

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Pelepasan Beban

Pelepasan beban merupakan suatu tindakan pelepasan beban yang terjadi dengan tujuan mengamankan unit pembangkit dari kemungkinan terjadinya pemadaman total. Hal ini disebabkan karena adanya beban lebih yang ditanggung pembangkit sehingga untuk mengembalikan kondisi semula diperlukan pelepasan dari beberapa beban tertentu. Hubungan antara “overload” dan frekuensi pada sistem pembangkit listrik bersifat berbanding terbalik, di mana kondisi “overload” yaitu ketika permintaan daya listrik melebihi pasokan daya mekanis generator secara langsung menyebabkan terjadinya penurunan frekuensi sistem (under-frequency). Fenomena ini terjadi karena kekurangan daya pada sistem diserap dari energi kinetik putaran rotor generator, sehingga laju putaran melambat sesuai dengan prinsip Hukum Ayunan Rotor (Swing Equation). Apabila penurunan frekuensi akibat overload tersebut tidak mampu dikompensasi oleh sistem kendali governor, maka skema proteksi pelepasan beban (Under-Frequency Load Shedding) akan aktif secara otomatis.

Jika penurunan frekuensi terus berlanjut hingga melewati batas toleransi aman, unit pembangkit akan mengalami tripping guna mencegah kerusakan mekanis yang lebih parah pada komponen turbin dan generator. Pelepasan beban secara otomatis merupakan tindakan melepaskan sebagian beban secara otomatis dengan tujuan menjaga frekuensi pada genset agar tetap stabil, ketika terjadi gangguan berupa drop frekuensi minimum pada genset, sistem akan bekerja dengan melepaskan beberapa beban sampai frekuensi pada genset kembali normal.

Load shedding merupakan proses pelepasan sebagian beban listrik secara otomatis maupun manual untuk menjaga kestabilan sistem tenaga listrik ketika terjadi gangguan atau kondisi operasi yang melebihi batas aman. Proses ini diawali dengan pemantauan parameter listrik, seperti arus, tegangan, dan frekuensi, menggunakan sensor yang terhubung dengan sistem kendali. Apabila salah satu parameter melebihi nilai setpoint yang telah ditentukan, mikrokontroler akan

mengolah data tersebut dan mengirimkan sinyal ke relay untuk memutus kontaktor pada kelompok beban yang diprioritaskan. Pelepasan beban dilakukan secara bertahap agar keseimbangan antara daya yang tersedia dan daya yang digunakan dapat dipertahankan, sehingga sistem tetap beroperasi secara stabil serta terhindar dari kerusakan peralatan maupun pemadaman total (blackout). Setelah proses load shedding selesai dilakukan, sistem tetap melakukan monitoring terhadap frekuensi untuk memastikan kondisi operasi telah kembali stabil. Frekuensi merupakan salah satu indikator keseimbangan antara daya pembangkit dan daya beban, sehingga nilai frekuensi yang kembali mendekati frekuensi nominal 50 Hz menunjukkan bahwa sistem telah berada pada kondisi normal.

2.1.2 MCB 3 Fasa

MCB digunakan sebagai pengaman terhadap beban lebih dan hubung singkat. Dalam MCB terdapat dua bagian yakni dwilogam untuk mengamankan beban lebih dan elektromagnetik untuk mengamankan arus hubung singkat. MCB dibuat dengan kutub tunggal untuk 1 fasa dan kutub banyak untuk 3 fasa. MCB mempunyai operasi kerja pemutusan yaitu secara thermis (bimetal) dan secara elektromagnetik. (Sahmul & Sumantri, 2023).



Gambar 2. 1 MCB 3 Fasa

2.1.3 CT (Current Transformer)

CT atau Current Transformer (transformator arus) adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur arus listrik pada sirkuit bertegangan tinggi dengan cara mengubah arus tinggi tersebut menjadi arus yang lebih kecil dan aman untuk peralatan pengukur atau proteksi. CT biasanya digunakan dalam sistem distribusi listrik untuk aplikasi pengukuran, proteksi, dan kontrol pada berbagai peralatan

listrik, terutama pada jaringan dengan arus besar (Tony Koerniawan et al., 2019).



Gambar 2. 2 CT (Current Transformator)

2.1.4 Push button

Push button merupakan komponen kontrol pada panel listrik yang berfungsi sebagai sakelar manual penyambung dan pemutus arus. Komponen ini memiliki dua kondisi kerja: *Normally Open* (NO) yang biasanya menggunakan tombol hijau untuk mengalirkan arus saat ditekan, serta *Normally Close* (NC) yang umumnya menggunakan tombol merah untuk memutuskan tegangan ketika diaktifkan (Adhimanata & Dhiya, 2024).



