

Design and Construction of a Smart Monitoring and Phase Failure Protection Circuit in a Three-Phase Electrical Network

Haryogi Setyanto¹, KGS. M. Ismail¹, Agus Herianto¹

¹Program Studi Teknik Listrik Bandara, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug, Indonesia

*Corresponding Author, email ; kgs.ismail@ppicurug.ac.id

Abstract

The three-phase electrical system at airports plays an important role in ensuring aviation safety and security, especially in the operation of three-phase loads at airports which must operate without interruption according to regulations. This research develops a three-phase phase failure monitoring and protection system based on the Internet of Things (IoT) using the ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation) method to overcome the limitations of conventional monitoring which still relies on manual measuring instruments. This system was built using the NodeMCU ESP 8266 microcontroller to process data from the PZEM-004T sensor which measures voltage and current parameters. The data is transferred in real-time via a WiFi connection to the Blynk platform, with the performance monitoring tool reading the parameters for each phase, namely Phase R at 0.22%, Phase S: 0.22%, Phase T: 0.22% and as follows. control when a phase disturbance occurs in one of the feeders, the tool is able to detect and cut off the electricity in less than 1 second. In addition, after the disturbance is resolved and the feeder condition returns to normal, the tool can quickly reconnect electricity in less than 5 seconds.

Keywords: The three-phase electrical system; NodeMCU ESP8266; PZEM-004T; Blynk; Smart Monitoring.

1. Introduction

Sistem tenaga listrik tiga fasa telah menjadi standar dalam distribusi dan pemanfaatan energi listrik modern karena keunggulannya dalam efisiensi penyaluran daya dan kemampuannya mendukung beban besar [1]. Di lingkungan bandara, sistem ini menjadi hal yang sangat penting untuk operasional, memasok daya listrik ke berbagai fasilitas vital seperti sistem navigasi, komunikasi, keamanan, terminal penumpang, landasan pacu, dan lain sebagainya [2]. Keandalan pasokan listrik tiga fasa sangat krusial untuk menjamin kelancaran operasional bandara, mengingat gangguan sekecil apapun dapat berdampak signifikan terhadap keselamatan, keamanan, dan kenyamanan pengguna bandara [3]. Dalam pengoperasiannya suatu bandara tentunya mempunyai peran penting dalam memfasilitasi operasi penerbangan sehingga harus dilengkapi dengan infrastruktur pendukung yang sesuai. Peralatan listrik di bandar udara harus dalam kondisi prima [4]. Pengoperasian perangkat keselamatan penerbangan menuntut ketersediaan sumber daya listrik yang andal dan stabil, atau dengan kata lain, sumber daya listrik yang memiliki kualitas daya yang handal dan komprehensif. Catu daya kelistrikan di bandar udara mengalami perkembangan yang sangat pesat, semakin banyak pelaratan-peralatan dalam sistem tenaga listrik yang telah menggunakan teknologi modern. Perkembangan ini memerlukan implementasi sistem proteksi dan monitoring yang canggih untuk mitigasi risiko kerusakan peralatan serta optimalisasi pemantauan oleh personel teknis [5].

Sistem listrik tiga fasa merupakan sistem yang terdiri dari tiga arus bolak-balik AC (Alternating Current) dengan frekuensi dan amplitudo yang identik, namun memiliki perbedaan fasa sebesar 120 derajat satu sama lain. Sistem ini banyak diterapkan dalam jaringan listrik industri dan rumah tangga karena memiliki beberapa keunggulan dibandingkan sistem listrik satu fasa. Pada sistem listrik tiga fasa, terdapat tiga konduktor fasa (R, S, dan T) serta satu konduktor netral (N). Secara ideal, arus pada ketiga fasa seharusnya seimbang, sehingga arus pada konduktor netral menjadi nol. Namun, dalam praktiknya, sering terjadi ketidakseimbangan beban yang mengakibatkan arus pada konduktor netral tidak lagi bernilai nol [6]. Di bandara, berbagai beban tiga fasa beroperasi untuk menunjang kelancaran operasional. Beberapa di antaranya termasuk sistem pendingin udara (AC) yang menjaga kenyamanan di terminal, lift dan eskalator yang memfasilitasi pergerakan penumpang, serta sistem conveyor belt yang menangani bagasi. Selain itu, beban tiga fasa juga ditemukan pada sistem pencahaayaan landasan pacu, peralatan navigasi, dan sistem radar. Keandalan pasokan listrik tiga fasa sangat krusial untuk memastikan semua beban ini berfungsi optimal. Secara konseptual, keseimbangan fasa pada sistem tiga fasa dapat tercapai jika beban terdistribusi secara merata di antara ketiga fasa (R, S, dan T). Namun, dalam penerapannya, keseimbangan fasa jarang tercapai karena karakteristik beban listrik pada setiap konsumen, baik rumah tangga maupun industri, tidak selalu identik [7]. Ketidakseimbangan fasa ini mengakibatkan perbedaan arus listrik pada masing-masing fasa, sehingga arus netral tidak lagi bernilai nol ampere. Semakin besar ketidakseimbangan fasa, semakin besar pula arus yang mengalir pada konduktor netral [8]. Peralatan yang beroperasi dengan energi listrik memerlukan kualitas daya yang memadai, termasuk arus, frekuensi, dan tegangan yang stabil. Kualitas daya yang buruk dapat mengganggu kinerja peralatan tersebut. Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN) 1995 menetapkan variasi tegangan pelayanan maksimum +5% dan minimum -10% terhadap tegangan nominal. Apabila nilai variasi tegangan yang diijinkan tidak terpenuhi maka dapat menurunkan kualitas daya listrik dan menyebabkan berbagai gangguan pada peralatan.

