

SISTEM PENGAMAN DAN PEMANTAUAN GANGGUAN KEHILANGAN FASA BERBASIS IOT

Henri Niko Imba Prabowo ^{a,1,*}, Hartoyo ^{a,2}

^a Departement of Electrical and Electronic Engineering, Vocational Faculty, UNY

¹ henriniko6@gmail.com; ² hartoyo@uny.ac.id

* Corresponding Author

ARTICLE INFO

Article History

Received 12 March 2026

Revised 26 March 2026

Accepted 10 April 2026

Keywords

Monitoring;

IoT;

PZEM-004T;

Phase Loss.

ABSTRACT

The objectives of this final project are: (1) to design and develop an Internet of Things (IoT)-based phase loss protection and monitoring system capable of integrating voltage measurement data from each phase, (2) to evaluate the system's ability to detect phase loss faults and provide protective responses, and (3) to assess the system performance to displaying data and sending real-time notifications. The research was conducted through four main stages: (1) system requirements analysis based on field conditions, (2) system design and planning, (3) system development, including hardware and software implementation, and (4) system testing, consisting of functional and performance evaluations. The results show that the IoT-based phase loss protection and monitoring system was successfully designed and implemented. The system is capable of monitoring the voltage of each phase in real time, detecting phase loss conditions, and providing automatic protection through a relay as well as warning notifications through a buzzer. In addition, the system can transmit monitoring data and fault notifications via an IoT dashboard and the Telegram application, enabling remote monitoring and faster response to electrical disturbances. Testing results indicate that all system functions operated according to the design specifications and demonstrated good performance in fault detection and response. Therefore, the developed system is considered effective in improving the reliability and safety of three-phase electrical systems.

Tujuan dari pembuatan proyek ini adalah (1) merancang dan membangun sistem pengaman dan pemantauan gangguan kehilangan fasa berbasis *Internet of Things* (IoT) agar dapat mengintegrasikan data pengukuran tegangan pada setiap fasa, (2) mengetahui fungsi sistem dalam mendeteksi gangguan kehilangan fasa dan memberikan respon proteksi, (3) mengetahui kinerja sistem untuk menampilkan data serta mengirimkan notifikasi secara *real-time*. Tahapan penelitian meliputi: (1) analisis kebutuhan sistem berdasarkan kondisi lapangan, (2) perancangan dan design alat (3) pembuatan alat mencakup pembuatan *hardware* dan *software* sistem (4) pengujian sistem yang mencakup pengujian fungsional dan kinerja. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem pengaman dan pemantauan gangguan kehilangan fasa berbasis IoT berhasil dirancang dan diimplementasikan sesuai perancangan. Sistem mampu membaca tegangan pada masing-masing fasa secara *real-time*, mendeteksi kondisi kehilangan fasa,

serta memberikan respon proteksi otomatis melalui *relay* dan peringatan melalui *buzzer*. Selain itu, sistem dapat mengirimkan data dan notifikasi gangguan melalui *dashboard* IoT dan aplikasi Telegram, sehingga memudahkan pemantauan jarak jauh. Hasil pengujian menunjukkan seluruh sistem berfungsi dengan baik sesuai dengan perancangan serta memiliki kinerja yang baik dalam mendeteksi gangguan dan memberikan respon cepat, sehingga sistem dinyatakan efektif dalam meningkatkan keandalan dan keamanan sistem kelistrikan tiga fasa.

This is an open access article under the [CC-BY-SA](#) license.



1. Pendahuluan

Sistem tenaga listrik tiga fasa merupakan tulang punggung utama dalam distribusi energi listrik pada sektor industri, bangunan komersial, dan berbagai instalasi berskala besar. Sistem ini dipilih karena memiliki efisiensi yang tinggi dalam menyalurkan daya listrik, mampu melayani beban besar, serta menghasilkan rugi-rugi daya yang lebih kecil dibandingkan sistem satu fasa. Dengan konfigurasi tiga sumber tegangan yang berbeda sudut fasa sebesar 120° , sistem tiga fasa mampu menghasilkan aliran daya yang lebih stabil dan kontinu sehingga sangat sesuai untuk mendukung kebutuhan operasional industri yang memerlukan pasokan listrik secara berkesinambungan [1].

Banyak peralatan industri seperti motor induksi tiga fasa, pompa, kompresor, conveyor, dan mesin produksi sangat bergantung pada kestabilan serta keseimbangan tegangan pada setiap fasa. Keseimbangan tegangan antar fasa menjadi faktor penting karena berpengaruh langsung terhadap kinerja, efisiensi, dan umur pakai peralatan listrik. Apabila terjadi ketidakseimbangan tegangan atau gangguan pada salah satu fasa, maka arus pada fasa lainnya dapat meningkat sehingga menyebabkan penurunan efisiensi, peningkatan suhu operasi, getaran berlebih, hingga kerusakan komponen internal peralatan [2], [3].

Gangguan kehilangan fasa (*phase loss*) merupakan salah satu permasalahan yang umum dijumpai pada sistem tenaga listrik tiga fasa. Kondisi ini terjadi ketika salah satu penghantar fasa tidak lagi mampu menyuplai tegangan ke beban akibat terputus atau mengalami kegagalan fungsi. Penyebab terjadinya gangguan tersebut cukup beragam, antara lain kerusakan pada penghantar listrik, putusnya sekring (*fuse*), kegagalan kerja kontaktor, gangguan pada jaringan distribusi, maupun kerusakan pada perangkat proteksi yang digunakan dalam sistem kelistrikan.. Kehilangan fasa sering kali sulit dideteksi secara langsung oleh operator, terutama pada sistem yang masih menggunakan metode pemantauan konvensional. Akibatnya, peralatan tetap beroperasi dalam kondisi tidak normal sehingga meningkatkan risiko kerusakan peralatan, gangguan operasional, serta kerugian ekonomi akibat terhentinya proses produksi [4].

Keberadaan gangguan kehilangan fasa menjadi salah satu faktor yang dapat mengganggu performa dan umur pakai peralatan listrik tiga fasa. Saat salah satu fasa terputus, distribusi daya menjadi tidak seimbang sehingga dua fasa lainnya harus menanggung arus yang lebih besar. Kondisi tersebut memicu kenaikan suhu kerja, penurunan kemampuan menghasilkan torsi, serta peningkatan getaran mekanis pada motor. Dalam jangka panjang, paparan panas berlebih dapat merusak sistem isolasi lilitan dan menyebabkan kegagalan fungsi motor. Dampaknya tidak hanya berupa kerusakan peralatan, tetapi juga kerugian ekonomi akibat penghentian proses operasional dan tingginya biaya perbaikan. Oleh karena itu, diperlukan sistem yang mampu mendeteksi gangguan secara cepat dan memberikan tindakan proteksi secara otomatis sebelum terjadi kerusakan yang lebih serius [5].

