangan Sisa adalah tegangan pada terminal *lightning arrester* saat mengalirkan arus petir nominal.
- Tegangan Ketahanan *Impuls* Petir Maksimum yaitu tegangan *Impuls* maksimum yang dapat ditahan *lightning arrester* tanpa menyebabkan percikan, ketahanan ini 1.3 kali terhadap tingkat proteksi *Impuls* petir.
- Thermal Runaway* adalah batas kehilangan energi pada *lightning arrester* agar tidak melebihi kemampuan penyebaran panas pada semua komponen. Ketika kehilangan energi lebih besar dari padakemampuan intensitas panas *lightning arrester* akan mengalami suhu tinggi.
- Arus Pelepasan yaitu arus maksimum yang dapat disalurkan oleh *lightning arrester* tanpa merusak *lightning arrester* itu sendiri. Berikut adalah standar arus pelepasan nominal *lightning arrester* sesuai pada Tabel 2 [12].

Tabel 2. Standar Arus Pelepasan *Lightning Arrester* Tanpa Sela Percik

Arus (KA)	Arus Pelepas (μ s)	Penempatan	Tegangan (KV)	Insetitas Petir
10		Gardu Induk	> 66	Sering Terjadi
5		Gardu	<= 66	
2,5	10/20	Sistem Tegangan	<= 22	
1,5		Distribusi	<= 22	Sedang

- Jarak Rambat Badan *lightning arrester* ditentukan berdasarkan tingkat bobot polusi di lokasi pemasangan *lightning arrester* tersebut. Berikut adalah hubungan tingkat polusi dan jarak rambat sesuai pada Tabel 3.

Tabel 3. Tingkat Polusi Jarak Rambat *Lightning Arrester*

Bobot polusi	Jarak Rambat mm/KV
Ringan	16
Sedang	20
Berat	25
Sangat Berat	31

1.2. Syarat-Syarat *Lightning Arrester*

Lightning arrester diharapkan dapat berkoordinasi sehingga memberi hasil yang optimal, maka standar harus digunakan dengan syarat-syarat sebagai berikut:

- Mempunyai tegangan dasar pada *lightning arrester* dengan nilai 50 c/s. Nilai tersebut dipilih sedemikian rupa sehingga tidak akan terlampaui saat digunakan, baik dalam kondisi normal maupun hubung singkat.
- Daerah proteksi harus mempunyai jangkauan yang cukup melindungi seluruh peralatan GI yang mempunyai BIL, atau lebih tinggi dari daerah proteksi. *lightning arrester* akan memberikan perlindungan apabila terdapat selisih yang cukup antara level *lightning arrester* dengan peralatan.
- Resistansi tanah harus rendah dan penangkal petir harus dipasang sedekat mungkin dengan peralatan utama yang dilindungi.
- Kapasitas termal *lightning arrester* harus mampu membawa arus yang besar dari simpanan energi dalam jalur panjang.
- Tingkat proteksi *lightning arrester* ditentukan oleh penurunan tegangan maksimum.
- Nilai Arus pelepasan petir perlu ditentukan untuk mengetahui tingkat keamanan *lightning arrester* dengan BIL.
- Penerapan *lightning arrester* harus diperhatikan karena pengaruh kabel ganda (*multiple line*) terhadap proteksi petir gardu induk.
- Dalam hal ini jika terdapat ketidakpastian dengan 50 c/s *lightning arrester*, sehingga suatu tarif ditambahkan harga untuk *lightning arrester*. Saat ini tambahan 10% masih digunakan sebagai faktor toleransi, untuk menghilangkan kemungkinan bahwa dengan asumsi *lightning arrester* bekerja pada tegangan peralian yang mungkin tertumpuk pada 50 c/s tegangan ini harus diinterupsi oleh *lightning arrester*.

1.3. Rumus

1.3.1. Tegangan Maksimum

Tegangan ini merupakan tegangan maksimum *lightning arrester* dengan kondisi non konduktif dan kembali dari keadaan konduktif [5], dapat ditunjukkan pada persamaan (1).

$$V_m = V_{\text{nominal}} + (V_{\text{nominal}} \times 10 \%) \quad (1)$$

1.3.2. Tegangan Nominal

Tegangan Nominal (*Rated Voltage*) adalah nilai efektif tegangan maksimum dari tegangan frekuensi kerja yang diizinkan antara kutub-kutubnya yang dirancang bekerja dengan tepat [12], dapat ditunjukkan pada persamaan (2).

$$E_r = \alpha \cdot \beta \cdot U_m \quad (2)$$

Keterangan:

E_r = Tegangan dasar *lightning arrester* (KV)

α = Koefisien pembumian (Ω)

β = Toleransi

U_m = Tegangan sistem maksimum (KV)

1.3.3. Arus Pelepasan

Arus Pelepasan merupakan arus maksimum yang dapat dialirkan oleh *lightning arrester* sehingga tidak menyebabkan kerusakan pada *lightning arrester* itu sendiri, berikut adalah perhitungan impedansi surja [4], dapat ditunjukkan pada persamaan (3) :

$$60 \ln 2h/r \quad (3)$$

Keterangan:

h = Tinggi konduktor terhadap permukaan tanah (m)

r = Jari jari konduktor (m)

$\ln$ = logaritma natural.

60 = faktor konversi yang diberikan dalam rumus.

Lightning arrester dikatakan bekerja dengan baik jika arus pelepasnya memenuhi batas yang dilindungi. Arus pelepasan adalah faktor yang menentukan tingkat perlindungan dari *lightning arrester* terhadap peralatan yang dilindungi [4], dapat ditunjukkan pada persamaan (4)

$$I_a = \frac{2U_d - U_A}{Z} \quad (4)$$

Keterangan:

I_a = Arus Pelepasan (kA)

U_d = Tegangan Gelombang Datang (KV) U_A = Tegangan kerja/ sisa (KV)

Z = Impedansi Surja saluran datang (Ω)

1.3.4. Jarak Maksimum

Perhitungan untuk menentukan jarak maksimum antar *lightning arrester* dan transformator [4], dapat ditunjukkan pada persamaan (5).

$$S = \frac{V(E_p - E_a)}{2A} \quad (5)$$

Keterangan:

S = Jarak *lightning arrester* dengan transformator (m)

E_p = BIL transformator (KV)

E_a = Tegangan percik *arrester* (KV)

A = ketajaman muka gelombang tegangan *Impuls* (KV/ μ s)

V = Kecepatan merambat gelombang *Impuls* (m/ μ s)

1.3.5. Tegangan Yang Tiba pada Transformator

Jika jarak *lightning arrester* terhadap transformator diketahui. Maka tegangan yang tiba pada transformator untuk dikoordinasikan dengan BIL transformator/ peralatan yang dilindungi [4], dapat ditunjukkan pada persamaan (6).

$$E_p = E_a + 2 \frac{A \cdot S}{V} \quad (6)$$

Keterangan:

E_a = Tegangan *impuls* percik (KV)

A = Gelombang tegangan berjalan (KV/ μ s)

S = Jarak *lightning arrester* dengan transformator (M)

V = Kecepatan gelombang berjalan (m/ μ s)

1.3.6. LCM (*Leakage Current Monitoring*)

Menghitung presentase arus bocor resistif agar mengetahui presentase (kondisi) arus bocor resistif yang terjadi pada *lightning arrester* [13], ditunjukkan pada persamaan (7).

$$\% = \frac{n}{N} \times 100\% \quad (7)$$

Keterangan:

% = Kondisi *arrester*

N = Batas arus bocor pabrikan

(pA)n = Nilai korektif arus bocor (pA)

1.3.7. Thermovisi Suhu

a. Selisih Suhu

Menentukan suhu thermovisi menggunakan perhitungan selisih (ΔT) antara suhu T konduktor dan T klem [8] dapat ditunjukkan pada persamaan (8)

$$\Delta T = \left(\frac{I_{maks}}{I_{saat Thermovisi}} \right)^2 \times (T_{klem} - T_{konduktor}) \quad (8)$$

Keterangan:

ΔT = Selisih suhu klem dan konduktor

I_{maks} = Arus maksimal yang pernah dicapai $I_{saat Thermovisi}$ = Arus disaat Thermovisi