Ketidakseimbangan beban pada distribusi listrik tiga fasa memiliki implikasi yang luas dan kompleks. Dari perspektif tegangan dan arus, ketidakseimbangan ini dapat memberikan dampak negatif pada kinerja peralatan elektronik dan berpotensi menyebabkan kerusakan jika tidak segera ditangani. Selain itu, sistem yang ada saat ini belum memadai untuk mendekripsi dan menganalisis ketidakseimbangan beban pada sistem distribusi listrik [9]. Sistem listrik tiga fasa rentan terhadap gangguan yang disebut kegagalan fasa, yaitu kondisi di mana salah satu atau lebih fasa mengalami kehilangan tegangan atau arus [10]. Kegagalan fasa dapat disebabkan oleh berbagai faktor, baik internal maupun eksternal. Faktor internal meliputi kerusakan peralatan seperti transformator, kabel, atau beban akibat usia pakai, kesalahan pemasangan, atau beban berlebih. Faktor eksternal seperti bencana alam (petir, banjir, gempa bumi) juga dapat memicu kegagalan fasa. Dampak kegagalan fasa pada sistem tenaga listrik tiga fasa di bandara sangatlah serius dan multidimensi. Pertama, kegagalan fasa dapat menyebabkan ketidakseimbangan beban, di mana beban tidak terdistribusi secara merata pada ketiga fasa. Hal ini mengakibatkan tegangan dan arus yang tidak seimbang, yang dapat merusak peralatan listrik dan menurunkan efisiensi sistem [7]. Ketidakseimbangan beban juga dapat menyebabkan peningkatan rugi-rugi daya pada sistem, yang dapat menurunkan kualitas daya listrik [11]. Kedua, kegagalan fasa dapat memicu kerusakan peralatan akibat tegangan lebih pada fasa yang sehat atau arus yang tidak seimbang [12]. Kerusakan peralatan ini dapat mengakibatkan biaya perbaikan yang tinggi dan gangguan operasional yang berkepanjangan.

Dampak yang paling signifikan adalah gangguan operasional pada lingkungan bandara. Sistem navigasi, komunikasi, keamanan, dan pelayanan penumpang dapat terganggu, yang dapat membahayakan keselamatan dan kenyamanan pengguna bandara [2]. Gangguan operasional juga dapat menyebabkan penundaan atau pembatalan penerbangan, yang

dapat menimbulkan kerugian finansial yang besar bagi maskapai penerbangan dan bandara. Selain itu, kegagalan fasa juga dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan elektronik yang sensitif, seperti komputer dan peralatan medis, yang dapat mengakibatkan kerugian finansial tambahan [13]. Kebutuhan akan sistem yang dapat mendeteksi dan merespon secara cepat dan tepat terhadap kegagalan fasa menjadi sangat penting. Sistem monitoring listrik tiga fasa digunakan untuk memudahkan visualisasi besaran tegangan, arus, daya, dan frekuensi yang mengalir dalam rangkaian sistem distribusi. Monitoring dan proteksi sistem listrik 3 fasa sangat penting untuk mencegah berbagai masalah yang dapat berdampak serius pada keselamatan, operasional, dan finansial [14]. Dengan melakukan monitoring secara berkala, menggunakan peralatan proteksi yang sesuai, dan melakukan perawatan preventif, risiko terjadinya masalah dapat diminimalkan.