Berdasarkan hasil observasi di PLN ULP Wonogiri, masih terdapat sejumlah permasalahan yang berpengaruh terhadap keandalan sistem tenaga listrik tiga fasa. Salah satu permasalahan yang ditemukan adalah kerusakan pada peralatan listrik, terutama motor induksi tiga fasa, yang disebabkan oleh gangguan kehilangan fasa yang tidak segera terdeteksi. Selain itu, proses identifikasi gangguan masih menjadi kendala karena operator sering mengalami kesulitan dalam

menentukan fasa yang mengalami masalah, sehingga waktu penanganan menjadi lebih lama. Permasalahan lainnya adalah sistem pemantauan yang masih menggunakan alat ukur konvensional, sehingga informasi kondisi kelistrikan hanya dapat diperoleh secara langsung di lokasi panel. Keterbatasan tersebut menyebabkan proses pemantauan tidak dapat dilakukan secara jarak jauh maupun real-time. Oleh karena itu, sistem monitoring dan proteksi yang digunakan saat ini dinilai belum optimal dalam hal kecepatan deteksi, kemudahan akses informasi, serta efektivitas penanganan gangguan. [4].

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) telah mendorong lahirnya berbagai inovasi dalam bidang monitoring dan proteksi sistem kelistrikan. Pemanfaatan teknologi ini memungkinkan proses pemantauan parameter listrik dilakukan secara jarak jauh dan real-time sehingga pengawasan terhadap kondisi sistem menjadi lebih efektif. Salah satu penelitian terdahulu mengenai sistem monitoring dan proteksi keseimbangan beban tiga fasa pada jaringan distribusi tegangan rendah berbasis IoT menunjukkan bahwa teknologi IoT dapat digunakan untuk mengukur parameter listrik seperti tegangan, arus, dan daya secara berkelanjutan serta mendukung pengoperasian perangkat proteksi berupa relay dan kontaktor. Meskipun demikian, penelitian tersebut lebih menitikberatkan pada analisis ketidakseimbangan beban antar fasa dan belum secara khusus mengkaji deteksi maupun penanganan gangguan kehilangan fasa (*phase loss*). [6].

Penelitian lain yang mengembangkan sistem proteksi tegangan lebih (*over voltage*) dan tegangan kurang (*under voltage*) berbasis IoT telah menunjukkan kemampuan dalam melakukan pemantauan kondisi kelistrikan secara real-time serta memberikan respons proteksi terhadap perubahan tegangan. Meskipun demikian, implementasi sistem tersebut masih terbatas pada jaringan listrik satu fasa sehingga belum mampu mengakomodasi kebutuhan pemantauan dan proteksi pada sistem tiga fasa. Selain itu, penelitian tersebut tidak mencakup mekanisme deteksi gangguan kehilangan fasa (*phase loss*), yang merupakan salah satu permasalahan penting pada instalasi tenaga listrik tiga fasa. [7]. Penelitian juga dilakukan terkait perancangan sistem pengaduan gangguan hilang fasa pada Panel Hubung Tegangan Rendah (PHBTR) berbasis IoT menunjukkan bahwa teknologi IoT dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi kondisi kehilangan fasa serta menyampaikan informasi gangguan kepada pengguna secara real-time. Sistem tersebut mampu meningkatkan kecepatan penyampaian informasi sehingga proses identifikasi gangguan dapat dilakukan lebih cepat. Namun, fungsi yang dikembangkan masih berfokus pada aspek monitoring dan pelaporan gangguan, tanpa dilengkapi fitur proteksi otomatis yang dapat melakukan tindakan pengamanan secara langsung ketika gangguan kehilangan fasa terdeteksi. [8].

Penelitian lain yang memanfaatkan Telegram sebagai media notifikasi gangguan telah mampu mengirim informasi kondisi hilang fasa secara real-time yang dilengkapi dengan fitur lokasi gangguan berbasis GPS. Meskipun demikian, sistem tersebut belum mampu melakukan tindakan proteksi otomatis untuk memutus beban ketika terjadi gangguan. Di sisi lain, penelitian *The Novel IoT-Enabled Protection for Three Phase Induction Motor* menunjukkan bahwa integrasi IoT dapat meningkatkan sistem proteksi motor induksi tiga fasa melalui monitoring dan notifikasi gangguan secara daring. Namun penelitian tersebut hanya berfokus pada perlindungan motor dan belum membahas kehilangan fasa pada sistem distribusi tenaga listrik secara umum [9].

Berdasarkan hasil kajian terhadap penelitian-penelitian sebelumnya, diketahui bahwa sebagian besar pengembangan sistem masih menitikberatkan pada aspek monitoring atau proteksi secara terpisah. Integrasi antara pemantauan parameter listrik secara real-time, deteksi gangguan kehilangan fasa, mekanisme proteksi otomatis, tampilan informasi lokal, platform IoT, serta notifikasi melalui Telegram masih jarang ditemukan dalam satu kesatuan sistem. Kondisi tersebut menunjukkan adanya peluang pengembangan penelitian untuk menghasilkan sistem yang lebih komprehensif, sehingga mampu meningkatkan efektivitas pemantauan, mempercepat respons terhadap gangguan, serta meningkatkan keandalan dan keamanan instalasi listrik tiga fasa.

Penelitian ini terletak pada integrasi teknologi mikrokontroler ESP32, sensor PZEM-004T, LCD 20×4, buzzer, relay module, dashboard IoT, dan aplikasi Telegram dalam satu sistem monitoring dan proteksi kehilangan fasa. Sistem yang dikembangkan tidak hanya mampu melakukan pemantauan tegangan secara real-time, tetapi juga dapat mengidentifikasi secara spesifik fasa yang mengalami gangguan, menampilkan informasi secara lokal maupun jarak jauh, serta memberikan

respons proteksi secara otomatis.

Selain itu, kebaruan dari penelitian ini adalah pengembangan sistem pengaman dan pemantauan gangguan kehilangan fasa berbasis IoT yang mengintegrasikan fungsi monitoring, proteksi, alarm, dan notifikasi dalam satu platform. Sistem mampu mendeteksi kehilangan fasa pada fasa R, S, maupun T secara otomatis, mengaktifkan buzzer sebagai alarm lokal, memutus beban melalui relay sebagai tindakan proteksi, serta mengirimkan notifikasi melalui Telegram yang memuat informasi spesifik mengenai fasa yang mengalami gangguan.