T klem = Suhu pada klem

T konduktor = Suhu pada konduktor

b. Nilai Emisivitas

Emisivitas adalah suatu bahan perbandingan antara energi total yang dipancarkan permukaan bahan dengan energi yang dipancarkan benda hitam pada suhu dan panjang gelombang yang sama [14]. Emisivitas menunjukkan kemampuan suatu material dalam menyerap dan memancarkan energi infra merah, dapat ditunjukkan pada persamaan (9)

$$e = p \cdot \sigma \cdot T^4 \quad e = \left(\frac{P}{\sigma \cdot T^4} \right)^2 \quad (9)$$

Keterangan:

p = *Energy Thermal Conduction* = (237 W²/m.K)

σ = Konstanta *Stefan Boltzman* = (5,672 x 10⁻⁸ W/W⁻²)

T = Suhu Mutlak (K)

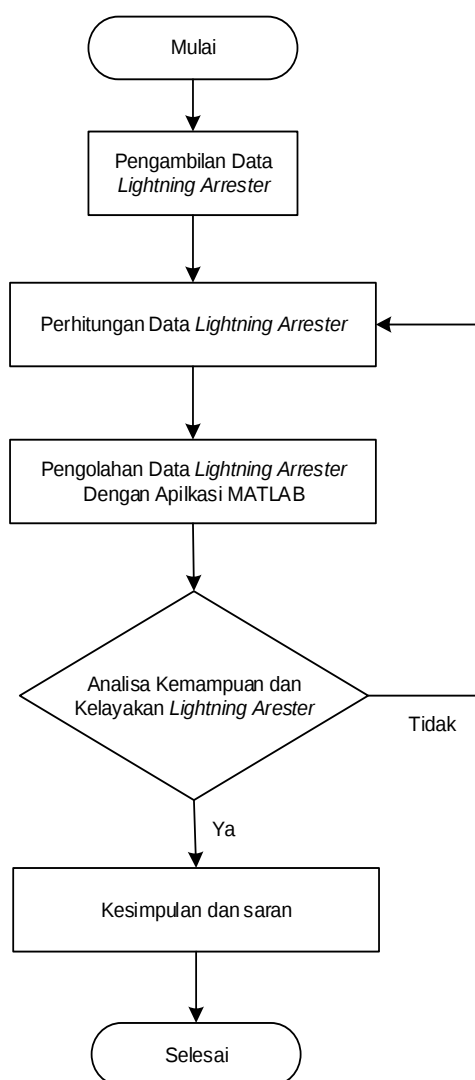
e = emisivitas

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode deskripsi analisis yaitu untuk menjelaskan, mendeskripsikan dan memberikan gambaran terhadap objek yang akan diteliti melalui data yang telah diketahui tanpa melakukan analisis secara umum. Penelitian ini dilakukan agar mendapatkan data unjuk kerja *lightning arrester*, pengukuran dan perhitungan yang memiliki kaitan dengan *lightning arrester* untuk pengaman Transformator berdasarkan perhitungan kemampuan, pengukuran arus bocor resistif dan Anomali suhu pada *lightning arrester*, pada Gardu Induk 150 KV Kalibakal menggunakan alat ukur LCM dan Thermovisi sebagai data pengukuran.

2.1. Data Spesifikasi dan Pengukuran

Pada penelitian ini untuk menyelesaikan permasalahan tentang *lightning arrester* pada transformator berdasarkan diagram alir pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir

2.2. Data Spesifikasi dan Pengukuran

Dalam penelitian ini untuk memenuhi kebutuhan analisa perhitungan dan perbandingan, data yang dikumpulkan mencakup spesifikasi dan hasil pengukuran yang diperoleh melalui metode pengumpulan data di Gardu Induk 150 KV Kalibakal dibawah ini:

a. Data Spesifikasi

Berikut adalah data yang didapat pada penelitian spesifikasi *lightning arrester* ini diketahui pada Tabel 4.

Tabel 4. Spesifikasi *Lightning Arrester* pada Transfomator 5

SPESIFIKASI	
<i>Merk</i>	ABB AB
<i>Tipe</i>	PEXLIM Q132 – XV170
<i>No.seri</i>	75227637
<i>Tegangan pengenalan</i>	132 KV
<i>Frekuensi</i>	50 Hz
<i>Short Circuit</i>	65 kA
<i>Class</i>	10 kA

Berikut adalah data yang didapat pada penelitian spesifikasi Transformator unit 5 ini diketahui pada Tabel 5.

Tabel 5. Spesifikasi Transformator 5	
SPESIFIKASI	
Kapasitas	36/60 MVA
No Seri	30111400
Tahun Pembuatan	2015
Standard	IEC 60076
Frekuensi	50
Phases	3
Pendingin	ONAN/ONAF – 60/100%
BIL	650 KV

Berikut adalah data yang didapat pada penelitian spesifikasi konduktor ini diketahui pada Tabel 6.

Tabel 6. Spesifikasi Konduktor <i>Lightning Arrester</i>	
SPESIFIKASI	
Item	Uraian
Tipe Penghantar	ACSR (<i>Single Hawk</i>)
Panjang Saluran	16,7 km
Diameter Penghantar	40 mm
Luas Penampang	240 mm ²
Kapasitas Arus (CCC)	600 A
Jarak Penghantar LA ke Trafo	3 Meter
Jarak Antar Konduktor ke Permukaan Tanah	5 Meter

b. Data Hasil Pengukuran

Berikut adalah data hasil pengukuran LCM (*Leak Current Monitoring*) yang didapat pada penelitian diketahui pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Pengukuran LCM							
No	Tahun	Arus Bocor (μA)	Bay	Phasa	IR (μA)	IR corr	I total
1	2023	150	Transformator 5	R	67	143	692
2				S	58	124	715
3				T	57	122	735
4	2024			R	52	128	740
5				S	45	110	764
6				T	30	74	745

Berikut adalah data yang didapat pada penelitian hasil pengukuran thermovisi suhu *lightning arrester* ini diketahui pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Pengukuran Thermovisi Suhu <i>Lightning Arrester</i>								
No	Taggal	Phase	I Maks(A)	I saat Thermovisi (A)	Kondisi Suhu <i>Lightning Arrester</i>			
					T Klem (°C)	T Konduktor (°C)	T Delta (°C)	Body LA (°C)
1	5 April 2024	R	220	110	27.8	27.5	0.30	28.8
2		S	220	110	27.5	27	0.50	28.8
3		T	220	110	27.3	27	0.30	28.6
4	3 Juni 2024	R	220	110	29.4	28.2	1.20	30.2
5		S	220	110	29.3	28	1.30	29.9
6		T	220	110	29	27.9	1.10	29.6

2.3. Perancangam Software

MATLAB (*Matrix Laboratory*) adalah platform komputasi numerik dan bahasa pemrograman yang dikembangkan oleh MathWorks. Pada penelitian ini dibuatlah aplikasi berbasis MATLAB dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Beranda Aplikasi *Analyzer Lightning Arrester*

Aplikasi ini dibuat dengan menampilkan grafik batang dan output numerik, sehingga pengguna dapat dengan mudah memahami hasil analisa *lightning arrester* dalam sistem proteksi transformator. Aplikasi *Analyzer Lightning Arrester* ini terdapat fitur perhitungan berdasarkan kemampuan dan kelayakan *lightning arrester* seperti menentukan tegangan maksimum, tegangan nominal, arus pelepas, tegangan tiba pada transformator, impedansi surja, dan jarak maksimum. Analisa untuk menentukan kelayakan nilai emisivitas dan selisih suhu. Bukan hanya itu aplikasi ini juga dapat digunakan untuk menyimpan data yang akan dibutuhkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisa Kemampuan *Lightning Arrester*

3.1.1. Tegangan Maksimum

Berdasarkan aplikasi MATLAB tegangan maksimum *lightning arrester* 165 KV sedangkan berdasarkan *name plate lightning arrester* dengan nomor seri PEXLIM Q132-YV170, dimana angka belakang merupakan tegangan maksimum yaitu 170 KV. Sehingga *lightning arrester* yang terpasang pada transformator unit 5 mampu bekerja di atas tegangan maksimum standar, seperti pada Gambar 3.

