

PERANCANGAN SISTEM MONITORING KONSUMSI DAN KENDALI PERALATAN LISTRIK PADA RUMAH TANGGA

Isvan Mila Aldirona; Hasyim Asy'ari, S.T., M.T.
Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik,
Universitas Muhammadiyah Surakarta

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem monitoring konsumsi energi listrik pada peralatan rumah tangga berbasis *Internet of Things* (IoT). Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 DevKit V1 sebagai pengendali utama dan sensor PZEM-004T untuk mengukur parameter listrik berupa tegangan, arus, daya, dan energi (kWh). Data hasil pengukuran ditampilkan melalui LCD 20×4 serta dikirimkan ke aplikasi Blynk melalui jaringan internet sehingga pengguna dapat melakukan pemantauan secara *real-time* melalui *smartphone*. Sistem juga dilengkapi modul relay untuk mengendalikan penyambungan dan pemutusan beban listrik. Metode penelitian meliputi perancangan, pembuatan alat, pengujian sistem, dan analisis hasil pengukuran. Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu membaca variasi beban dengan rentang tegangan 212,4–223,5 V, arus 0,18–1,54 A, daya 25,2–314,6 W, energi 0,027–0,292 kWh, serta estimasi biaya listrik Rp38,988–Rp421,648 pada skenario pengujian yang dilakukan. Sistem yang dikembangkan berhasil melakukan monitoring konsumsi energi secara *real-time* dan mendukung penggunaan energi listrik rumah tangga yang lebih efisien serta terkontrol

Kata Kunci: Monitoring energi listrik, Internet of Things, ESP32, PZEM-004T, Blynk, Konsumsi listrik rumah tangga.

Abstract

This research aims to design an Internet of Things (IoT)-based electrical energy consumption monitoring system for household appliances. The system uses an ESP32 DevKit V1 microcontroller as the main controller and a PZEM-004T sensor to measure electrical parameters, including voltage, current, power, and energy consumption (kWh). The measurement data are displayed on a 20×4 LCD and transmitted to the Blynk application via an internet connection, enabling real-time monitoring through a smartphone. The system is also equipped with a relay module to control electrical load switching. The research methods include system design, device development, testing, and measurement analysis. The results show that the system can monitor various load conditions with voltage ranges of 212.4–223.5 V, current of 0.18–1.54 A, power of 25.2–314.6 W, energy consumption of 0.027–0.292 kWh, and estimated electricity costs of Rp38.988–Rp421.648. The developed system successfully provides real-time energy monitoring and supports more efficient and controlled household electricity usage.

Keywords: Internet of Things (IoT), Electrical Energy Monitoring, ESP32 DevKit V1, PZEM-004T, Blynk, Household Electrical System

1. PENDAHULUAN

Pada kehidupan sehari-hari, energi listrik merupakan salah satu kebutuhan penting dalam mendukung berbagai aktivitas masyarakat. Hampir setiap aktivitas rumah tangga bergantung pada penggunaan peralatan listrik, seperti lampu penerangan, kulkas, kipas angin, *rice cooker*, mesin cuci,