2. Material and methods

Penelitian ini menggunakan model ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation) yang dikembangkan oleh Reiser dan Mollenda pada tahun 1990. Model ADDIE efektif untuk penelitian dan pengembangan, terutama dalam pembuatan alat, karena sifatnya yang sistematis dan terstruktur, mendukung pengembangan alat yang efektif, dinamis, dan optimal. ADDIE merupakan penelitian yang memiliki lima tahapan penelitian yang sistematik dan tidak bisa diurutkan secara acak. Model ADDIE dapat beradaptasi dengan baik pada kondisi yang berbeda dan memungkinkan model ini sedang digunakan. Penerapan model ADDIE untuk perancangan penelitian ini, sebagai berikut :

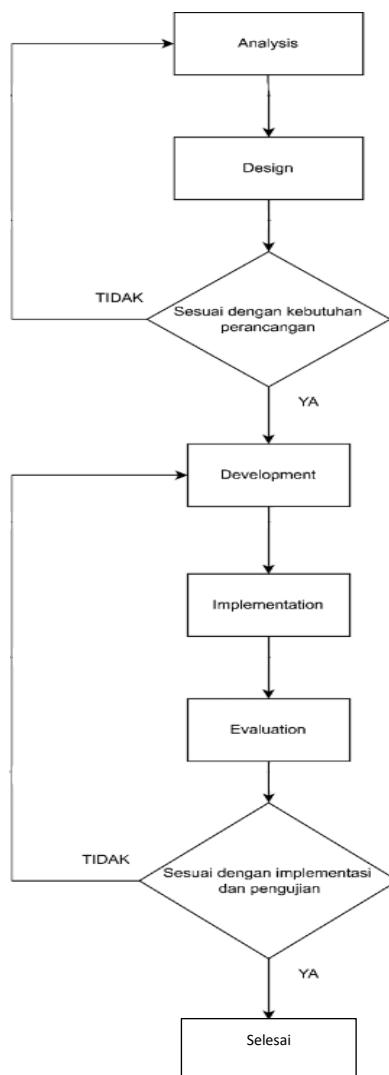
- a. Analysis (Analisis), tahap analisis bertujuan untuk mengidentifikasi masalah dan kebutuhan yang mendasari penelitian ini
- b. Design (Perancangan), tahap perancangan bertujuan untuk merancang solusi berdasarkan analisis masalah dan kebutuhan.
- c. Development (Pengembangan), tahap pengembangan bertujuan untuk mewujudkan desain menjadi sistem nyata. Pada tahap ini, akan dilakukan pemilihan komponen, pembuatan rangkaian, dan penulisan program untuk mikrokontroler.
- d. Implementation (Implementasi), tahap implementasi bertujuan untuk mengintegrasikan semua komponen dan menguji coba sistem secara keseluruhan. Pada tahap ini, akan dilakukan pembuatan wiring diagram, perakitan sistem, dan pengujian fungsionalitas.
- e. Evaluation (Evaluasi), tahap evaluasi bertujuan untuk menguji kinerja sistem dan memastikan bahwa sistem telah memenuhi kebutuhan dan tujuan penelitian.

Penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem pendeteksi kegagalan fasa (phase failure) pada jaringan distribusi listrik. Sistem ini dirancang untuk mengatasi masalah kegagalan fasa yang dapat mengganggu operasional peralatan listrik dan berpotensi menyebabkan kerusakan. NodeMCU ESP8266 [15] [16] dipilih sebagai prosesor utama yang berfungsi sebagai pusat kontrol proses data pada sistem.

Sebagai sensor nilai tegangan dan arus, menggunakan sensor PZEM-004T [17][18] yang akan diintegrasikan ke dalam sistem untuk melakukan pemantauan tegangan dan arus secara real-time pada setiap fasa. Data yang diperoleh dari sensor ini akan diolah oleh NodeMCU ESP8266 untuk mendeteksi adanya ketidaknormalan pada jaringan listrik, seperti hilangnya salah satu fasa atau tegangan yang tidak seimbang. Jika terdeteksi adanya kegagalan fasa, sistem akan segera memberikan sinyal trigger untuk mengaktifkan pengaman beban, sehingga peralatan listrik terlindungi dari kerusakan.

Untuk mempermudah pemantauan dan memberikan informasi yang cepat kepada teknisi, hasil monitoring dari sistem ini ditampilkan melalui aplikasi Blynk. Aplikasi ini dapat diakses melalui perangkat komputer (PC) maupun perangkat smartphone, sehingga teknisi