Gambar 3. Pengolahan Data Tegangan Maksimum

3.1.2. Tegangan Nominal

Berdasarkan aplikasi MATLAB diketahui tegangan nominal *lightning arrester* sistem adalah 132 KV, berdasarkan *name plate* PEXLIM Q132- YV170 *lightning arrester* yang terpasang yaitu 132 KV, nilai tegangan nominal pada transformator unit 5 sudah memenuhi kebutuhan sistem, dapat dilihat pada Gambar 4.

Tegangan Nominal

Diketahui:

V_m 150 kV

β 1.1 %

α 0.8 Ohm

Ditanya:

E_r = Tegangan Nominal

Jawab:

E_r 132 kV

Hitung Reset Selesai Open

Pada Perhitungan Tegang Nominal dapat di hitung dengan rumus persamaan berikut :

$$E_r = \alpha \cdot \beta \cdot U_m$$

Keterangan :

α = (Koefisien Pembumihan)

β = (Faktor toleransi untuk menghitung fluktuasi tegangan)

U_m = (Tegangan sisten maksimum)

E_r = Tegangan Dasar Arrestor (kV)

Gambar 4. Pengolahan Data Tegangan Nominal

3.1.3. Arus Pelepas

Berdasarkan hasil pengolahan aplikasi MATLAB perhitungan impedansi surja yaitu 422,49 Ω , setelah impedansi surja pada konduktor diketahui, sehingga pengolahan MATLAB dapat ditunjukkan pada Gambar 5.

Impedansi Surja

Diketahui:

r 240 mm

h 5 M

Ditanya:

r = Meter

Z = Impedansi Konduktor

Jawab:

r 0.00074039 M

Z 422.543 Ohm

Hitung Reset Selesai Open

Impedansi Surja dalam peristiwa gelombang berjalan sesuai dengan persamaan berikut ini:

$$60 \ln 2h/r$$

Keterangan:

h = Tinggi konduktor dari permukaan tanah (m)

r = Jari jari kawat (m)

$\ln$ = logaritma natural.

60 = faktor konversi yang diberikan dalam rumus.

Gambar 5. Pengolahan Data Impedansi Surja

Berdasarkan pengolahan aplikasi MATLAB, impedansi Surja seperti pada gambar 7, dapat dihitung arus pelepas *lightning arrester* yaitu 3.97 KA, apabila arus pelepasan memiliki nilai yang besar maka semakin baik perlindungannya, sehingga *lightning arrester* yang terpasang sudah memenuhi standar, dapat ditunjukkan pada Gambar 6.

Arus Pelepas

Diketahui:

U_d 1000 kV

U_A 320 kV

Z 422.49 Ohm

Ditanya:

E_r = Tegangan Pelepas

Jawab:

I_a 3.97643 kA

Hitung Reset Selesai Open

Arus pelepasan LA (I_a) dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$I_a = \frac{U_d - U_A}{Z}$$

Dimana :

I_a = Arus pelepasan

U_d = Tegangan gelombang datang

U_A = Tegangan kerja

Z = Impedansi surja

Gambar 6. Pengolahan Data Arus Pelepas

3.1.4. Jarak Maksimum

Berdasarkan pengolahan aplikasi MATLAB jarak maksimum *lightning arrester* terhadap transformator daya adalah 33 meter. Jarak terpasang pada Transformator adalah 3 meter, sehingga masih di bawah jarak maksimum dapat dilihat pada Gambar 7.

Jarak Maksimum

Ep = 650 kV
Ea = 430 kV
A = 1000 kV/μs
v = 300 m/μs

Ditanya: S = Jarak Maksimum

Jawab: S = 33 m

Hitung Reset Selesai

Perhitungan Jarak Maksimum antar Lightning Arrester transformator daya diberikan persamaan berikut :

$$S = \frac{v(E_p - E_a)}{2A}$$

Keterangan :

- S = Jarak antara Arrester dengan transformator (m)
- Ep = Tegangan BIL pada transformator (kV)
- Ea = Tegangan Impuls percik Arrester (kV)
- A = Kecepatan muka gelombang tegangan Impuls (kV/μs)
- v = Kecepatan merambat gelombang (m/μs)

Gambar 7. Pengolahan Data Jarak Maksimum

3.1.5. Tegangan Tiba Pada Transformator

Berdasarkan pengolahan aplikasi tegangan tiba pada transformator adalah 450 KV, sedangkan *Basic Insulation Level* (BIL) yang terpasang yaitu 650 KV sesuai dengan kebutuhan, Dimana nilai tegangan yang tiba pada transformator masih dibawah nilai *Basic Insulation Level* (BIL) seperti dilihat pada Gambar 8.

Tegangan Tiba Pada Transformator

Ea = 430 kV
A = 1000 kV/μs
S = 3 m
v = 300 m/μs

Tanya: Ep = Tegangan Tiba Transformator

Jawab: Ep = 450 kV

Hitung Reset Selesai

Perhitungan Tegangan Tiba pada Transformator diberikan persamaan berikut :

$$E_p = E_a + 2 \frac{A S}{v}$$

Keterangan :

- Ea = Tegangan Impuls Percik (kV)
- A = Gelombang Surja Datang (kV/μs)
- S = Jarak Lightning Arrester dengan Transformator (m)
- v = Kecepatan Gelombang Merambat (m/μs)

Gambar 8. Pengolahan Data Tegangan Tiba pada Transformator

3.2. Analisa Kelayakan Lightning Arrester

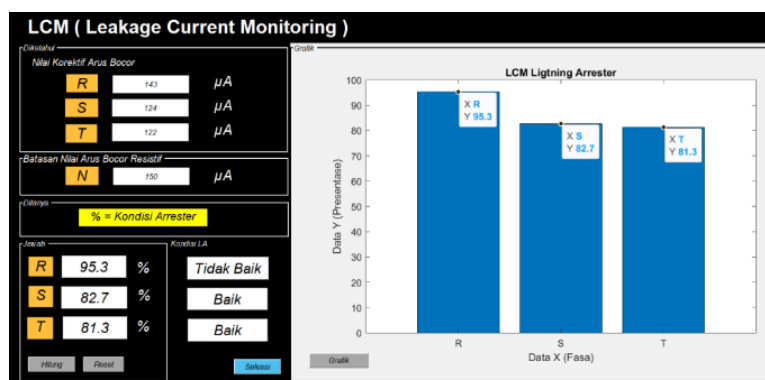
3.2.1. LCM (Leak Current Monitoring)

Berikut adalah hasil perhitungan presentase arus bocor resistif pada tahun 2023 dan 2024 dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil Perhitungan Pengukuran Thermovisi Suhu Lightning Arrester

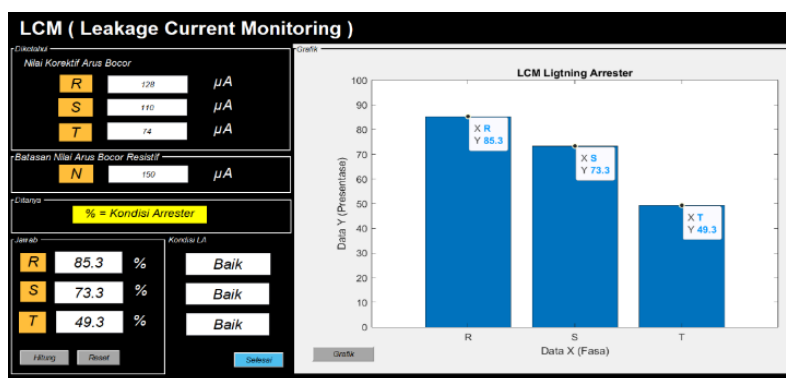
No	Tahun	Bay	Phasa	Presentase	Keterangan
1	2023	Trafo Unit 5	R	95%	Tidak Baik
2			S	83%	Layak
3			T	81%	Layak
4			R	85%	Layak
5	2024		S	73%	Layak
6			T	49%	Layak

Berikut adalah hasil pengolahan data LCM Tahun 2023 menggunakan aplikasi MATLAB Fasa R memiliki nilai tinggi yaitu 95,3% dimana nilai tersebut menampilkan kondisi tidak baik, sedangkan pada fasa T memiliki nilai terendah yaitu 81,3% dapat ditunjukkan pada Gambar 9.