Penelitian ini berkontribusi menghasilkan dan menguji sistem monitoring serta proteksi gangguan kehilangan fasa berbasis IoT yang mampu meningkatkan kecepatan deteksi gangguan, mempermudah proses identifikasi fasa yang bermasalah, memberikan proteksi otomatis terhadap peralatan listrik, serta menyediakan fasilitas monitoring real-time dan notifikasi jarak jauh. Melalui pengembangan sistem ini, diharapkan tercipta solusi yang mampu meningkatkan keandalan, keamanan, dan efektivitas pengoperasian sistem tenaga listrik tiga fasa. Selain memberikan manfaat praktis dalam proses monitoring dan proteksi gangguan, hasil penelitian ini juga dapat menjadi acuan bagi penelitian dan pengembangan lebih lanjut di bidang teknologi monitoring serta proteksi kelistrikan berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk mendukung sistem kelistrikan yang lebih cerdas dan responsif di masa depan.

2. Pendekatan Pemecahan Masalah

2.1 Tegangan Listrik 3 Fasa

Sistem tegangan listrik tiga fasa merupakan sistem distribusi tenaga listrik yang menggunakan tiga sumber tegangan sinusoidal dengan perbedaan sudut fasa 120° . Sistem ini memiliki efisiensi penyaluran daya yang lebih tinggi, rugi-rugi yang lebih kecil, serta mampu melayani beban besar secara kontinu sehingga banyak digunakan pada sektor industri dan komersial. Kinerja sistem tiga fasa sangat dipengaruhi oleh keseimbangan tegangan dan beban pada setiap fasa. Ketidakseimbangan atau gangguan pada salah satu fasa dapat menyebabkan penurunan efisiensi dan kerusakan peralatan listrik [10].

2.2 Gangguan Hilang Fasa

Gangguan hilang fasa merupakan kondisi ketika salah satu fasa pada sistem tiga fasa kehilangan suplai tegangan akibat putusnya penghantar, kerusakan fuse, kontaktor, atau gangguan jaringan distribusi. Kondisi ini menyebabkan ketidakseimbangan tegangan dan arus yang dapat mengakibatkan overheating, penurunan performa, serta kerusakan pada motor induksi dan peralatan listrik lainnya [11]. Oleh karena itu, diperlukan sistem monitoring dan proteksi yang mampu mendeteksi gangguan hilang fasa secara cepat dan akurat.

2.3 Sistem Monitoring Berbasis IoT

Sistem monitoring merupakan suatu sistem yang berfungsi untuk memantau, mengumpulkan, dan menganalisis kondisi suatu objek atau proses secara berkala maupun real-time. Dalam sistem tenaga listrik, monitoring digunakan untuk mengawasi parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, daya, dan frekuensi guna memastikan sistem beroperasi secara normal, aman, dan andal. Selain itu, sistem monitoring memungkinkan deteksi dini terhadap gangguan sehingga tindakan perbaikan dapat dilakukan lebih cepat untuk mengurangi risiko kerusakan peralatan dan gangguan operasional [12]. Data hasil pengukuran dapat dikirim dan disimpan pada server atau dashboard sehingga memungkinkan proses pemantauan dilakukan secara jarak jauh melalui jaringan internet. Teknologi IoT memberikan kemudahan bagi pengguna untuk mengakses informasi kondisi sistem secara real-time tanpa harus berada di lokasi instalasi [13].

2.4 Sistem Proteksi

Sistem proteksi merupakan bagian penting dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi mendeteksi kondisi abnormal dan memberikan tindakan pengamanan untuk mencegah kerusakan peralatan maupun gangguan yang lebih luas. Pada sistem tiga fasa, proteksi diperlukan untuk

mendeteksi gangguan seperti kehilangan fasa, ketidakseimbangan tegangan, dan arus berlebih [14]. Integrasi sistem proteksi dengan sensor, mikrokontroler, dan teknologi IoT memungkinkan proses deteksi dan respon gangguan dilakukan secara otomatis dan lebih cepat dibandingkan sistem konvensional.

2.5 ESP32 dan Sensor PZEM-004T

ESP32 merupakan mikrokontroler yang telah dilengkapi dengan konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth terintegrasi, sehingga banyak digunakan dalam pengembangan sistem Internet of Things (IoT). Perangkat ini memiliki kemampuan pemrosesan data yang baik, mendukung berbagai antarmuka komunikasi, serta memiliki konsumsi daya yang relatif rendah, sehingga cocok digunakan untuk aplikasi monitoring dan kontrol jarak jauh secara real-time. ESP32 mampu menghubungkan sensor dan perangkat keluaran dengan platform IoT untuk mendukung pertukaran data yang cepat dan efisien melalui jaringan internet [15]. Pada penelitian ini, ESP32 berperan sebagai pusat pengendali yang bertugas mengolah data hasil pembacaan sensor, menjalankan logika sistem, serta mengirimkan informasi ke dashboard IoT dan Telegram untuk keperluan monitoring dan notifikasi gangguan secara real-time. Sedangkan sensor PZEM-004T digunakan untuk mengukur parameter kelistrikan, seperti tegangan, arus, dan daya, dengan tingkat akurasi yang baik serta mendukung komunikasi serial yang memudahkan integrasi dengan mikrokontroler.

2.6 Dashboard IoT dan Telegram

Dashboard IoT berfungsi sebagai media visualisasi data hasil monitoring yang menampilkan informasi parameter kelistrikan secara real-time melalui jaringan internet. Data yang dikirim oleh ESP32 ditampilkan dalam bentuk tabel, grafik, maupun indikator status sehingga memudahkan pengguna dalam memantau kondisi sistem dan mendeteksi gangguan secara cepat, selain meningkatkan kemudahan akses informasi, dashboard juga mendukung pemantauan jarak jauh sehingga pengguna dapat mengawasi kondisi sistem kapan saja dan dari mana saja selama terhubung ke internet [15]. Penelitian ini menggunakan aplikasi Telegram sebagai media notifikasi untuk mengirimkan informasi gangguan secara otomatis kepada pengguna sehingga proses penanganan dapat dilakukan lebih cepat.