Gambar 2. 3 Push Button

2.1.5 Pilot lamp

Lampu indikator (pilot lamp) merupakan komponen visual yang berfungsi sebagai penanda status operasional suatu perangkat listrik. Dalam sistem instalasi, komponen ini diaplikasikan untuk mendeteksi dan mengonfirmasi keberadaan tegangan atau keaktifan fasa yang mengalir ke dalam peralatan tersebut (Maulana et al., 2024).



Gambar 2. 4 Pilot Lamp

2.1.6 Kontaktor

Kontaktor adalah alat elektronik yang dirancang untuk memudahkan sistem kerja dalam instalasi listrik atau perangkat terkait lainnya. Perangkat ini bekerja dengan prinsip induksi elektromagnetik, di mana kumparan dialiri arus listrik untuk menghasilkan kontak bantu NO (*Normally Open*) yang menutup dan NC (*Normally Closed*) yang membuka (Maulana et al., 2024).



Gambar 2. 5 Kontaktor

2.1.7 Relay DC

Relay merupakan sakelar elektrik berbasis komponen elektromekanikal yang terdiri dari dua bagian utama, yaitu elektromagnet (koil) dan mekanikal (kontak sakelar). Komponen ini bekerja menggunakan prinsip elektromagnetik untuk menggerakkan kontak sakelar, sehingga sinyal arus listrik yang kecil (*low power*) mampu mengendalikan atau mengalirkan arus listrik bertegangan lebih tinggi. Saat kumparan berinti besi di dalam *relay* dialiri arus, kumparan tersebut bertransformasi menjadi magnet yang menarik lengan kontak untuk menghubungkan sirkuit utama agar arus listrik dapat mengalir (Budiyanto et al.,

2020).



Gambar 2. 6 Relay DC

2.1.8 Arduino Mega

Arduino Mega 2560 merupakan papan mikrokontroler berdasarkan *ATmega2560 (datasheet)* yang diprogram menggunakan *software Arduino* dan dapat berjalan baik secara *online* maupun *offline*. Terdiri dari 54 pin *digital I/O*, 16 *input analog*, 4 UART, koneksi USB, *header ICSP*, tombol *reset* dan ruang sketsa yang lebih besar, sehingga sesuai untuk proyek-proyek yang membutuhkan banyak *input/output* dan memori (Keputusan Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan Ristek Dikti et al., 2017).



Gambar 2. 7 Arduino Mega

2.1.9 Node MCU ESP 32

Mikrokontroler yang dikenalkan oleh Espressif System merupakan penerus dari mikrokontroler ESP8266. Perbedaan yang menjadi keunggulan mikrokontroler ESP32 dibanding dengan mikrokontroler yang lain, mulai dari pin out nya yang lebih banyak, pin analog lebih banyak, memori yang lebih besar, terdapat bluetooth 4.0 low energy serta tersedia WiFi yang memungkinkan untuk mengaplikasikan *Internet of Things* dengan mikrokontroler ESP32 (I Wayan Suriana et al., 2021).



Gambar 2. 8 Node MCU ESP 32

2.1.10 Power Supply

Power supply (catu daya) adalah suatu rangkaian elektronik yang mengubah arus listrik AC (bolak – balik) menjadi arus listrik DC (searah). Power supply merupakan sebuah peralatan yang berfungsi sebagai penyedia daya untuk peralatan lainnya. DC power supply adalah catu daya yang menyediakan tegangan maupun arus listrik dalam bentuk DC dan memiliki polaritas yang tetap yaitu positif dan negatif (Genta Subni Ananda Putra et al., 2020).



Gambar 2. 9 Power Supply

2.1.11 Metering Digital

Metering Digital pada panel adalah perangkat pengukur yang menyajikan hasil pengukuran dalam format digital, biasanya berupa angka yang dapat dengan mudah dibaca langsung pada panel kontrol atau instrumen. Alat ini sering dimanfaatkan untuk memantau berbagai parameter listrik, seperti tegangan, arus, daya, frekuensi, dan energi listrik, dalam sistem kelistrikan.