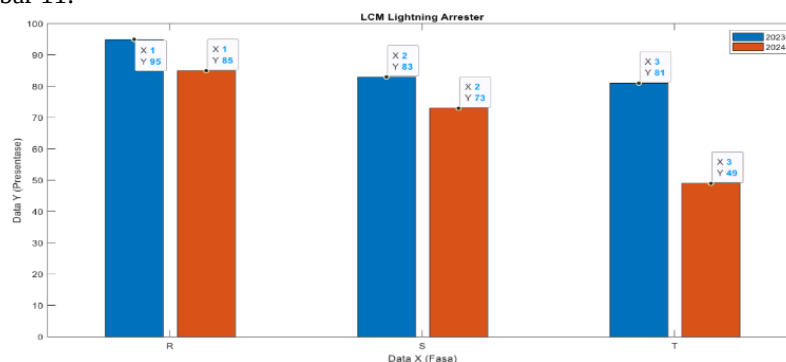
Gambar 9. Pengolahan Data LCM Tahun 2023

Berikut adalah hasil pengolahan data LCM Tahun 2024 menggunakan aplikasi MATLAB, fasa R memiliki nilai tertinggi yaitu 85,3%, sedangkan pada fasa T memiliki nilai terendah yaitu 49,3% dapat ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Pengolahan Data LCM Tahun 2024

Berikut adalah data pengolahan perbandingan data grafik LCM tahun 2023 dan 2024 yang dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Perbandingan Data Grafik LCM Tahun 2023 dan 2024

Gambar 11 memperlihatkan grafik perbandingan presentase arus bocor *lightning arrester* dimana grafik warna biru data tahun 2023 dan warna orange tahun 2024, dapat dilihat semua fasa (R, S, T) menunjukkan penurunan nilai arus bocor setiap tahunnya. Pada fasa R tahun 2023 memiliki nilai yang tidak baik dapat kita bandingkan pada [7], Rekomendasi Hasil Ukur LCM menurut "Buku Pedoman *Lightning Arrester*" pengukuran tahunan dengan standar < 90% sedangkan, ditahun 2023 pada fasa R memiliki nilai 95%, seharusnya menurut standarisasi PLN ketika nilai 91 – 99% .

3.2.2. Thermovisi Suhu

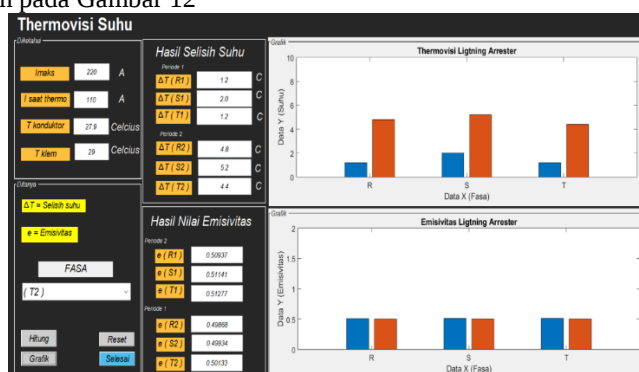
a. Selisih Suhu

Berikut adalah hasil perhitungan selisih suhu pada tanggal 05 April dan 03 Juni 2024 dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil Perhitungan Selisih Suhu *Lightning Arrester*

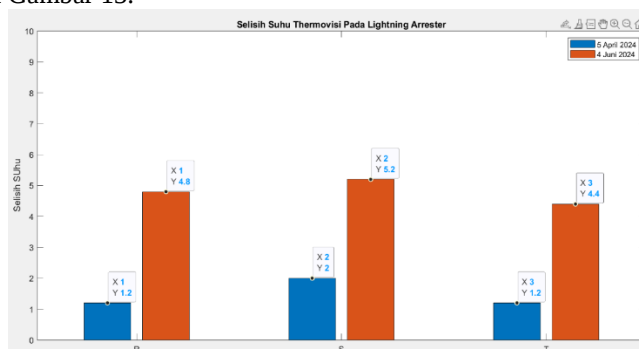
No	Tanggal	Phase	I Maksimum (A)	I saat Thermovisi (A)	Pengukuran Suhu Thermovisi		Hasil Selisih Suhu
					T Klem (°C)	T Konduktor (°C)	
1	05 April 2024	R	220	110	27.8	27.5	1.2
2		S	220	110	27.5	27	2
3		T	220	110	27.3	27	1.2
4	03 Juni 2024	R	220	110	29.4	28.2	4.8
5		S	220	110	29.3	28	5.2
6		T	220	110	29	27.9	4.4

Berikut adalah hasil pengolahan data selisih suhu pada tanggal 05 April dan 03 Juni 2024 dapat ditunjukkan pada Gambar 12



Gambar 12. Hasil Pengolahan Data Selisih suhu

Berikut grafik perbandingan pengukuran selisih suhu 05 April dan 03 Juni 2024 dapat ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Grafik Perbandingan Pengukuran Selisih suhu

Gambar 13 memperlihatkan pengolahan data selisih suhu klem *lightning arrester* pada transformator. Grafik berwarna biru adalah grafik pada tanggal 05 April 2024 dan warna *orange* adalah grafik pada 03 Juni 2024, dapat kita lihat pada grafik fasa (R, S, T) menunjukkan peningkatan nilai suhu pada tanggal 03 Juni 2024. Berdasarkan grafik fasa S berada pada nilai angka tertinggi disetiap pengukurannya, Fasa R mengalami penurunan yang paling signifikan, sedangkan fasa T masih menduduki suhu paling rendah. Dapat dilihat pada seluruh pengukuran dan waktu fasa (R, S, T) memiliki suhu baik dapat kita bandingkan pada standar suhu *thermovisi* dengan nilai $< 10^{\circ}\text{C}$ pada kondisi normal [15].

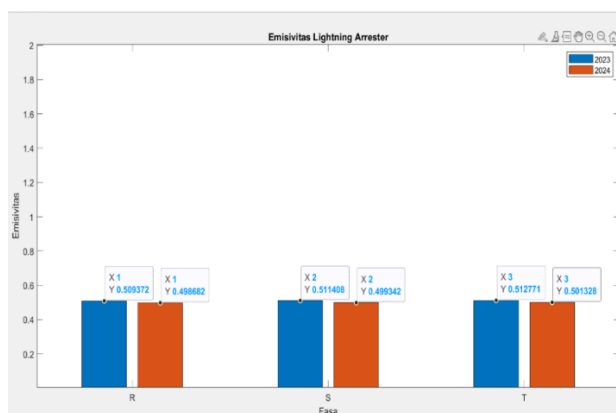
b. Nilai Emisivitas

Berikut adalah pengolahan data nilai emisivitas 05 April dan 03 Juni 2024 yang dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Pengolahan Data Nilai Emisivitas

Berikut grafik perbandingan pengukuran nilai emisivitas 05 April dan 03 Juni 2024 dapat ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 15. Perbandingan Pengukuran Nilai Emisivitas

Berdasarkan Gambar 15 adalah grafik nilai emisivitas pada *lightning arrester* pada *transformator* Unit 5 Gardu Induk 150 KV Kalibakal. Perlu diketahui pada grafik terdapat 2 bar grafik pada bar berwarna biru adalah grafik pada tanggal 05 April 2024 dan pada bar warna *orange* adalah grafik pada 03 Juni 2024. Dapat kita lihat pada grafik semua fasa mengalami penurunan nilai emisivitas pada pengukuran 03 Juni 2024. Fasa T berada pada nilai angka tertinggi pada 04 April 2024 maupun 03 Juni 2024, sedangkan fasa R masih menduduki nilai emisivitas paling rendah. Semakin besar suhu pengukuran *thermovisi* maka semakin rendah nilai emisivitasnya dan sebaliknya.

4. KESIMPULAN

Kemampuan *lightning arrester* yang terpasang di sisi HV transformator memenuhi kriteria untuk melindunginya dari surja petir maupun surja hubung. Pada tegangan nominal adalah 132 KV dan tegangan maksimum adalah 165 KV, arus pelepas sebesar 3,97 kA pemilihan *Lightning Arrester* yang terpasang kelas arus sebesar 10 kA. Nilai tegangan pada terminal transformator 450 KV, sedangkan *Basic Insulation Level* (BIL) transformator adalah 650 KV (perhitungan jarak maksimum antara *lightning arrester* dan transformator daya 33 meter, sedangkan di lapangan 3 meter).