3. Method

Penelitian ini menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) dengan model ADDIE yang terdiri atas tahap Analysis, Design, Development, Implementation, dan Evaluation sebagai pedoman dalam proses pengembangan sistem. Pendekatan tersebut dipilih karena memungkinkan peneliti tidak hanya menghasilkan suatu produk, tetapi juga melakukan serangkaian pengujian dan evaluasi untuk memastikan bahwa sistem yang dikembangkan mampu bekerja secara optimal sesuai kebutuhan pengguna dan tujuan penelitian.

Pemanfaatan model ADDIE memberikan alur pengembangan yang terstruktur sehingga setiap tahapan dapat dilaksanakan secara sistematis. Proses diawali dengan tahap analisis untuk mengkaji berbagai permasalahan yang terdapat pada instalasi listrik tiga fasa, terutama gangguan kehilangan fasa yang sering menimbulkan kerusakan peralatan akibat keterlambatan deteksi maupun penanganan. Pada tahap ini juga dilakukan identifikasi kebutuhan sistem, baik dari aspek perangkat keras maupun perangkat lunak, sebagai dasar dalam penyusunan rancangan sistem yang akan dikembangkan.

Hasil dari penelitian ini adalah sebuah sistem monitoring dan proteksi gangguan hilang fasa berbasis Internet of Things (IoT) yang terintegrasi. Sistem dirancang untuk melakukan pemantauan tegangan pada setiap fasa secara berkelanjutan, mengenali kondisi kehilangan fasa secara otomatis, serta memberikan respons proteksi ketika gangguan terdeteksi. Selain itu, sistem mampu menyampaikan informasi kondisi kelistrikan melalui alarm lokal berupa buzzer, mengendalikan relay sebagai mekanisme pengamanan, dan mengirimkan data monitoring maupun notifikasi gangguan ke dashboard IoT serta aplikasi Telegram sehingga pengguna dapat melakukan pemantauan dari lokasi yang berbeda secara real-time. Alur tahapan penelitian yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Fig 1.

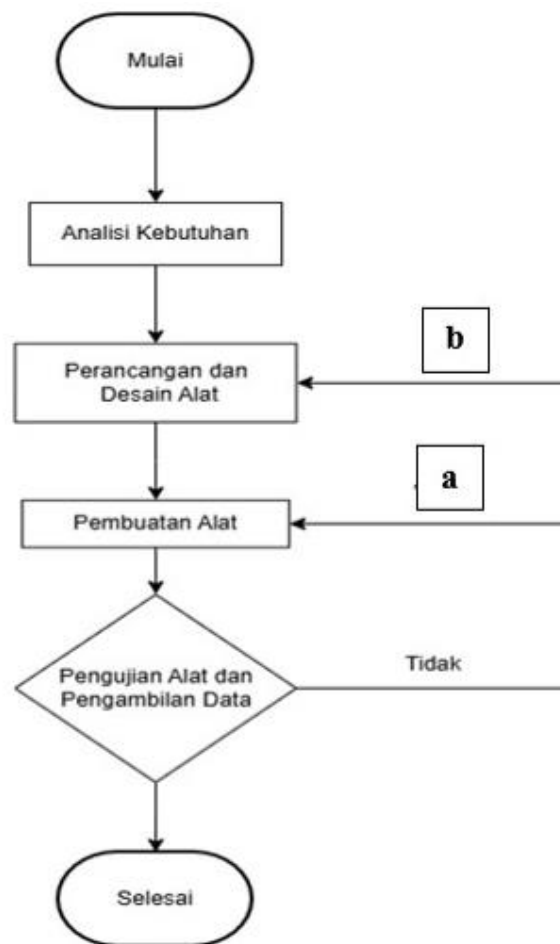


Fig. 1. Diagram Alir Penelitian

Pengembangan sistem pada penelitian ini dilatarbelakangi oleh masih tingginya potensi terjadinya gangguan kehilangan fasa (phase loss) pada jaringan listrik tiga fasa. Gangguan tersebut dapat menimbulkan ketidakseimbangan sistem, menurunkan keandalan operasi, serta berpotensi menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik. Selain itu, proses pemantauan yang masih dilakukan secara manual sering mengakibatkan keterlambatan dalam mendeteksi dan menangani gangguan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dirancang sebuah sistem monitoring dan proteksi berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu melakukan pemantauan kondisi kelistrikan secara real-time, mendeteksi kehilangan fasa secara otomatis, serta memberikan peringatan dan tindakan proteksi secara cepat. Sistem yang dikembangkan memanfaatkan sensor PZEM-004T untuk mengukur tegangan pada setiap fasa, ESP32 sebagai unit pemrosesan utama, relay sebagai perangkat proteksi, buzzer sebagai alarm lokal, serta dashboard IoT dan Telegram sebagai sarana pemantauan dan notifikasi jarak jauh. Hasil identifikasi kebutuhan ini kemudian digunakan sebagai acuan dalam menentukan spesifikasi dan rancangan sistem yang akan direalisasikan.

. Berdasarkan diagram alur tersebut, beberapa langkah yang akan dilaksanakan pada penelitian Proyek Akhir dijabarkan sebagai berikut:

3.1 Analisis Kebutuhan

Tahap analisis dilakukan untuk mengidentifikasi berbagai permasalahan yang terdapat pada sistem tenaga listrik tiga fasa melalui kegiatan observasi lapangan dan kajian literatur. Hasil analisis menunjukkan bahwa gangguan kehilangan fasa (phase loss) masih menjadi salah satu permasalahan utama yang dapat menyebabkan penurunan kinerja bahkan kerusakan pada motor induksi tiga fasa. Selain itu, proses identifikasi gangguan oleh operator sering memerlukan waktu yang cukup lama karena sulit menentukan fasa yang mengalami masalah secara cepat dan akurat. Sistem pemantauan yang digunakan juga masih bersifat konvensional, sehingga pengawasan kondisi kelistrikan harus

dilakukan secara langsung di lokasi dan belum mendukung monitoring jarak jauh maupun pemantauan real-time. Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan pengembangan sistem monitoring dan proteksi berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu melakukan deteksi gangguan secara otomatis, memberikan informasi kondisi setiap fasa secara real-time, serta meningkatkan kecepatan respons dalam penanganan gangguan.