Gambar 2. 10 Metering Digital

2.1.12 PZEM 004T

Modul ini memiliki kemampuan untuk mengukur tegangan, arus, daya, frekuensi, energi, dan faktor daya, memberikan informasi yang komprehensif tentang kinerja dan karakteristik sistem listrik. Dengan kemampuannya yang luas, PZEM-004T menjadi komponen utama dalam rancang bangun sistem proteksi tegangan lebih berbasis *Internet of Things* (IoT). Integrasi modul ini dengan teknologi IoT, seperti modul ESP32-32D, memungkinkan pemantauan real-time dan kontrol jarak jauh melalui aplikasi Blynk. Dengan demikian, PZEM-004T tidak hanya memfasilitasi pengukuran yang akurat tetapi juga mendukung optimalisasi dan keamanan sistem listrik secara efisien (Kiswantono & Fajri, 2024).



Gambar 2. 11 PZEM 004T

2.1.13 Fuse

Fuse “Sekering” merupakan suatu komponen yang berfungsi ialah sebagai pengaman dalam rangkaian elektronika ataupun juga perangkat listrik. Fuse

(sekering) ini pada dasarnya terdiri dari sebuah kawat yang halus dan pendek yang akan meleleh serta terputus apabila dialiri oleh Arus Listrik yang berlebihan / juga apabila terjadi hubungan arus pendek (*short circuit*) Di dalam sebuah peralatan listrik (Elektronika) (Adhimanata & Dhiya, 2024).



Gambar 2. 12 Fuse

2.2 Penelitian Terdahulu

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Siti Hamirul Hasanah, (2022) yang tentang pengendalian sakelar lampu berbasis mikrokontroler arduino dengan menggunakan blynk. Proyek ini mengembangkan sakelar lampu yang dapat dikendalikan secara otomatis menggunakan *smartphone* android melalui aplikasi blynk, dengan memanfaatkan mikrokontroler ESP32 dan sensor LDR untuk memudahkan pengendalian lampu dari jarak jauh, serta menunjukkan bahwa jarak maksimal terhubung Wi-Fi adalah 15 meter baik dalam kondisi lorong maupun beda ruangan.

Terdapat beberapa kekurangan dari penelitian ini. Beberapa penelitian menunjukkan adanya keterbatasan jarak koneksi dan *delay* yang bisa mempengaruhi kenyamanan pengguna. Selain itu, beberapa sistem masih bergantung pada jaringan Wi-Fi yang stabil, yang mungkin tidak selalu tersedia. Keterbatasan ini bisa mengakibatkan kendala dalam pengoperasian, terutama di area dengan sinyal yang lemah. Selain itu, kompleksitas dalam perancangan dan pengujian perangkat keras serta perangkat lunak juga menjadi tantangan tersendiri bagi peneliti dan pengguna.

Selanjutnya penelitian kedua dengan judul rancang bangun aplikasi android untuk kontrol peralatan listrik rumah tangga dengan perintah suara menggunakan media bluetooth berbasis arduino uno bertujuan untuk menciptakan sistem kontrol nirkabel yang efisien untuk peralatan listrik rumah tangga, meskipun masih memiliki keterbatasan dalam jarak kontrol dan kapasitas proteksi, serta diharapkan dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menggunakan teknologi Wi-Fi dan internet untuk meningkatkan fungsionalitas dan jangkauan kontrol. Kemudian, penelitian yang ketiga dilakukan oleh Syaifurrahman, Abqori Aula tentang pengembangan sistem stop kontak cerdas berbasis *Internet of Things* (IoT) yang memanfaatkan modul Node MCU untuk memantau dan mengatur penggunaan daya listrik secara *real-time* melalui aplikasi *smartphone*, serta dilengkapi dengan fitur proteksi yang memberikan peringatan ketika suhu terminal atau daya yang digunakan melebihi batas aman, sehingga dapat mencegah risiko kebakaran dan meningkatkan efisiensi penggunaan energi di lingkungan rumah tangga. Selain itu, sistem ini juga mampu memberikan data akurat mengenai arus dan suhu, yang memungkinkan pengguna untuk mengelola perangkat elektronik dengan lebih baik dan aman.

Kekurangan dari penelitian ini adalah ketergantungan pada koneksi internet yang stabil untuk fungsi kontrol jarak jauh, yang dapat menjadi kendala di daerah dengan jaringan yang tidak konsisten. Selain itu, kompleksitas sistem dapat meningkatkan kemungkinan kesalahan dalam pemrograman atau instalasi, yang berpotensi mengurangi keandalan sistem. Biaya implementasi juga mungkin menjadi pertimbangan, terutama jika menggunakan komponen berkualitas tinggi untuk memastikan kinerja yang optimal. Terakhir, perlu adanya pengujian menyeluruh untuk memastikan sistem dapat berfungsi dengan baik dalam berbagai kondisi lingkungan dan beban yang bervariasi.