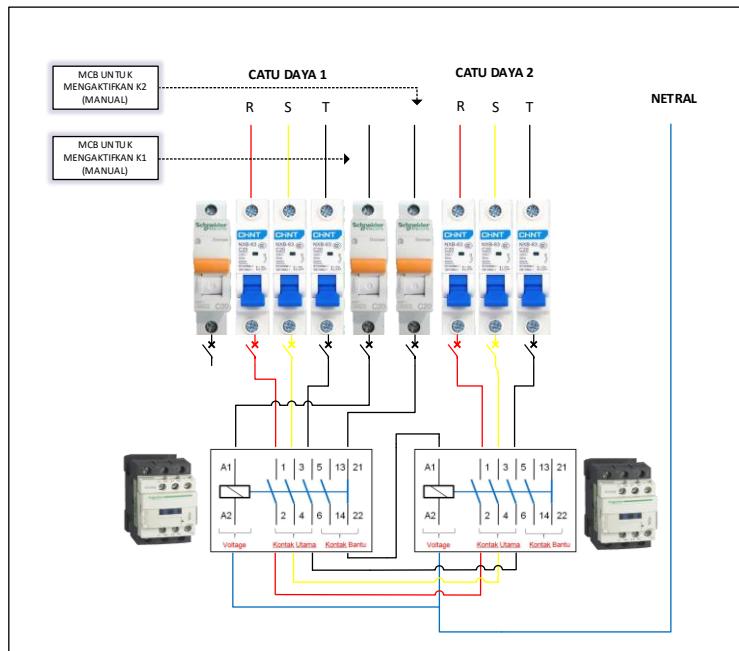
dapat memantau kondisi jaringan listrik dari mana saja dan kapan saja. Selain itu, aplikasi Blynk juga dilengkapi dengan fitur notifikasi yang akan mengirimkan peringatan kepada teknisi jika terjadi kegagalan fasa pada beban. Dengan demikian, tindakan perbaikan dapat segera dilakukan untuk mencegah dampak yang lebih serius.



Gambar 1. Tahapan Perancangan

2.1 Perancangan Perangkat Keras (Hardware)

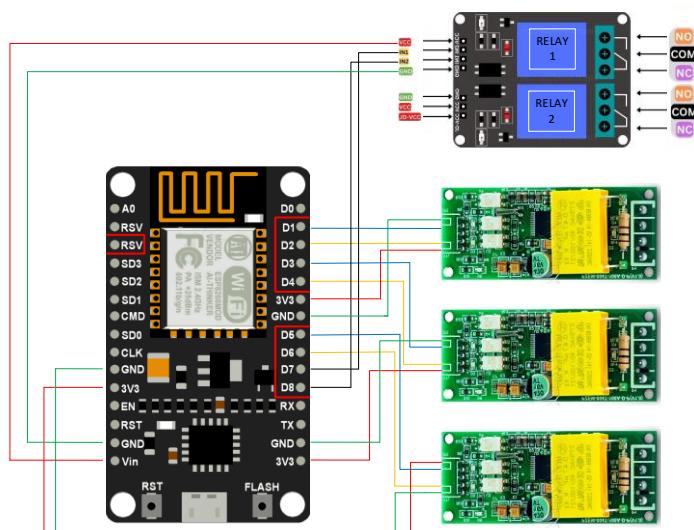
Pada tahapan desain perangkat, langkah awal yang dilakukan adalah membuat rancangan sistem listrik 3 fasa yang memanfaatkan dua sumber catu daya (transformator) dengan tegangan AC 380 V. Pada rancangan prototipe ini, fungsi dari tiga buah MCB (Miniature Circuit Breaker) pada setiap sumber catu daya adalah untuk mensimulasikan kondisi hilang fasa pada masing-masing fasa (R, S, T) catu daya tersebut. Selain itu, dua buah kontaktor digunakan untuk mengendalikan aliran daya dari masing-masing sumber catu daya.



Gambar 2. Perancangan sumber catu daya listrik tiga fasa

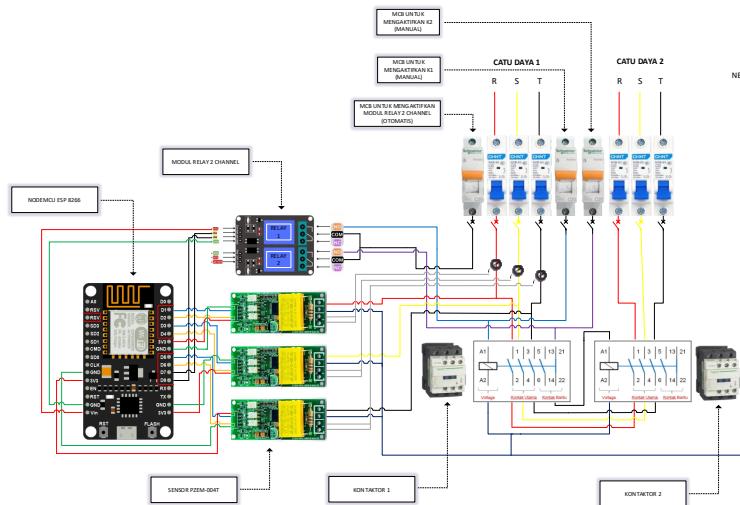
- a. MCB power supply relay: MCB paling kiri berfungsi sebagai pelindung dan pemutus arus untuk *power supply* modul relay 2 channel.
- b. MCB sumber listrik 3 Fasa (catu daya 1): Tiga MCB berwarna biru ini berfungsi sebagai pelindung untuk masing-masing fasa (R, S, T) dari sumber listrik 3 fasa pertama (catu daya 1).
- c. MCB untuk kontaktor 1: MCB tersebut berfungsi untuk mengontrol dan melindungi kontaktor pertama (kiri) yang digunakan untuk menghubungkan beban ke sumber listrik.
- d. MCB kontaktor 2: MCB tersebut berfungsi untuk mengontrol dan melindungi magnetik kontaktor kedua (kanan) yang juga digunakan untuk menghubungkan beban ke sumber listrik.
- e. Magnetik kontaktor 1: Kontaktor ini berfungsi sebagai saklar elektrik yang diaktifkan oleh MCB untuk menghubungkan beban fasa R, S, dan T ke sumber catu daya 1.
- f. Magnetik kontaktor 2: Kontaktor ini berfungsi sebagai saklar elektrik yang diaktifkan oleh MCB untuk menghubungkan beban fasa R, S, dan T ke sumber catu daya 2.