Kelayakan *lightning arrester* berdasarkan hasil analisa pengukuran arus bocor pada tahun 2023- 2024 adalah masih normal dan layak beroperasi. Presentase Arus Bocor resistif pada Fasa (R, S, T) fasa R tahun 2023 memiliki nilai yaitu 95%, (kondisi normal standarisasi PLN < 90%) dan menurun pada tahun 2024 menjadi 85% dan masih cukup tinggi, hal tersebut dapat terjadi karena kondisi alam, lingkungan, dan sistem menjadikan pengukuran tidak akurat. Berdasarkan perhitungan *thermovisi Suhu* setiap fasanya memiliki suhu baik (kondisi normal standarisasi PLN yaitu <10°C) dengan rata-rata emisivitas dari 6 sampel sebesar 0,50548 sama dengan nilai ACSR Aluminium 0,5 yang dikeluarkan oleh *Infrared Training Center of Flir System Inc.*

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hidayatulloh, R., & tyas tutu dan Kartono, J. (2012). Analisa gangguan hubung singkat pada jaringan SUTT 150 Kv jalur Kebasen–Balapulang–Bumiayu menggunakan program ETAP. Tugas Akhir: Universitas Diponegoro.
- [2] Sitorus, C. H. L. (2017). Studi Analisis Pemilihan Dan Pemasangan Arrester Aplikasi Transformator Pada Gardu Induk Pematang Siantar.
- [3] Yusmartato, Y., Parinduri, L., & Sudaryanto, S. (2017). Pembangunan Gardu Induk 150 KV di Desa Parbaba Dolok Kecamatan Pangururan Kabupaten Samosir. *JET (Journal of Electrical Technology)*, 2(3), 13–17.
- [4] Hutauruk (2021). Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja (Sangma Parapat, Ed.). Penerbit Erlangga.
- [5] Ramadhani, A. W., Joko, J., Agung, A. I., & Wrahatnolo, T. (2023). Analisis Arus Bocor Resistif Pada Sistem Proteksi Lightning Arrester Bay Kedinding Di Gardu Induk 150 KV Kenjeran Surabaya. *Jurnal Teknik ELEktro*, 12(1), 19–27.
- [6] Shoimatussururoh, S. (2022). Pemeliharaan Lightning Arrester (LA) pada Gardu Induk Saketi 150kv di PT. PLN (Persero) ULTG Rangkasbitung. *INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 1(5), 520–531.
- [7] PLN, P. T. (2014). Buku Pedoman Pemeliharaan Lightning Arrester. Jakarta, Indonesia.
- [8] Suardi, M. A., Utomo, R. M., Pandu, A., Suprihanto, D., & Rumawan, F. H. (2024). Analisis Tiga Level Inspeksi Peralatan Lightning Arrester Sebagai Pengaman Pada Unit Layanan Transmisi Dan Gardu Induk Tengkawang. *Prosiding Snitt Poltekba*, 6, 48–54.
- [9] Putra, & Izzan Julda DE. (2019). Analisis Pemeliharaan dan Penempatan Lightning Arrester Bay Bawen 2 Gardu Induk 150 kV Klaten. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [10] IEC 60099-1. (1999). Non linear resistor type gapped surge arresters for a.c system. International Standard.
- [11] IEC 600099-4. (2001). Metal Oxide Surge Arrester Without Gaps for a.c Systems (1.2). International Electrotechnical Commission.
- [12] Ramadhani, A. W., Joko, J., Agung, A. I., & Wrahatnolo, T. (2023). Analisis Arus Bocor Resistif Pada Sistem Proteksi Lightning Arrester Bay Kedinding Di Gardu Induk 150 KV Kenjeran Surabaya. *Jurnal Teknik ELEktro*, 12(1), 19–27.
- [13] PT.PLN. (2009). Buku Petunjuk Batasan Operasi dan Pemeliharaan Peralatan Penyaluran Tenaga Listrik (Vols. 4-22/HARLUR-PST/2009).
- [14] Shoimatussururoh, S. (2022). Pemeliharaan Lightning Arrester (LA) pada Gardu Induk Saketi 150kv di PT. PLN (Persero) ULTG Rangkasbitung. *INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 1(5), 520–531.
- [15] PT.PLN. (2014). Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Daya (PDM/PGI/01:

Penerapan Otomasi Industri Berbasis *Programmable Logic Controller* untuk Penyortiran Barang Berdasarkan Warna Menggunakan Sensor Vision

Implementation of Industrial Automation Based on Programmable Logic Controller for Sorting Goods Based on Color Using Vision Sensor

Itmi Hidayat Kurniawan¹, Arif Haryanto², Latiful Hayat³

^{1,2,3} Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Muhammadiyah Purwokerto
Jl. Raya Dukuh Waluh, Kembaran 53182, Indonesia

Informasi Makalah

Dikirim, 14 Desember 2024
Diterima, 29 Desember 2024
Diterbitkan, 31 Desember 2024

Kata Kunci:

Sistem otomasi industri,
Programmable Logic Controller,
PixyCam,
Arduino Uno,
Sortir Warna

INTISARI

Penerapan sistem otomasi dalam industri bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi proses produksi, salah satunya dalam proses penyortiran barang berdasarkan warna. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem otomasi yang dapat melakukan penyortiran barang otomatis menggunakan sensor vision berbasis PixyCam dan kontroler PLC (*Programmable Logic Controller*). Sistem ini dirancang untuk mendeteksi warna objek (hijau, merah, dan biru) dan melakukan penyortiran dengan menggunakan motor DC konveyor dan motor servo. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengolahan sinyal dari sensor vision PixyCam yang kemudian dikirimkan ke Arduino Uno untuk pengolahan data, dilanjutkan dengan pengiriman sinyal ke PLC untuk mengendalikan aktuatur. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini dapat menyortir objek dengan tingkat keberhasilan mencapai 87,6%, meskipun terdapat beberapa kegagalan terkait pencahayaan dan posisi objek. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam mengoptimalkan penerapan teknologi sensor vision dalam industri, terutama untuk aplikasi penyortiran berdasarkan warna.

ABSTRACT

The application of automation systems in industry aims to improve the efficiency and accuracy of the production process, one of which is in the process of sorting goods by color. This study aims to design and implement an automation system that can perform automatic sorting of goods using a PixyCam-based vision sensor and a PLC (*Programmable Logic Controller*) controller. This system is designed to detect the color of objects (green, red, and blue) and perform sorting using a conveyor motor and servo motor. The method used in this study is signal processing from the PixyCam vision sensor which is then sent to the Arduino Uno for data processing, followed by sending a signal to the PLC to control the actuator. The test results show that this system can sort objects with a success rate of 87.6%, although there are some failures related to lighting and object position. This study contributes to optimizing the application of vision sensor technology in industry, especially for color sorting applications.

Korespondensi Penulis:

Itmi Hidayat Kurniawan

Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Muhammadiyah Purwokerto

Jl. Raya Dukuhwaluh, Kembaran 53182, Indonesia

Email : itmy@ump.ac.id

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi otomasi industri telah memberikan kontribusi signifikan terhadap efisiensi dan efektivitas proses produksi di berbagai sektor industri. Sistem otomasi berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC) menjadi solusi yang sering diterapkan untuk mengendalikan proses industri secara otomatis, menggantikan operasi manual yang cenderung memakan waktu dan rawan kesalahan. Salah satu implementasi teknologi ini adalah dalam proses penyortiran barang berdasarkan warna, di mana sistem dapat bekerja secara akurat dan cepat dengan bantuan sensor vision (*vision sensor*).

Di era *Industry 4.0*, kebutuhan akan teknologi otomasi yang presisi semakin meningkat seiring dengan permintaan pasar yang membutuhkan kecepatan produksi tinggi dan kualitas produk yang konsisten [1]–[3]. Penggunaan sensor vision telah berkembang pesat dalam sistem otomasi karena kemampuannya dalam mendeteksi objek secara visual dengan tingkat akurasi yang tinggi [4], [5]. Teknologi ini memungkinkan sistem untuk mengenali warna, ukuran, dan posisi objek secara *real-time*, yang sangat dibutuhkan dalam proses penyortiran produk di lini produksi.

Meski teknologi otomasi industri sudah banyak diimplementasikan, beberapa permasalahan masih sering muncul, seperti keterbatasan sistem dalam mengenali objek dengan warna yang serupa, keterlambatan pemrosesan data sensor, dan integrasi antara perangkat sensor dengan *controller* [6]–[9]. Selain itu, studi mengenai penggunaan sensor vision dalam sistem otomasi berbasis PLC masih memerlukan pengembangan lebih lanjut terutama dalam hal optimasi kinerja dan biaya implementasi.