Penelitian lain dilakukan oleh Tri Ongko Priyono dan Sumardi yang berjudul monitoring dan pengendalian beban listrik berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan ESP32. Penelitian ini membahas tentang pengembangan sistem monitoring dan pengendalian beban listrik berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan ESP32 dan aplikasi Blynk, yang memungkinkan pengguna untuk memantau konsumsi listrik secara *real-time* dan mengendalikan perangkat listrik

dengan efisien, serta mencatat error pembacaan arus dan tegangan yang rendah, sehingga diharapkan dapat membantu pengguna dalam menghemat energi listrik dan meningkatkan efisiensi penggunaan listrik di rumah tangga.

Kekurangannya adalah ketergantungan pada koneksi internet yang stabil, jika terjadi gangguan jaringan, akses ke sistem monitoring dan kontrol dapat terhambat. Selain itu, akurasi pengukuran dapat dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti interferensi elektromagnetik dan kualitas perangkat keras yang digunakan. Kesalahan pada sensor dapat mengakibatkan pembacaan yang tidak akurat, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi efektivitas sistem proteksi. Biaya implementasi awal untuk pengadaan perangkat keras dan pengembangan sistem dapat menjadi hambatan bagi pengguna yang memiliki anggaran terbatas.

Tabel 2. 1 Perbandingan variabel penelitian

No	Nama Peneliti	Judul	Kelebihan	Kekurangan
1	Siti Hamirul Hasanah, 2022	Pengendalian Sakelar Lampu Berbasis Mikrokontroler Arduino Dengan Menggunakan <i>Blynk</i>	Penelitian ini menunjukkan kemajuan signifikan dalam pengendalian sakelar lampu menggunakan teknologi IoT, seperti modul Wi-Fi dan aplikasi <i>Blynk</i>. Kelebihan utama dari sistem ini adalah kemudahan dalam pengoperasian jarak jauh, yang memungkinkan pengguna untuk mengontrol lampu dari <i>smartphone</i>, sehingga menghemat waktu dan tenaga. Selain itu, beberapa penelitian telah menguji efektivitas sistem dalam berbagai kondisi, seperti jangkauan maksimal dan waktu respons, yang memberikan gambaran yang jelas tentang performa sistem.	1. Keterbatasan jarak koneksi dan <i>delay</i>. 2. Ketergantungan jaringan wifi yang stabil. 3. Keandalan operasional. 4. Komplexitas dalam perancangan dan pengujian.
2	Sandi Renaldi, 2022	Rancang Bangun Aplikasi Android Untuk Kontrol Peralatan Listrik Rumah Tangga Dengan Perintah	Kelebihan dari penelitian ini adalah penggunaan ESP32 sebagai platform kontrol memungkinkan konektivitas yang lebih baik dibandingkan dengan mikrokontroler lainnya,	1. Tergantung pada koneksi internet stabil.

No	Nama Peneliti	Judul	Kelebihan	Kekurangan
		Siara Menggunakan Media Bluetooth Berbasis Arduino Uno	berkat dukungan Wi-Fi dan Bluetooth, yang mempermudah sistem monitoring dan kontrol jarak jauh. Kedua, sistem proteksi yang dirancang dapat meningkatkan keamanan peralatan listrik dengan mendeteksi dan mencegah kondisi abnormal, seperti arus lebih atau gangguan, sehingga mengurangi risiko kerusakan. Selain itu, kemampuan monitoring real-time memberikan informasi yang akurat mengenai status beban, memungkinkan pengguna untuk mengambil tindakan cepat jika diperlukan. Terakhir, desain sistem yang terintegrasi memudahkan pengguna dalam mengelola dan mengontrol beban secara efisien.	2. Kompleksitas sistem meningkatkan resiko kesalahan. 3. Biaya implementasi menjadi tantangan. 4. Diperlukan pengujian menyeluruh.
3	Syaifurrahman, Abqori Aula, 2022	Sistem Monitoring Dan Proteksi Pada Stop Kontak Berbasis Iot	Sistem ini menggunakan ESP32 yang memiliki kemampuan konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth, memungkinkan kontrol jarak jauh yang efisien dan <i>real-time</i> . Selain itu, desain	1. Ketergantungan koneksi internet stabil. 2. Kompleksitas sistem yang tinggi.