televisi, dan berbagai perangkat elektronik lainnya. Perkembangan teknologi menyebabkan jumlah dan jenis peralatan listrik rumah tangga semakin beragam sehingga kebutuhan terhadap energi listrik juga cenderung meningkat. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa penggunaan energi listrik perlu dikelola secara lebih efektif agar konsumsi energi dapat dikendalikan dan digunakan secara efisien. Peningkatan penggunaan peralatan listrik dapat menyebabkan konsumsi energi yang cukup tinggi apabila tidak disertai dengan kesadaran pengguna dalam melakukan pengelolaan energi. Masih terdapat pengguna yang belum mengetahui besarnya daya dan energi yang dikonsumsi oleh setiap peralatan listrik yang digunakan. Akibatnya, pengguna sering kali baru mengetahui besarnya konsumsi listrik setelah menerima tagihan listrik atau melihat berkurangnya saldo listrik Prabayar. Selain itu, kebiasaan membiarkan peralatan elektronik tetap menyala atau berada dalam kondisi *standby* ketika tidak digunakan juga dapat menyebabkan konsumsi energi yang tidak diperlukan. (Oh, 2020) menunjukkan bahwa penggunaan teknologi *smart plug* berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dilengkapi dengan fungsi pemantauan konsumsi energi dapat membantu pengguna memperoleh informasi mengenai penggunaan listrik dan mendukung perubahan perilaku menuju penggunaan energi yang lebih efisien. Oleh karena itu, ketersediaan informasi konsumsi energi yang mudah dipahami menjadi salah satu faktor penting dalam membantu pengguna melakukan pengelolaan energi listrik rumah tangga. Selain menyebabkan pemborosan energi dan peningkatan biaya penggunaan listrik, pengoperasian peralatan listrik yang tidak terkontrol juga dapat meningkatkan risiko terjadinya beban berlebih atau *overload* pada instalasi listrik. Kondisi beban berlebih dapat menyebabkan peningkatan arus dan temperatur pada penghantar apabila sistem instalasi dan proteksi tidak bekerja dengan baik. Oleh karena itu, pemantauan parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, daya, dan energi menjadi penting untuk mengetahui kondisi penggunaan listrik secara berkala. (Garcés et al., 2025) menjelaskan bahwa *smart electricity* meter memiliki peranan penting dalam sistem manajemen energi karena mampu menyediakan berbagai parameter kelistrikan untuk kebutuhan monitoring, proteksi, dan pengendalian secara *real-time*. Dengan demikian, sistem pemantauan energi dapat mendukung pengelolaan penggunaan listrik sekaligus membantu pengguna mengetahui adanya kondisi penggunaan beban yang tidak normal. Permasalahan lainnya adalah masih terbatasnya sistem monitoring yang mampu memberikan informasi secara *real-time* mengenai pemakaian energi listrik di rumah. Pada sistem konvensional, informasi konsumsi listrik umumnya diketahui melalui meter listrik atau berdasarkan tagihan listrik dalam periode tertentu sehingga pengguna tidak selalu memperoleh informasi secara langsung mengenai perubahan konsumsi energi dari peralatan yang digunakan. Padahal, monitoring secara *real-time* memungkinkan pengguna mengetahui pola konsumsi energi dengan lebih cepat dan melakukan tindakan apabila ditemukan penggunaan listrik yang berlebihan. Menurut (Sianturi & Putra, 2021) sistem monitoring energi listrik