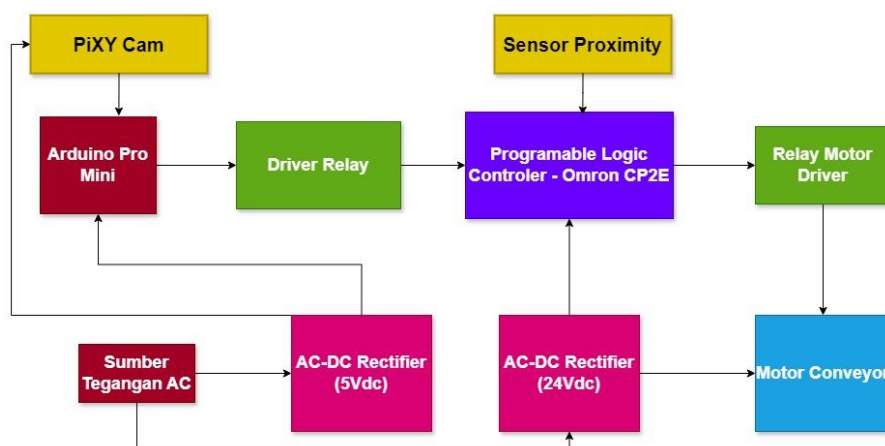
Penelitian dalam [10], [11] mengusulkan rancangan sistem penyortiran otomatis menggunakan *color sensor* berbasis Arduino untuk mendeteksi warna objek. Namun, sistem ini memiliki keterbatasan dalam hal kecepatan pemrosesan dan kapasitas integrasi dengan perangkat industri skala besar. Sementara itu, penelitian dalam [3], [12], [13] menggunakan sensor vision untuk menyortir produk berdasarkan warna, namun kontrol sistem masih berbasis mikrokontroler, sehingga fleksibilitas sistem dalam mengatur proses produksi berskala besar belum optimal. Penelitian lain dalam [14], [15] menunjukkan bahwa integrasi sensor vision dengan PLC dapat meningkatkan kinerja sistem otomasi dalam mendeteksi objek berdasarkan warna dan bentuk. Namun, penelitian tersebut masih terbatas pada implementasi di lingkungan laboratorium dan belum diuji pada kondisi industri yang kompleks. Hal ini menunjukkan adanya kesenjangan dalam penelitian sebelumnya, terutama pada aspek implementasi sistem yang lebih aplikatif dan relevan dengan kebutuhan industri modern.

Berdasarkan kajian literatur di atas, dilakukan suatu penelitian untuk mengintegrasikan sensor vision dan *Programmable Logic Controller* (PLC) untuk menciptakan sistem penyortiran otomatis dan pengembangan sistem yang mampu mendeteksi dan menyortir barang berdasarkan warna secara *real-time* dan akurat.

Penelitian ini penting dilakukan mengingat kebutuhan industri terhadap sistem penyortiran yang efisien dan akurat semakin meningkat. Selain itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi otomasi di Indonesia, khususnya dalam penerapan PLC dan sensor vision untuk meningkatkan produktivitas industri.

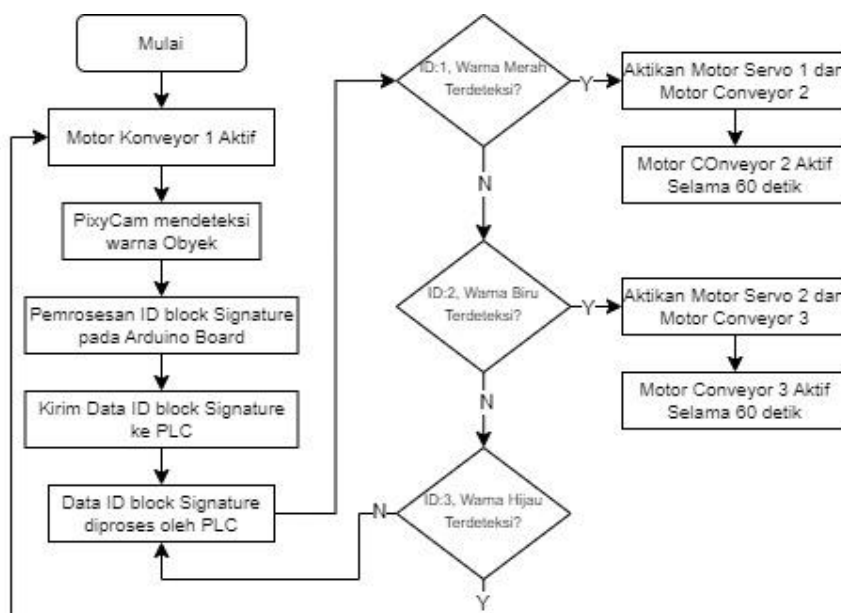
2. METODE PENELITIAN

Komponen yang digunakan dalam pembuatan sistem otomasi sistem sortir berdasarkan warna ini yaitu: *programmable logic controller*, *arduino promini development board*, modul relay, motor DC, *Pixy Camera*, *conveyor belt*. Perancangan perangkat keras sistem sortir warna yang dirancang diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Blok Diagram Blok Sistem Otomasi Sortir Barang Berdasarkan Warna

Berdasarkan pada Gambar 1, sistem sortir otomatis terdiri dari perangkat elektronik yang terdiri dari beberapa perangkat input dan output. *Programable Logic Controller (PLC)* berfungsi untuk menerima *output arduino board* berupa input logika *LOW/HIGH*. PLC juga bertindak sebagai sistem pengendali motor konveyor dan motor servo pensortir botol. Pixycam berfungsi sebagai vision sensor untuk membedakan barang yang akan disortir berdasarkan warna. Produk ini dibedakan dalam 3 warna berbeda yaitu merah, hijau dan biru. Dikarenakan data sinyal dari PixyCam tidak dapat langsung diproses oleh PLC sehingga diperlukan komponen Arduino Promini untuk pengolahan data deteksi warna oleh PixyCam. Komponen motor servo berfungsi sebagai aktuatur dan pengungkit untuk memisahkan barang yang dipilih sesuai dengan data dari Pixycam. Komponen relay berfungsi untuk menerima output dari PLC untuk meneruskan program ke komponen aktuatur konveyor berupa motor servo dan motor DC. Pada Gambar 2 diperlihatkan diagram alir proses sistem sortir warna otomatis menggunakan PLC.



Gambar 2. Diagram Alir Proses Sistem Sortir Barang Berdasarkan Warna

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pembuatan Sistem Mekanis Konveyor

Perangkat konveyor digunakan untuk media distribusi barang yang akan disortir. Pembuatan *body* konveyor menggunakan besi dan akrilik, untuk konveyor 1 dengan panjang 60 cm dan lebar 16 cm. Besi as ukuran diameter 5 mm yang dipasang dengan *bearing* dengan lubang ukuran 5 mm kemudian disambungkan di lubang - lubang kanan kiri besi. Lembaran karpet sebagai wadah barang pada konveyor dengan panjang 140 cm dan lebar karpet 13 cm. Kemudian untuk konveyor 2 dan 3 dengan panjang 30 cm dan lebar 12 cm yang dipasang *bearing* dengan lubang ukuran 5 mm kemudian disambungkan dilubang kanan kiri besi dan lembaran karpet dengan panjang 80 cm dan lebar 8 cm. Kemudian sebagai penggerak konveyor yaitu dengan motor DC 24 V.