Dalam tahap pengembangan perangkat keras (hardware), yang selanjutnya akan dirancang sebuah rangkaian elektronika menggunakan aplikasi Fritzing. Rangkaian ini akan mengintegrasikan modul NodeMCU ESP8266 dengan sensor PZEM-004T dan Modul Relay 2 Channel.



Gambar 3. Rangkaian alat monitoring dan kontrol

Tahapan akhir dari perancangan perangkat keras (Hardware) adalah menggabungkan rangkaian sumber catu daya dan alat monitoring dan kontrol.



Gambar 4. Rangkaian Perancangan

Rangkaian Perancangan ini berfungsi sebagai sistem monitoring dan proteksi listrik 3 fasa yang lengkap, mampu memantau parameter listrik secara real-time dan mengontrol dua sumber catu daya (dua sumber catu daya listrik 3 fasa) secara otomatis.

2.2 Perancangan Perangkat Lunak (Software)

Dalam tahap perancangan perangkat lunak, akan dikembangkan sebuah antarmuka pengguna (UI) untuk monitoring sistem listrik menggunakan aplikasi Blynk. Tampilan monitoring ini akan menyajikan data parameter listrik secara real-time dan memungkinkan pengguna untuk mengontrol kontaktor dari jarak jauh.



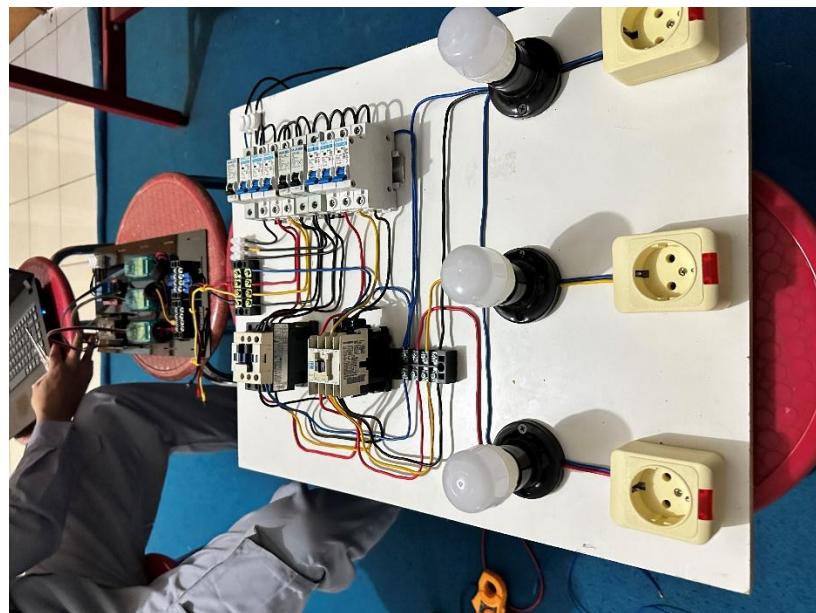
Gambar 5. Tampilan Monitoring menggunakan Blynk

Tampilan monitoring ini memberikan informasi real-time mengenai kondisi listrik pada dua trafo, kemungkinan besar trafo utama (Trafo 1) dan trafo cadangan (Trafo 2).