Analisis kebutuhan yang bertujuan untuk menentukan kebutuhan sistem yang akan dikembangkan. Pada tahap ini telah dilakukan kajian terhadap gangguan pada sistem listrik tiga fasa di BAB II Landasan Teori yang juga didukung Penelitian Terdahulu, khususnya terkait kehilangan fasa (phase loss), serta penentuan parameter yang akan dimonitor yaitu tegangan pada fasa R, S, dan T. Secara fungsional sistem harus mampu:

- Memonitor tegangan tiga fasa (R, S, dan T) secara real-time.
- Mendeteksi gangguan kehilangan fasa (phase loss) pada salah satu atau lebih fasa.
- Menampilkan nilai tegangan dan status kondisi fasa pada LCD 20x4.
- Mengirim data monitoring ke dashboard IoT secara online.
- Mengirim notifikasi peringatan melalui Telegram saat terjadi gangguan.
- Mengaktifkan buzzer sebagai alarm lokal ketika kehilangan fasa terdeteksi.
- Mengendalikan relay untuk memutus sistem proteksi (MCB) saat terjadi gangguan.
- Menyediakan tombol reset alarm setelah kondisi gangguan ditangani.

Berdasarkan analisis kebutuhan tersebut, ditentukan kebutuhan perangkat keras berupa ESP32, sensor PZEM-004T, relay module, buzzer, LCD 20x4, pilot lamp, dan power supply. Selain itu, dibutuhkan perangkat lunak berupa Arduino IDE, dashboard IoT, dan Telegram sebagai media monitoring dan notifikasi gangguan.

3.2 Design dan Perancangan

Perancangan dan desain alat yang bertujuan untuk menyusun rancangan sistem secara menyeluruh. Pada tahap ini dilakukan perancangan rangkaian elektronik, penyusunan arsitektur sistem yang terdiri dari perangkat lunak dan perangkat keras. Selain itu, dilakukan juga perancangan tampilan antarmuka pada LCD dan dashboard, serta penentuan logika sistem dalam mendeteksi gangguan kehilangan fasa. Tahap ini menghasilkan desain sistem yang akan direalisasikan pada tahap berikutnya.

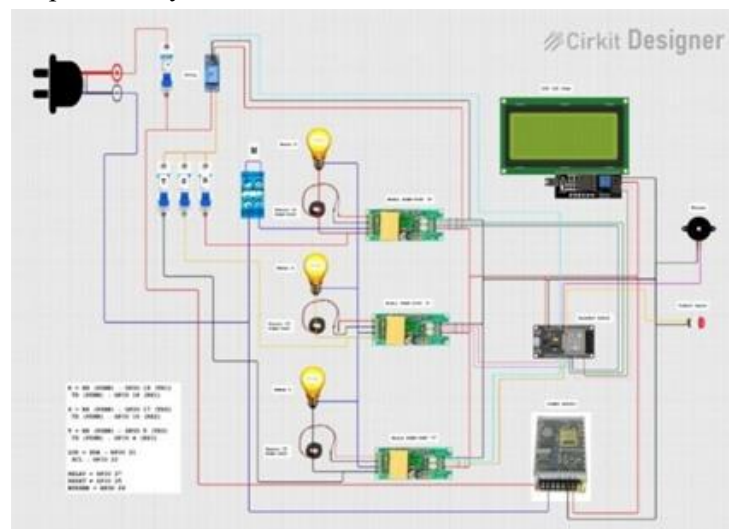


Fig. 2. Desain Elektrikal

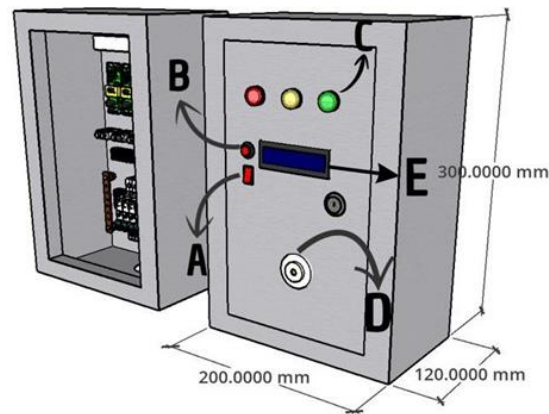


Fig. 3. Desain Mekanikal

Tahap desain dilakukan dengan menyusun rancangan sistem monitoring dan proteksi gangguan hilang fasa berbasis Internet of Things (IoT). Pada tahap ini, sensor PZEM-004T ditempatkan pada setiap fasa (R, S, dan T) untuk mengukur nilai tegangan secara kontinu. Data hasil pengukuran kemudian dikirimkan ke mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pemrosesan untuk dianalisis dan dibandingkan dengan parameter yang telah ditetapkan.

Sistem dirancang untuk mendeteksi kondisi hilang fasa ketika salah satu fasa menunjukkan nilai tegangan 0 V atau berada di bawah batas minimum yang ditentukan. Setelah kondisi tersebut teridentifikasi, ESP32 secara otomatis menjalankan mekanisme proteksi dengan mengaktifkan relay untuk memutus beban dan menyalakan buzzer sebagai alarm lokal. Selain itu, informasi gangguan beserta data pengukuran tegangan dikirim melalui jaringan internet ke dashboard IoT dan Telegram sehingga pengguna dapat memantau kondisi sistem serta menerima notifikasi gangguan secara real-time dari lokasi yang berbeda.

3.3 Pembuatan Sistem

Pembuatan sistem yang merupakan proses implementasi dari desain yang telah dibuat. Pada tahap ini dilakukan perakitan perangkat keras sesuai dengan rancangan, serta pemrograman Mikrokontroler menggunakan bahasa C++. Selanjutnya, dilakukan integrasi antara sistem perangkat keras dengan platform IoT dan aplikasi Telegram sebagai media monitoring dan notifikasi. Hasil dari tahap ini berupa prototype sistem monitoring dan proteksi gangguan kehilangan fasa berbasis IoT. Program yang dibuat memiliki beberapa fungsi utama, yaitu:

- Pembacaan tegangan pada setiap fasa menggunakan sensor PZEM-004T.
- Pengolahan data dan identifikasi kondisi hilang fasa.
- Pengendalian relay dan buzzer sebagai sistem proteksi.
- Pengiriman data monitoring ke dashboard IoT.
- Pengiriman notifikasi gangguan melalui Telegram.
- Penampilan informasi tegangan dan status sistem pada LCD 20×4.