3.2. Pembuatan Modul Kontroler

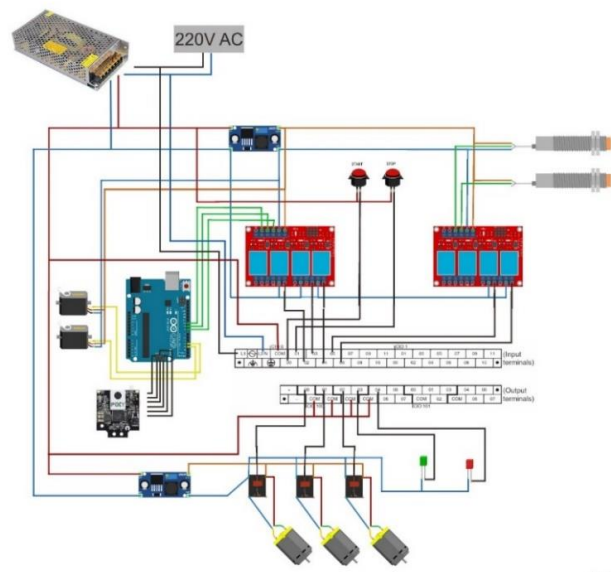
Modul Kontroler pada sistem ini dibuat sebagai pusat pengendalian perangkat masukan dan keluaran pada sistem sortir. Untuk pengkabelan PLC, Terminal COM I/O-PLC terhubung ke catu daya positif 24 VDC.

3.3. Pembuatan Modul Penggerak Motor Servo

Pada bagian perancangan motor servo disini menggunakan akrilik dengan panjang 6 cm dan lebar 4 cm sebagai tempat motor servo yang di pasang di samping bodi konveyor kemudian di baur dan mur ukuran 12. Pada bagian penggerak motor servo dipasangkan akrilik dengan panjang 10 cm sebagai tuas yang akan memindahkan barang yang disortir.

3.4. Pembuatan Modul Sensor Proximity

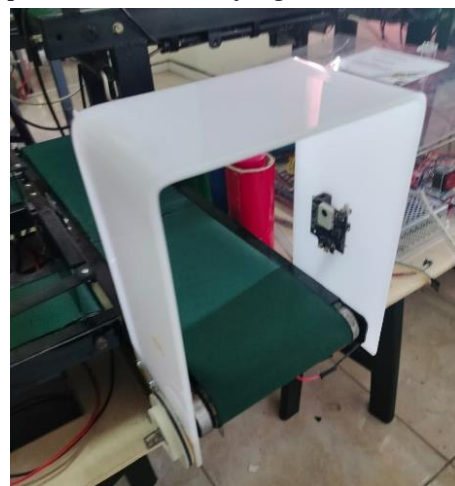
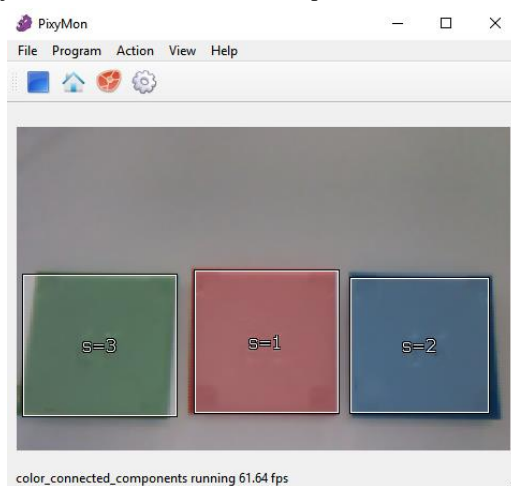
Pembuatan modul sensor objek menggunakan sensor proximity disini menggunakan akrilik dengan panjang 15 cm dan lebar 5 cm sebagai tempat sensor proximity dengan ketinggian jarak konveyor 8 cm.



Gambar 3. Sistem Mekanis dan Skematik Sistem Konveyor & Motor DC

3.5. Pendeteksian Warna Obyek Menggunakan PixyCam

Proses pendeteksian warna menggunakan PixyCam dimulai dengan pengambilan gambar secara *real-time* melalui kamera yang kemudian diproses menggunakan program PixyMon. Untuk mendeteksi blok warna berdasarkan kalibrasi *signature* yang telah ditentukan, seperti merah, hijau, dan biru. Fungsi `pixy.ccc.getBlocks()` digunakan untuk meminta data blok dari PixyCam dilanjutkan dengan pemrosesan frame gambar dan mengidentifikasi blok warna berdasarkan karakteristik seperti koordinat, dimensi, dan *signature* ID. Data blok yang terdeteksi disimpan dalam array dan mencakup informasi tentang posisi (X, Y), ukuran (lebar dan tinggi), serta ID *signature* warna. Proses ini kemudian memeriksa setiap blok untuk mencocokkan *signature* ID dengan warna yang diinginkan. Pada penelitian ini ID 1 untuk warna merah, ID 2 untuk warna Biru, dan ID 3 untuk warna hijau. Setelah identifikasi, sistem dapat memanfaatkan data tersebut untuk mengendalikan motor servo pada konveyor guna menyortir objek berdasarkan warnanya. Proses ini dirancang untuk berjalan secara iteratif dalam *loop* untuk memastikan proses deteksi warna yang konsisten dan *real-time*.



Gambar 4. Proses Kalibrasi-Block Signature Warna Obyek Menggunakan PixyCam

3.6. Pengujian Sistem Otomasi Industri Berbasis *Programmable Logic Controller* Untuk Sortir Barang Berdasarkan Warna

Tabel 1. Pengujian Sistem Dalam Memilah Objek Berdasarkan Warna

No	Warna objek (botol)	Keberhasilan	
		Berhasil	Tidak Berhasil
1	Hijau	✓	
2	Merah	✓	
3	Biru	✓	
4	Biru	✓	
5	Hijau		✓
6	Hijau	✓	
7	Merah	✓	
8	Biru	✓	
9	Merah	✓	
10	Hijau	✓	
11	Merah	✓	
12	Hijau	✓	
13	Biru	✓	
14	Hijau	✓	
15	Hijau		✓
16	Hijau	✓	
17	Merah	✓	
18	Merah	✓	
19	Biru	✓	
20	Biru	✓	
21	Merah	✓	
22	Merah	✓	
23	Biru	✓	
24	Hijau	✓	
25	Biru		✓
26	Biru	✓	
27	Merah	✓	
28	Hijau		✓
29	Merah	✓	
30	Biru	✓	

Berdasarkan data pengujian pada Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian prototipe sistem otomasi industri dalam menyortir objek (botol) berdasarkan warna menggunakan konveyor dan motor servo. Data pengujian ini dilakukan sebanyak 30 kali dengan tiga kategori warna objek yaitu hijau, merah, dan biru. Untuk pengujian botol warna hijau dari total 10 percobaan diperoleh hasil uji 7 berhasil dan 3 tidak berhasil. Sehingga tingkat keberhasilan pendeteksian botol warna hijau sebesar 70%. Untuk pengujian botol warna merah dari total 9 percobaan, diperoleh hasil uji 9 berhasil. Sehingga tingkat keberhasilan pendeteksian botol warna Merah sebesar 100%. Sedangkan untuk pengujian obyek botol warna biru, dari total 11 percobaan, 10 berhasil dan 1 tidak berhasil, sehingga tingkat keberhasilannya sebesar 93%.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan sortasi warna dengan tingkat keberhasilan yang cukup tinggi, khususnya untuk warna merah yang menunjukkan performa sempurna. Namun, masih terdapat kekurangan dalam pendeteksian warna hijau dan biru. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh faktor seperti intensitas cahaya, sudut pandang sensor, atau ketidakakuratan dalam pengolahan sinyal.

Sistem ini menunjukkan potensi yang baik sebagai media pembelajaran sistem otomasi industri berbasis PLC, meskipun perbaikan diperlukan untuk meningkatkan akurasi deteksi dan penyortiran barang, terutama untuk warna hijau dan biru.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa prototipe berhasil dirancang dan berfungsi sebagai sistem otomasi industri sederhana untuk menyortir barang berdasarkan warna. Sistem ini menggunakan PixyCam sebagai sensor pendeteksi warna barang (hijau, merah,

dan biru). Arduino Uno sebagai pengolah sinyal dari PixyCam untuk menentukan warna barang. *Programmable Logic Controller* sebagai pengendali utama yang mengatur pergerakan motor konveyor untuk memindahkan objek dan motor servo sebagai aktuator dalam proses pensortiran.

Berdasarkan data pengujian menunjukkan hasil pengujian prototipe sistem otomasi industri dalam menyortir objek (botol) berdasarkan warna menggunakan konveyor dan motor servo. Data pengujian ini dilakukan sebanyak 30 kali dengan tiga kategori warna objek yaitu hijau, merah, dan biru. Untuk pengujian botol warna hijau dari total 10 percobaan diperoleh hasil uji 7 berhasil dan 3 tidak berhasil. Sehingga tingkat keberhasilan pendeteksian botol warna hijau sebesar 70%. Untuk pengujian botol warna merah dari total 9 percobaan, diperoleh hasil uji 9 berhasil. Sehingga tingkat keberhasilan pendeteksian botol warna Merah sebesar 100%. Sedangkan untuk pengujian obyek botol warna biru, dari total 11 percobaan, 10 berhasil dan 1 tidak berhasil, sehingga tingkat keberhasilannya sebesar 93%.