- Indikator Fasa (R, S, T), lingkaran-lingkaran ini kemungkinan menunjukkan status setiap fasa. Warna hijau mungkin berarti fasa tersebut aktif/normal.
- Tegangan Fasa, menampilkan tegangan masing-masing fasa (R, S, T) pada kedua trafo. Dalam gambar ini, semua tegangan terbaca 230.2V, yang normal untuk listrik di Indonesia.
- Beban (Ampere), menunjukkan arus listrik yang mengalir pada masing-masing fasa. Nilai-nilai ini sangat rendah (0.03A - 0.04A), mengindikasikan beban yang sangat ringan atau mungkin tidak ada beban sama sekali.
- Power dan Energy:
- Power (Watt), menunjukkan daya aktif yang digunakan saat ini. 0W menunjukkan tidak ada daya yang dikonsumsi, kemungkinan karena beban sangat kecil atau tidak ada.
- Energy, menunjukkan total energi yang telah digunakan nilainya sangat kecil (0.002), konsisten dengan daya 0W.
- Power Faktor ini adalah rasio antara daya aktif (yang benar-benar digunakan) dan daya semu (yang disuplai). Nilai 0.05 sangat rendah, menunjukkan kemungkinan beban yang sangat reaktif (misalnya, banyak motor atau kapasitor) atau kesalahan pengukuran jika memang tidak ada beban.
- Trafo 1 & 2, menunjukkan status masing-masing trafo. Warna biru mungkin menunjukkan trafo tersebut aktif atau sedang digunakan.

3. Results and discussion

Pada tahap ini adalah untuk mewujudkan desain perangkat keras dan perangkat lunak yang telah dikembangkan sebelumnya menjadi sebuah rangkaian fungsional. Pada tahap ini, fokus utama adalah mengintegrasikan seluruh komponen dan subsistem yang telah dirancang untuk menciptakan sebuah alat monitoring dan proteksi gangguan fasa pada jaringan distribusi listrik tiga fasa yang utuh dan dapat diuji coba.



Gambar 6. Implementasi Rangkaian

Dilakukan pengujian pengukuran tegangan dan arus dengan memberikan variasi tegangan menggunakan AC regulator. AC regulator yang digunakan dalam pengujian ini adalah LabVolt Series by Festo Didactic - Power Supply Regulation.



Gambar 7. Pengujian Hasil Rancangan

3.1. Pengujian Sensor PZEM-004T

Untuk mengetahui tingkat akurasi atau nilai error dari sensor PZEM-004T, dilakukan perbandingan antara hasil pengukuran sensor dengan hasil pengukuran menggunakan Avometer yang ada di AC regulator sebagai referensi.

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Tegangan

No	Avometer (Volt)	PZEM-004T (Volt)	Error (%)
1	242	242.02	0.00826378
2	240	240.03	0.012498438
3	238	238.01	0.004201504
4	236	236.02	0.042354934
5	234	234.05	0.046986459
6	232	232.03	0.017238407
7	230	230.04	0.026080153
8	228	228.05	0.035075412
9	226	226.04	0.030963861
10	224	224.06	0.004464086
11	222	222.03	0.009008197
12	220	220.04	0.004545248
13	218	218.05	0.022930521
14	216	216.04	0.004629415
15	214	214.04	0.009344921
16	212	212.04	0.009433072
17	210	210.02	0.014283674
18	208	208.04	0.004659695
19	206	206.04	0.024265955
20	204	204.05	0.044098192
Rata- Rata Eror (%)			0.218266099

Tabel 2. Data Hasil Pengujian Arus

No	Avometer (Ampere)	PZEM-004T (Ampere)	Error (%)
1	0,36	0,36	0
2	0,37	0,37	0
3	0,35	0,35	0
4	0,46	0,46	0
5	0,48	0,46	0,41
6	0,47	0,47	0
7	0,87	0,79	0,91
8	0,86	0,80	0,69
9	1,17	1,05	0,11
10	1,18	1,05	0,10
Rata rata Error			0,23

3.2. Pengujian Pembacaan Tegangan Alat Monitoring

Hasil pengujian keakuratan pembacaan tegangan alat monitoring dan proteksi gangguan fasa pada jaringan distribusi listrik tiga fasa dapat dilihat pada gambar 8

Form Pengujian Performance Alat								
Sensor PZEM-004T Fase R								
Percobaan 1			Percobaan 2			Percobaan 3		
Range Pengujian (Volt)	Nilai Tegangan Pembacaan Sensor (Volt)	Eror (%)	Range Pengujian (Volt)	Nilai Tegangan Pembacaan Sensor (Volt)	Eror (%)	Range Pengujian (Volt)	Nilai Tegangan Pembacaan Sensor (Volt)	Eror (%)
240	240.03	0.038498178	240	240.03	0.031249826	240	240.03	0.031249826
238	238.01	0.004010193	238	238.04	0.016803899	238	238.01	0.004010193
236	236.1	0.042545983	236	236.05	0.021381953	236	236.05	0.021381953
234	234.1	0.042545983	234	234.05	0.021381953	234	234.05	0.021381953
232	232.04	0.017284007	232	232.04	0.017284007	232	232.04	0.017284007
230	230.06	0.026080153	230	230.06	0.026080153	230	230.07	0.030425528
228	228.06	0.026080153	228	228.07	0.026080153	228	228.07	0.026080153
226	226.07	0.009043862	226	226.06	0.026080153	226	226.07	0.026080153
224	224.01	0.004646098	224	224.01	0.004646098	224	224.04	0.017853955
222	222.02	0.009008197	222	222.02	0.009008197	222	222.02	0.009008197