No	Nama Peneliti	Judul	Kelebihan	Kekurangan
			sistem proteksi yang terintegrasi dapat mencegah kerusakan pada peralatan listrik akibat beban berlebih atau kondisi abnormal lainnya. Penggunaan sensor untuk monitoring daya dan suhu juga meningkatkan akurasi dalam pemantauan kinerja sistem, memberikan informasi yang berguna bagi pengguna. Dengan fitur ini, pengguna dapat secara langsung mengawasi dan mengontrol beban listrik dari <i>smartphone</i>, meningkatkan kenyamanan dan keamanan penggunaan listrik.	3. Biaya pengembangan dan implementasi tinggi.
4	Tri Ongko Priyono, Sumardi, 2023	Monitoring Dan Pengendalian Beban Listrik Berbasis <i>InternetOf Things</i> (IoT) Menggunakan ESP32	Penelitian ini memiliki solusi inovatif dalam pengelolaan energi melalui sistem proteksi, monitoring, dan pelepasan beban 3 fasa yang terintegrasi dengan teknologi kontrol jarak jauh berbasis ESP32. Dengan memanfaatkan kemampuan konektivitas Wi-Fi pada ESP32, sistem ini memungkinkan pengguna untuk	1. Ketergantungan pada koneksi internet stabil. 2. Akurasi pengukuran dapat dipengaruhi faktor eksternal.

No	Nama Peneliti	Judul	Kelebihan	Kekurangan
			memantau dan mengendalikan konsumsi energi dari jarak jauh, meningkatkan efisiensi penggunaan listrik dan mengurangi risiko kerusakan akibat kelebihan beban. Selain itu, sistem ini dapat memberikan data real-time yang berguna untuk analisis dan pengambilan keputusan yang lebih baik terkait manajemen energi, sehingga berpotensi mengurangi biaya operasional.	3. Kesalahan pada sensor dapat mempengaruhi data tidak akurat. 4. Biaya implementasi awal menjadi hambatan.
5	Muhammad Zidan Nasikh, Prasetyo Iswahyudi, Laila Rochmawati, 2023	Rancangan Sistem Kontrol Dan Monitoring <i>Cubicle Substation</i> Berbasis Mikrokontroler Menggunakan Modul Lora Di Bandar Udara	Sistem ini menawarkan solusi modern dalam pengelolaan distribusi energi listrik, khususnya untuk beban 3 fasa. Dengan menggunakan ESP32 sebagai mikrokontroler, sistem ini dapat mengintegrasikan teknologi IoT, memungkinkan pemantauan dan pengendalian dari jarak jauh melalui aplikasi <i>mobile</i> . Keunggulan ini meningkatkan efisiensi dan responsivitas dalam sistem proteksi, mengurangi waktu yang diperlukan	1. Penggunaan ESP32 rentan terhadap gangguan sinyal. 2. Ketergantungan koneksi internet. 3. Biaya pengembangan dan komponen yang tinggi. 4. Pemahaman IoT menjadi hambatan

No	Nama Peneliti	Judul	Kelebihan	Kekurangan
			untuk mendeteksi dan memperbaiki masalah, serta meminimalisasi <i>downtime</i> . Selain itu, sistem ini dapat memberikan notifikasi langsung kepada pengguna jika ada gangguan, sehingga mempercepat tindakan perbaikan.	bagi teknis kurang pengalaman.

Berdasarkan kajian terhadap beberapa penelitian terdahulu pada Tabel 2.1, diketahui bahwa penelitian-penelitian tersebut telah membahas penerapan Internet of Things (IoT) pada sistem monitoring dan pengendalian beban listrik. Namun, sebagian besar penelitian masih memiliki keterbatasan, seperti ketergantungan pada koneksi internet yang stabil, kompleksitas dalam perancangan dan implementasi sistem, keterbatasan akurasi pengukuran, serta belum mengintegrasikan fungsi proteksi arus, proteksi tegangan, monitoring, dan pelepasan beban tiga fasa dalam satu sistem yang terpadu.

Penelitian ini memiliki perbedaan dengan penelitian sebelumnya karena merancang dan membangun sistem proteksi arus, tegangan, monitoring, dan pelepasan beban tiga fasa berbasis ESP32 yang terintegrasi dengan aplikasi Blynk untuk pemantauan dan pengendalian secara real-time. Selain mampu mendeteksi kondisi *overvoltage*, *undervoltage*, dan *overcurrent*, sistem juga dilengkapi dengan fitur notifikasi gangguan (TRIP), *auto reconnect*, serta pengendalian beban secara manual maupun otomatis. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam meningkatkan keandalan, keamanan, dan efisiensi sistem proteksi serta monitoring instalasi tenaga listrik tiga fasa berbasis Internet of Things (IoT), sekaligus melengkapi hasil-hasil penelitian yang telah ada sebelumnya.