Kegagalan pendeteksian dan penyortiran pada beberapa percobaan kemungkinan disebabkan oleh: intensitas cahaya yang mempengaruhi akurasi sensor PixyCam, sudut pandang sensor terhadap objek, dan waktu respons sistem dalam membaca dan memproses sinyal dari sensor ke aktuator.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Lee, B. Bagheri, and H. A. Kao, "A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems," *Manuf. Lett.*, vol. 3, pp. 18–23, 2015, doi: 10.1016/j.mfglet.2014.12.001.
- [2] A. Saurin, Sheth Qayyum, R. Rayhan, S. Dash, and T. Naidu, "Automatic Sorting System Using Machine Vision," no. July, pp. 113–118, 2021, doi: 10.13140/2.1.1432.1448.
- [3] R. Vieira, D. Silva, E. Ribeiro, L. Perdigoto, and P. J. Coelho, "Performance Evaluation of Computer Vision Algorithms in a Programmable Logic Controller: An Industrial Case Study," *Sensors*, vol. 24, no. 3, 2024, doi: 10.3390/s24030843.
- [4] H. Yao *et al.*, "Development and optimization of object detection technology in pavement engineering: A literature review," *J. Road Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 163–188, 2024, doi: 10.1016/j.jreng.2024.01.006.
- [5] A. T. Fadhil, K. A. Abbar, and A. M. Qusay, "Computer Vision-Based System for Classification and Sorting Color Objects," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 745, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/745/1/012030.
- [6] K. Sasidhar, S. Faiz Hussain, S. A. Safdar, and A. Uddin, "Design and Development of a PLC Based Automatic Object Sorting," *Int. J. Res. Sci. Innov.*, vol. IV, no. January, 2017, [Online]. Available: www.rsisinternational.org.
- [7] Priswanto, A. Mubyarto, W. Hp, A. Taryana, and M. Munawar, "Perancangan Prototipe Sistem Konveyor Di Industri Dilengkapi Dengan Sistem Pemisah Benda Berdasarkan Warna, Ukuran Dan Jenis Benda Berbasis PLC Mitsubishi FX2N," *Techno*, vol. 18, no. 1, pp. 7–14, 2017.
- [8] J. Li, "Application Research of Vision Sensor in Material Sorting Automation Control System," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 782, no. 2, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/782/2/022074.
- [9] S. Vandana, K. Shamukha Sri Sai, P. Rohila, and V. Manideep, "PLC Operated Colour Based Product Sorting machine," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1119, no. 1, p. 012016, 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1119/1/012016.
- [10] C. K. Kunhimohammed, K. K. Muhammed Saifudeen, S. Sahna, M. S. Gokul, and S. Usman Abdulla, "Automatic Color Sorting Machine Using TCS230 Color Sensor And PIC Microcontroller," *Int. J. Res. Innov. Sci. Technol.*, vol. 2, no. 2, pp. 33–38, 2015, [Online]. Available: <https://doaj.org/article/206a0c06216649eda81a291f324578f3>.
- [11] A. T. Wardhana, A. Zamheri, and D. Puspa, "Implementation of Plc Based Automatic Sorting System," *Austenit*, vol. 15, no. 1, pp. 36–40, 2023, doi: 10.53893/austenit.v15i1.6677.
- [12] N. W. Seng and A. S. Abdul Ghani, "Vision Based Smart Sorting Machine," *Lect. Notes Mech. Eng.*, no. August 2019, pp. 13–25, 2020, doi: 10.1007/978-981-13-8323-6_2.
- [13] K. Anandhan, "Sorting Robot using Machine Vision Inspection System," no. November 2022, 2023, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/365777155_Sorting_Robot_using_Machine_Vision_Inspection_System.
- [14] K. J. Alaameri, A. J. Ramadhan, A. Fatlawi, and Z. S. Idan, "Design of a new sorting colors system based on PLC, TIA portal, and factory I/O programs," *Open Eng.*, vol. 14, no. 1, 2024, doi: 10.1515/eng-2022-0547.
- [15] H. Rajaaal, A. Farh, and S. Al Hasani, "Image Processing Based Automatic Color Object Sorting Using PLC System," *Int. J. Electr. Electron. Res.*, vol. 7, no. 2, pp. 50–62, 2019, [Online]. Available: www.researchpublish.com.

1. KETENTUAN UMUM

Artikel yang diterima yaitu artikel yang belum pernah dipublikasikan dalam jurnal apapun berupa atau tidak dalam status telah diterima (accepted) untuk dipublikasikan

2. PETUNJUK PENULISAN

2.1. Diketik dengan spasi 1 dalam kertas ukuran A4 dengan jenis huruf Time New Roman 10. Tulisan yang akan dimuat menggunakan bahasa Indonesia maupun bahasa Inggris yang baik.

2.2. Susunan artikel terdiri dari : Judul (Bahasa dan English), Nama Penulis, Abstrak (Bahasa dan English), Kata Kunci (maksimal 5), Pendahuluan, Metode Penelitian, Hasil dan Pembahasan, Kesimpulan, Ucapan Terima kasih (optional) dan Daftar Pustaka.

2.3. Ketentuan Penulisan Artikel :

- a. **Judul** : Judul dalam bahasa Indonesia dan bahasa Inggris (Kapital setiap kata)
- b. **Nama Penulis** : ditulis lengkap tidak disingkat tanpa gelar, disertai nama dan alamat institusi, beserta email korespondensi
- c. **Abstrak** ditulis dalam bahasa Indonesia dan Inggris, terdiri dari 100-250 kata dan memuat tentang : Latar belakang singkat jika ada, Tujuan dan atau ruang lingkup penelitian, Metode (singkat) yang digunakan, Ringkasan hasil /finding, Simpulan. Abstrak ditulis dengan font time new roman 9
- d. **Kata kunci** ditulis dalam bahasa Indonesia dan Inggris, maksimal 5 kata
- e. **Pendahuluan** : berisi kondisi atau masalah yang melatar belakangi atau menginspirasi pelaksanaan kegiatan penelitian. Berisi kajian review literatur atau penelitian sebelumnya secara singkat. Data – data yang mendukung penelitian dari paper-paper yang lain dan paragraph terakhir berisi tujuan penelitian (tidak memuat tinjauan teori). Pernyataan kesenjangan (orisinalitas) atau kontribusi kebaruan (novelty statement) atau beda unik penelitian ini dibanding penelitian penelitian sebelumnya , juga dari sisi penting tidaknya penelitian tersebut dilakukan .
- f. **Metode Penelitian** : menguraikan cara yang digunakan untuk menyelesaikan masalah. Meliputi alat, bahan dan metode yang digunakan dalam pemecahan masalah
- g. **Hasil dan Pembahasan** : Menjelaskan tentang hasil atau luaran peneliti yang membahas tentang perbedaan antara hasil dengan teoritis ataupun dengan penelitian lain yang relevan. Penjelasan dapat menggunakan tabel, gambar dan *chart* yang memudahkan pembaca dalam memahami isi artikel.
- h. **Kesimpulan** : ditulis secara ringkas tetapi menggambarkan substansi kesimpulan hasil penelitian dan rekomendasi dari hasil penelitian. Kesimpulan menjawab permasalahan atau tujuan penelitian atau menghasilkan sebuah teori baru
- i. **Ucapan Terima Kasih** : ucapan terima kasih disampaikan kepada pihak yang pantas , terutama kepada lembaga atau orang yang benar benar membantu penelitian , misalnya : kepada pemberi dana penelitian , fasilitas , bahan , atau saran
- j. **Daftar Pustaka** : Daftar pustaka dan citation ditulis dengan font time new roman 9. Daftar Pustaka disusun berdasarkan urutan sitasi dalam artikel dan diberi nomor, model *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. Penulisan daftar pustaka dan sitasi harus menggunakan software reference manager (e.g. Mendeley) untuk memudahkan dalam editing dan review. Minimal 15 referensi