Gambar 8. Form uji keakuratan pembacaan tegangan

Berdasarkan data hasil pengujian keakuratan monitoring pembacaan tegangan, diperoleh tingkat error pembacaan tegangan pada masing-masing fase sebagai berikut:

- Fasa R: 0,215891142%
- Fasa S: 0,215383307%
- Fasa T: 0,216177303%

3.3. Pengujian Kontrol Otomatis Rancangan

Uji coba kecepatan alat dalam melakukan pemutusan dan penghubungan beban dengan sumber energi dilakukan menggunakan stopwatch sebagai alat ukur. Tujuannya adalah untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan alat dalam merespons perubahan kondisi sistem dan melakukan tindakan yang sesuai. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada gambar 9.

Form pengujian kecepatan deaktivasi alat										
Sensor PZEM-004T Fase R										
Percobaan 1			Percobaan 2			Percobaan 3				
Range Pengujian (volt)	Delay Maksimal	Kecepatan Pemutus Pada Pengujian (detik)	Range Pengujian (volt)	Delay Maksimal	Kecepatan Pemutus Pada Pengujian (detik)	Range Pengujian (volt)	Delay Maksimal	Kecepatan Pemutus Pada Pengujian (detik)		
242	1	0.91	242	0.08	1	0.82	0.08	242	1	0.96
220	5	2.61	220	5	2.68	2.32	220	5	2.28	2.72
238	5	2.66	238	5	2.64	2.46	238	5	2.46	2.58
236	1	0.95	236	0.08	1	0.93	0.07	236	1	0.95
Percobaan 4										
Range Pengujian (volt)	Delay Maksimal	Kecepatan Pemutus Pada Pengujian (detik)	Range Pengujian (volt)	Delay Maksimal	Kecepatan Pemutus Pada Pengujian (detik)	Range Pengujian (volt)	Delay Maksimal	Kecepatan Pemutus Pada Pengujian (detik)		
242	1	0.92	242	1	0.89	0.11	242	1	0.96	0.04
220	5	2.59	242	1	0.89	1.65	220	5	2.67	2.33
238	5	2.60	238	5	2.65	2.48	238	5	2.50	2.50
236	1	0.93	236	0.08	1	0.93	0.07	236	1	0.93

Gambar 9. Form uji kecepatan alat

Berdasarkan hasil pengujian, alat ini menunjukkan kemampuan yang sangat responsif dalam melakukan proteksi. Ketika terjadi gangguan fasa pada salah satu penyulang, alat mampu mendeteksi dan memutus aliran listrik dalam waktu kurang dari 1 detik. Selain itu, setelah gangguan teratasi dan kondisi penyulang kembali normal, alat dapat dengan cepat menghubungkan kembali aliran listrik dalam waktu kurang dari 5 detik.

4. Conclusion

Berdasarkan pada hasil rancang bangun dan data hasil pengujian penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa rancangan ini dapat diterapkan sebagai smart monitoring dan gagal fasa pada sistem jaringan distribusi listrik. Dimana tingkat error pengukuran penggunaan sensor PZEM-004T sebesar 0,22% untuk tegangan dan 0,23% untuk arus. Sedangkan untuk kinerja alat monitoring pembacaan parameter masing-masing fasa adalah Fasa R sebesar 0,22%, Fasa S: 0,22%, Fasa T: 0,22% serta sebagai kontrol ketika terjadi gangguan fasa pada salah satu penyulang, alat mampu mendeteksi dan memutus aliran listrik dalam waktu kurang dari 1 detik. Selain itu, setelah gangguan teratas dan kondisi penyulang kembali normal, alat dapat dengan cepat menghubungkan kembali aliran listrik dalam waktu kurang dari 5 detik.