3.4 Pengujian dan Pengambilan Data

pengujian dan pengambilan data, yang bertujuan untuk mengetahui kinerja dan fungsi sistem yang telah dikembangkan. Pengujian dilakukan dalam dua tahap, yaitu pengujian fungsional untuk memastikan setiap komponen bekerja sesuai dengan fungsinya, serta pengujian kinerja untuk mengevaluasi akurasi sistem monitoring, respons sistem proteksi, dan kecepatan pengiriman notifikasi. Pada tahap ini juga dilakukan pengambilan data tegangan pada berbagai kondisi fasa sebagai bahan analisis lebih lanjut. Berdasarkan diagram alir tersebut, alur perbaikan sistem saat terjadi kegagalan pengujian dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Jika pada tahap pengujian alat dan pengambilan data tidak berhasil, maka proses tidak

langsung kembali ke perancangan, tetapi dialihkan terlebih dahulu ke tahap pembuatan alat. Hal ini menunjukkan bahwa kegagalan awal diasumsikan berasal dari kesalahan implementasi, seperti perakitan, wiring, atau pemrograman, sehingga perlu dilakukan perbaikan atau pembuatan ulang alat.

- Jika setelah dilakukan pembuatan ulang alat dan diuji kembali masih mengalami kegagalan, maka proses selanjutnya diarahkan kembali ke tahap perancangan dan desain alat. Ini berarti masalah tidak hanya pada tahap implementasi, tetapi kemungkinan berasal dari kesalahan konsep desain, pemilihan metode, atau spesifikasi sistem, sehingga perlu dilakukan perancangan ulang secara menyeluruh.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Perancangan Sistem

Penelitian ini menerapkan metode Research and Development (R&D) dengan pendekatan ADDI. Produk yang dihasilkan berupa sistem monitoring dan proteksi gangguan hilang fasa yang terdiri dari mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali, sensor PZEM-004T untuk mengukur tegangan pada setiap fasa, relay module sebagai perangkat proteksi, buzzer sebagai alarm lokal, dan LCD 20×4 sebagai media tampilan. Selain itu, sistem dilengkapi dengan dashboard IoT dan Telegram yang memungkinkan pemantauan kondisi kelistrikan serta pengiriman notifikasi gangguan secara real-time dari jarak jauh.



Fig. 4. Realisasi Elektikal



Fig. 5. Realisasi Mekanikal

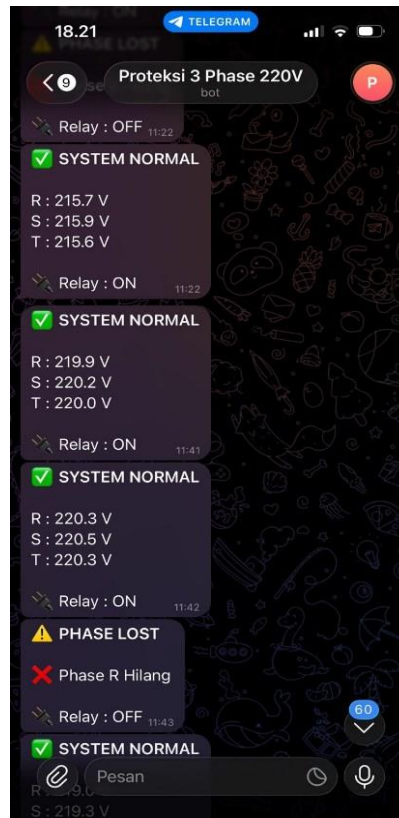


Fig. 6. Realisasi Perangkat Lunak

Sistem bekerja dengan membaca nilai tegangan pada fasa R, S, dan T secara kontinu menggunakan sensor PZEM-004T. Data hasil pembacaan kemudian diproses oleh ESP32 untuk menentukan kondisi sistem. Apabila salah satu fasa terdeteksi memiliki tegangan 0 Volt atau berada di bawah batas yang ditentukan, maka sistem mengidentifikasi kondisi tersebut sebagai gangguan hilang fasa. Selanjutnya ESP32 akan mengaktifkan buzzer, memutus relay sebagai tindakan proteksi, serta mengirimkan notifikasi melalui dashboard IoT dan Telegram.

4.2 Hasil Uji Fungsional

Pengujian fungsional dilakukan untuk memastikan seluruh komponen pada sistem monitoring dan proteksi gangguan hilang fasa berbasis IoT beroperasi sesuai dengan rancangan. Pengujian mencakup perangkat keras dan perangkat lunak yang terintegrasi, yaitu power supply, ESP32, sensor PZEM-004T, LCD 20×4, relay module, buzzer, dashboard IoT, dan Telegram. Hasil pengujian digunakan untuk memverifikasi fungsi masing-masing komponen sebagai tahap awal sebelum dilakukan pengujian kinerja sistem secara menyeluruh.

Table 1. Pengujian Sensor Sensor PZEM-004T

Pengujian Sensor Sensor PZEM-004T				
No	Komponen	Fungsi yang Diuji	Hasil Pengujian	Status
1	Power Supply 12V DC	Menyuplai daya ke seluruh komponen sistem	Tegangan keluaran stabil dan seluruh komponen aktif dengan baik	Berhasil

2	ESP32	Mengolah data sensor dan mengendalikan sistem	ESP32 dapat membaca data, mengolah data, dan mengirim data ke IoT	Berhasil
3	Sensor PZEM-004T Fasa R	Membaca tegangan fasa R	Nilai tegangan terbaca dan ditampilkan pada LCD serta dashboard	Berhasil
4	Sensor PZEM-004T Fasa S	Membaca tegangan fasa S	Nilai tegangan terbaca dan ditampilkan pada LCD serta dashboard	Berhasil
5	Sensor PZEM-004T Fasa T	Membaca tegangan fasa T	Nilai tegangan terbaca dan ditampilkan pada LCD serta dashboard	Berhasil
6	LCD 20×4	Menampilkan data tegangan dan status sistem	Data tegangan dan status gangguan tampil dengan baik	Berhasil
7	Dashboard IoT	Menampilkan data monitoring secara real-time	Data berhasil diterima dan ditampilkan secara real-time	Berhasil
8	Buzzer	Memberikan alarm saat terjadi gangguan	Buzzer aktif ketika terdeteksi hilang fasa	Berhasil
9	Relay Module	Memutus beban saat terjadi gangguan	Relay aktif dan memutus rangkaian sesuai program	Berhasil
10	Telegram Notification	Mengirim notifikasi gangguan kepada pengguna	Notifikasi berhasil terkirim saat gangguan terjadi	Berhasil

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel di atas, seluruh komponen sistem dapat beroperasi sesuai dengan fungsi yang direncanakan. Power supply mampu menyediakan tegangan yang stabil sehingga seluruh perangkat memperoleh catu daya yang cukup selama pengujian berlangsung. Mikrokontroler ESP32 berhasil menjalankan fungsi utama sebagai pusat pengendali sistem, yaitu menerima data dari sensor, melakukan pengolahan data, mengendalikan perangkat proteksi, serta mengirimkan data ke platform IoT.

Sensor PZEM-004T pada masing-masing fasa mampu membaca nilai tegangan dengan baik dan mengirimkan hasil pengukuran ke ESP32. Data yang diperoleh berhasil ditampilkan pada LCD 20×4 dan dashboard IoT secara real-time. Selain itu, sistem juga mampu mendeteksi kondisi hilang fasa yang ditandai dengan pembacaan tegangan sebesar 0 Volt pada salah satu fasa.

Ketika gangguan terdeteksi, buzzer berhasil memberikan peringatan suara sebagai alarm lokal, sedangkan relay module bekerja dengan memutus rangkaian sebagai bentuk proteksi otomatis. Pada saat yang sama, dashboard IoT dan aplikasi Telegram berhasil menerima informasi gangguan sehingga pengguna dapat mengetahui kondisi sistem secara langsung meskipun berada di lokasi yang berbeda.

Berdasarkan hasil pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa seluruh fungsi sistem berjalan sesuai dengan perancangan. Dengan demikian, sistem monitoring dan proteksi gangguan hilang fasa berbasis IoT dinyatakan layak untuk dilakukan pengujian kinerja lebih lanjut.

4.3 Hasil Uji Kinerja

Pengujian kinerja dilakukan untuk mengevaluasi performa sistem monitoring dan proteksi gangguan hilang fasa berbasis IoT yang telah dikembangkan. Aspek yang diuji meliputi akurasi sistem monitoring, kecepatan respons sistem proteksi, dan keberhasilan pengiriman notifikasi melalui Telegram. Hasil pengujian digunakan untuk menilai tingkat keandalan sistem dalam mendeteksi gangguan, melakukan tindakan proteksi, serta menyampaikan informasi kepada pengguna.

Pengujian akurasi monitoring dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan tegangan dari sensor PZEM-004T terhadap alat ukur referensi berupa multimeter digital. Pengukuran dilakukan pada masing-masing fasa (R, S, dan T) dalam beberapa kali pengujian untuk mengetahui tingkat kesalahan (error) dan konsistensi pembacaan sensor.

Table 2. Pengujian Sensor Sensor PZEM-004T

Pengujian Sensor Sensor PZEM-004T				
No	Fasa	Tegangan Referensi (V)	Tegangan Sensor (V)	Error (%)
1	R	220,4	220,1	0,14
2	R	221,0	220,8	0,09
3	S	219,8	220,0	0,09
4	S	220,7	220,5	0,09
5	T	221,3	221,0	0,14
6	T	220,6	220,4	0,09
Rata-rata				0,10

Berdasarkan hasil pengujian, sensor PZEM-004T memiliki rata-rata persentase error sebesar **0,1%**. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sensor mampu melakukan pengukuran tegangan dengan tingkat akurasi yang sangat baik dan masih berada jauh di bawah batas toleransi kesalahan pengukuran sebesar 5%. Dengan demikian, sensor PZEM-004T layak digunakan sebagai perangkat monitoring tegangan pada sistem listrik tiga fasa.

Pengujian kedua dilakukan pada sistem proteksi dilakukan dengan mensimulasikan kondisi hilang fasa pada masing-masing fasa (R, S, dan T). Parameter yang diamati adalah waktu yang dibutuhkan sistem sejak gangguan terjadi hingga relay melakukan pemutusan beban.

Table 3. Pengujian Sensor Sensor PZEM-004T

Pengujian Sensor Sensor PZEM-004T				
No	Fasa yang Diputus	Buzzer Aktif	Relay Bekerja	Delay (detik)
1	Fasa R	Ya	Ya	7,15
2	Fasa R	Ya	Ya	7,22
3	Fasa S	Ya	Ya	7,18
4	Fasa S	Ya	Ya	7,27
5	Fasa T	Ya	Ya	7,24
6	Fasa T	Ya	Ya	7,20
Rata-rata				7,21

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berhasil mendeteksi seluruh kondisi hilang fasa yang disimulasikan. Setelah gangguan terdeteksi, buzzer aktif sebagai alarm lokal dan relay bekerja memutus rangkaian secara otomatis. Rata-rata waktu respons yang diperoleh sebesar 7,21 detik. Waktu tersebut dipengaruhi oleh proses pembacaan sensor, pengolahan data oleh ESP32, serta proses eksekusi perintah proteksi. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan perlindungan otomatis terhadap gangguan hilang fasa sehingga dapat mengurangi risiko kerusakan peralatan listrik akibat operasi pada kondisi tidak normal.

Pengujian ketiga dilakukan pada Telegram untuk mengetahui tingkat keberhasilan pengiriman notifikasi ketika terjadi gangguan hilang fasa.

Table 4. Pengujian Sensor Sensor PZEM-004T

Pengujian Sensor Sensor PZEM-004T				
No	Kondisi Pengujian	Notifikasi Terkirim	Informasi Fasa	Status
1	Hilang Fasa R	Ya	Sesuai	Berhasil
2	Hilang Fasa R	Ya	Sesuai	Berhasil
3	Hilang Fasa S	Ya	Sesuai	Berhasil
4	Hilang Fasa S	Ya	Sesuai	Berhasil
5	Hilang Fasa T	Ya	Sesuai	Berhasil
6	Hilang Fasa T	Ya	Sesuai	Berhasil
Keberhasilan		6 dari 6		100%

Berdasarkan hasil pengujian, sistem berhasil mengirimkan notifikasi Telegram pada seluruh skenario gangguan yang diuji dengan tingkat keberhasilan 100%. Informasi yang dikirimkan meliputi status gangguan dan identitas fasa yang mengalami kehilangan tegangan. Keberhasilan pengiriman notifikasi menunjukkan bahwa integrasi ESP32 dengan Telegram berjalan dengan baik dan mampu mendukung sistem monitoring jarak jauh. Dengan adanya fitur ini, operator dapat mengetahui kondisi gangguan secara cepat tanpa harus berada di lokasi instalasi sehingga proses penanganan dapat dilakukan lebih efektif.