References

- [1] S. Meutia and G. Salsabila, "Rancang Bangun Komunikasi Kwh Meter 3 Fasa Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan Wi-Fi," *e-Proceeding Eng.*, vol. 9, no. 5, p. 2335, 2022.
- [2] K. Kustori and R. A. P., "Rancangan Kontrol dan Monitoring Constant Current Regulator (CCR) Pada Precision Approach Path Indicator (PAPI) Menggunakan Android Berbasis Arduino di Bandar Udara Internasional Lombok," *J. Penelit.*, vol. 3, no. 3, pp. 13–20, 2018, doi: 10.46491/jp.v3e3.48.13-20.
- [3] H. Pasang, G. A. Nasser, S. Hay, and W. Zulkaidah, "Monitoring suplai Listrik Berbasis SMS Gateway Bandara Halu Oleo," *Pist. J. Teknol.*, vol. 7, no. 01, pp. 46–56, 2022, [Online]. Available: <http://piston-jt.uho.ac.id/Vol.7>.
- [4] Y. SUPRIHARTINI and T. TARYANA, "Sistem Penyimpanan Data Pemeliharaan Peralatan Listrik Berbasis Website," *Knowl. J. Inov. Has. Penelit. dan Pengemb.*, vol. 2, no. 1, pp. 31–43, 2022, doi: 10.51878/knowledge.v2i1.1004.
- [5] R. Budi and W. Suryono, "Monitoring Fasa Dan Daya Wemos D1 Mini Menggunakan Smartphone," *Pros. SNITP (Seminar ...)*, 2020, [Online]. Available: <https://ejournal.poltekbangsby.ac.id/index.php/SNITP/article/view/761>.
- [6] F. A. Iskandarianto *et al.*, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Tegangan, Arus, Dan Frekuensi Keluaran Generator 3 Fasa Pada Modul Mini Power Plant Departemen Teknik Instrumentas," *J. Nas. Apl. Mekatronika, Otomasi dan Robot Ind.*, vol. 1, no. 2, pp. 3–8, 2020, doi: 10.12962/j27213560.v1i2.7687.
- [7] L. P. Pratama and A. Nugroho, "Rancang Bangun Alat Monitoring Daya Pada Perangkat Hybrid Optimization Model For Electric Renewable (Homer) Berbasis Internet Of Things," *JTEV (Jurnal Tek. Elektro dan Vokasional)*, vol. 8, no. 2, p. 256, 2022, doi: 10.24036/jtev.v8i2.116654.
- [8] Z. Abidin and M. Baha'udin, "Monitoring Dan Proteksi Tegangan Panel 3 Fasa Dengan Menggunakan Sensor Tegangan ZMPT101B," pp. 1–8.
- [9] E. Wahyu Pratama and A. Kiswantono, "Transformasi Pemantauan Energi: Kontrol Daya Listrik 3 Fasa Dengan Antarmuka Grafis Pengguna (GUI) Secara Langsung," *Inter Tech*, vol. 1, no. 2, pp. 76–84, 2023, doi: 10.54732/i.v1i2.1058.
- [10] A. D. Dharmawan, L. Subiyanto, and A. T. Nugraha, "Implementasi Sistem Monitoring pada Panel Listrik," *Elektrise J. Sains dan Teknol. Elektro*, vol. 12, no. 02, pp. 82–91, 2022, doi: 10.47709/elektrise.v12i02.1852.
- [11] G. A. K. Maharani and T. B. Santosa, "Rancangan Alat Monitoring KWH Meter Untuk Mengetahui Penggunaan Daya Listrik Bulanan Pada Konsesi Airlines di Terminal Bandar Udara Sultan Babullah Ternate," *J. Airpt. Technol.*, 2019.
- [12] S. Hariyadi, H. Hartono, R. I.S., S. Setiyo, and S. Julaihah, "Sistem Kontrol Dan Monitoring Aliran Daya Listrik Pada Jaringan Distribusi Tegangan Rendah

- Menggunakan Mikrokontroler Berbasis IoT," *J. Penelit.*, vol. 8, no. 2, pp. 151–164, 2023, doi: 10.46491/jp.v8i2.1501.
- [13] S. Rahman and A. Aula, "Sistem Monitoring dan Proteksi pada Stop Kontak Berbasis IoT," *J. Edukasi dan Penelit. Inform.*, vol. 8, no. 1, p. 104, 2022, doi: 10.26418/jp.v8i1.48052.
- [14] Irvandi, "JUPITER (Jurnal Pendidikan Teknik Elektro) Perancangan Prototype Alat Monitoring Peralatan Listrik pada Rumah Tangga Berbasis IoT (Internet Of Things)," vol. 08, pp. 20–30, 2023.
- [15] W. S. Yanti and H. Hastuti, "Rancang Bangun Alat Pemisah Sampah Cerdas Berbasis Internet of Things," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 4, no. 2, pp. 538–546, 2023, doi: 10.24036/jtein.v4i2.420.
- [16] H. Abdillah and E. Elfizon, "Sistem Kendali Dan Monitoring Penerangan Jalan Umum Menggunakan Panel Surya Berbasis Internet Of Things (IOT)," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 4, no. 2, pp. 993–1004, 2023, doi: 10.24036/jtein.v4i2.542.
- [17] A. F. Ikhfa and M. Yuhendri, "Monitoring Pemakaian Energi Listrik Berbasis Internet of Things," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 3, no. 1, pp. 257–266, 2022, [Online]. Available: <http://jtein.ppj.unp.ac.id/index.php/JTEIN/article/view/233>.
- [18] M. F. Rozi, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Kecepatan dan Daya Listrik Pada Motor Dengan Menggunakan Mikrokontroler Berbasis Web," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 4, no. 2, pp. 473–481, 2023, doi: 10.24036/jtein.v4i2.330.