Berdasarkan seluruh hasil pengujian, sistem monitoring dan proteksi gangguan hilang fasa berbasis IoT menunjukkan kinerja yang baik. Sistem monitoring memiliki tingkat akurasi tinggi dengan rata-rata error 0,1%, sistem proteksi mampu mendeteksi dan merespons gangguan secara otomatis dengan rata-rata delay 7,21 detik, serta sistem notifikasi Telegram berhasil mengirimkan peringatan dengan tingkat keberhasilan 100%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan efektif untuk meningkatkan keandalan, keamanan, dan kemudahan monitoring pada sistem tenaga listrik tiga fasa.

5. Penutup

Berdasarkan hasil uji coba dan uraian pembahasan alat yang telah dilakukan dalam penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa:

Rancang bangun sistem pengaman dan pemantauan gangguan hilang fasa berhasil direalisasikan

menggunakan Mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali, sensor PZEM-004T sebagai pembaca parameter tegangan, serta dilengkapi dengan media output berupa LCD 20x4, buzzer, relay Module, dan platform IoT (Dashboard dan Telegram). Sistem mampu mendeteksi kondisi normal maupun gangguan hilang fasa dengan menampilkan nilai tegangan serta indikator 0 V pada fasa yang mengalami gangguan.

Hasil uji fungsional sistem menunjukkan bahwa seluruh komponen bekerja sesuai dengan perancangan. Power Supply mampu menyuplai tegangan secara stabil, Mikrokontroler ESP32 berfungsi normal dalam komunikasi dan pengolahan data, sensor PZEM-004T mampu membaca tegangan dan mendeteksi kehilangan fasa, LCD menampilkan data dengan baik, buzzer aktif saat gangguan, serta Dashboard dapat menampilkan data secara real-time. Dengan demikian, sistem dinyatakan berfungsi dengan baik dan sesuai tujuan penelitian.

Hasil uji kinerja sistem menunjukkan bahwa sistem monitoring memiliki tingkat akurasi yang tinggi dengan rata-rata persentase error sebesar 0,1%, jauh di bawah batas toleransi 5% berdasarkan standar IEC. Sistem proteksi juga bekerja dengan baik, ditandai dengan aktivasi buzzer dan pemutusan MCB melalui relay dengan rata-rata delay 7,21 detik. Selain itu, sistem notifikasi melalui Telegram berhasil mengirimkan peringatan secara konsisten pada kondisi gangguan.

References

- [1] I. L. Halim, *Pendahuluan Energi Dan Daya: Sistem Tenaga Listrik*. Nas Media Pustaka, 2025.
- [2] T. W. Nugroho, I. Mustaqim, dan A. S. J. Wardhana, "Studi kualitas daya listrik (power quality) di bangunan gedung xyz," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 13, no. 2, 2025.
- [3] S. T. Bambang Dwinanto dan M. T. D. Setiyono, *Model Mitigasi Harmonisa Fasa Tunggal Dengan Filter Aktif*. CV. AZKA PUSTAKA, 2026.
- [4] H. A. Rahman, "SIMULASI KOORDINASI SISTEM PROTEKSI JARINGAN TEGANGAN MENENGAH UNTUK MENGETAHUI LETAK GANGGUAN DENGAN MEMANFAATKAN MAPS BERBASIS ARDUINO MEGA 2560." undip, 2018.
- [5] Z. Hari, "Kesan komposisi dan mikrostruktur terhadap impedans dan kehilangan tenaga penumpas EMI Ferit MgZn dan NiZn." Universiti Putra Malaysia, 2000.
- [6] W. Yuniarto, I. Irman, S. Suparno, M. Diponegoro, dan E. Edi, "Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Kontrol Energi Listrik Pada Beban 3 Fasa Menggunakan ESP32 Berbasis Internet of Think (IoT)," *J. Poli-Teknologi*, vol. 22, no. 1, hal. 30–38, 2023.
- [7] M. A. Bin Mohamed Ayub, M. R. Shaharuddin, A. H. Hussian, A. N. Mok Hat, M. I. H. Muhammad Zalizan, dan W. R. Wan Shaaiddi, "Over Voltage and under Voltage Protection System Using IoT," in *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing, 2022, hal. 12009.
- [8] R. A. Putra, "Perancangan Aplikasi Layanan Pengaduan Customer Berbasis Web Menggunakan React JS: Studi Kasus pada PT Inovati F 78." Sekolah Tinggi Teknologi Terpadu Nurul Fikri, 2024.
- [9] M. Yousuf, T. Alsuwian, A. A. Amin, S. Fareed, dan M. Hamza, "IoT-based health monitoring and fault detection of industrial AC induction motor for efficient predictive maintenance," *Meas. Control*, vol. 57, no. 8, hal. 1146–1160, 2024.
- [10] K. G. S. M. Ismail, N. I. Suwono, R. Maulana, D. Fahrizal, S. Setiawan, dan Y. Muliawati, "Rancang Bangun Sistem Kontrol Motor 3 Phase Berbasis Iot," *J. Tek. Mek. Bandar Udar.*, vol. 2, no. 1, hal. 22–27, 2024.
- [11] I. Widiyantara, "Analisis Upaya Penanganan Gangguan Berulang di Gardu Ds 0123 Penyulang Renon." Pliteknik Negeri Bali, 2025.
- [12] L. O. Sari, M. F. E. Saputra, dan E. Safrianti, "Sistem Monitoring Arus Listrik Berbasis Internet of Things (IoT) pada Solar Panel di Laboratorium Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) UIN Suska Riau: Electric Current Monitoring System Based on IoT (Internet of Things) On Solar Panel In Solar Electric Power Plant (PLTS) Laboratory of UIN Suska

-
- Riau,” *MALCOM Indones. J. Mach. Learn. Comput. Sci.*, vol. 4, no. 1, hal. 205–211, 2024.
- [13] J. W. Fathoni, N. I. ER, dan I. W. Sukerayasa, “Implementasi Api Telegram Sebagai Antarmuka Manusia-Mesin Untuk Sistem Monitoring Dan Notifikasi Kondisi Real-Time Infrastruktur Publik,” *J. SPEKTRUM*, vol. 12, no. 3, hal. 12–20, 2025.
- [14] H. Anggara, “Simulasi Dan Monitoring Koordinasi Recloser Dan Sectionalizer Pada Sistem Proteksi Tenaga Listrik Jaringan Tegangan Menengah 20kv Berbasis Arduino Mega 2560 Dan Vtscada.” undip, 2018.
- [15] A. Azis dan S. Sujono, “Implementasi Mikrokontroler ESP32 Dan Sensor Kualitas Air Dalam Sistem Monitoring Lingkungan Berbasis Internet of Things,” *J. Manaj. Sist. Inf.*, vol. 5, no. 1, hal. 1–13, 2026.