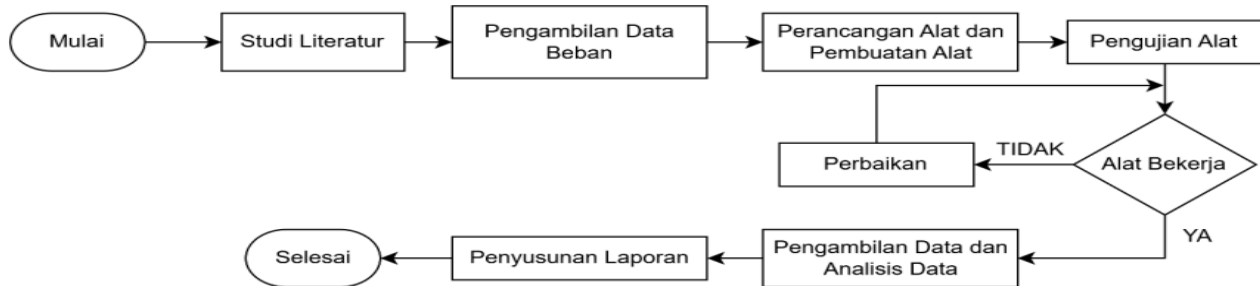
dapat bekerja dengan membaca parameter arus dan tegangan sehingga besarnya daya listrik yang digunakan dapat diketahui. Sejalan dengan hal tersebut, (Garcés et al., 2025) menjelaskan bahwa smart electricity meter dapat menyediakan parameter kelistrikan yang digunakan dalam proses monitoring dan pengelolaan energi secara *real-time*. Dengan demikian, diperlukan suatu sistem monitoring dan pengendalian penggunaan listrik yang mampu memberikan informasi secara langsung kepada pengguna. Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) memberikan peluang untuk mengembangkan sistem monitoring energi listrik yang dapat diakses secara jarak jauh melalui jaringan internet. Teknologi IoT memungkinkan perangkat pengukuran, mikrokontroler, jaringan komunikasi, dan platform monitoring saling terhubung sehingga data penggunaan listrik dapat dikirimkan dan ditampilkan secara *real-time*. (Munoz et al., 2022) mengembangkan *smart meter* berbasis IoT yang mengintegrasikan fungsi pengukuran parameter kelistrikan dengan pengendalian beban untuk mendukung sistem manajemen energi rumah. Sistem tersebut memanfaatkan konektivitas internet untuk mendukung proses monitoring serta pengendalian beban listrik. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi antara perangkat pengukuran energi, mikrokontroler, komunikasi internet, dan sistem pengendalian dapat digunakan untuk meningkatkan kemampuan monitoring sekaligus pengelolaan konsumsi energi listrik. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini merancang suatu alat monitoring dan pengendalian konsumsi energi listrik pada peralatan rumah tangga berbasis mikrokontroler dan *Internet of Things* (IoT). Sistem dirancang untuk mengukur parameter kelistrikan berupa tegangan, arus, daya, dan energi listrik secara *real-time*. Data hasil pengukuran selanjutnya dapat digunakan untuk mengetahui pola konsumsi listrik serta mengestimasi biaya penggunaan energi. (El-Kozondar et al., 2024) mengembangkan sistem monitoring energi berbiaya rendah berbasis IoT menggunakan mikrokontroler ESP32 yang mampu mengumpulkan dan mengolah data dari energi meter, kemudian menyampaikan informasi penggunaan energi kepada pengguna secara *real-time*. Sistem tersebut mampu merekam parameter berupa tegangan, arus, daya aktif, dan konsumsi energi kumulatif serta terhubung dengan platform *Blynk* melalui jaringan *Wi-Fi*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa ESP32 memiliki potensi untuk digunakan sebagai pengendali utama dalam sistem monitoring energi berbasis IoT. Pada penelitian ini, sensor PZEM-004T digunakan sebagai perangkat pengukuran untuk memperoleh data parameter kelistrikan yang kemudian diproses oleh mikrokontroler ESP32. Data hasil pengukuran berupa tegangan, arus, daya, dan energi listrik selanjutnya ditampilkan pada LCD 20×4 sebagai antarmuka lokal. Nilai konsumsi energi yang diperoleh juga dapat digunakan oleh sistem untuk menghitung estimasi biaya penggunaan listrik berdasarkan tarif listrik yang ditentukan. Data monitoring kemudian dikirimkan melalui jaringan internet sehingga dapat diakses menggunakan perangkat *smartphone*. Konsep tersebut sejalan dengan penelitian (Sasono, 2022) yang menggunakan sensor PZEM-004T dan mikrokontroler

untuk memperoleh informasi parameter kelistrikan dan mengirimkan data melalui jaringan internet. Penggunaan teknologi IoT juga memungkinkan proses pemantauan konsumsi listrik dilakukan secara lebih fleksibel tanpa harus melakukan pengamatan secara langsung pada lokasi perangkat (Jokanan et al., 2022). Selain memiliki fungsi monitoring, sistem yang dirancang juga dilengkapi dengan fitur *switching* menggunakan *relay* sebagai aktuator untuk memutus atau menghubungkan suplai listrik pada beban. *Relay* dikendalikan oleh ESP32 berdasarkan perintah pengguna melalui sistem IoT maupun berdasarkan kondisi penggunaan daya yang telah ditentukan pada sistem. Apabila konsumsi daya terdeteksi melebihi nilai ambang batas atau *threshold* yang telah ditetapkan, sistem dapat memberikan respons berupa pemutusan beban sebagai mekanisme pengendalian tambahan. (Munoz et al., 2022) menunjukkan bahwa sistem *smart meter* berbasis IoT dapat diintegrasikan dengan fungsi *load control* untuk mendukung pengelolaan energi rumah. Dengan demikian, penggabungan fungsi monitoring dan pengendalian beban dapat memberikan kemampuan yang lebih baik dalam membantu pengguna mengatur penggunaan energi listrik. Berdasarkan sistem monitoring dan pengendalian energi listrik berbasis IoT tersebut, pengguna diharapkan dapat memperoleh informasi mengenai konsumsi energi listrik secara *real-time*, mengetahui estimasi biaya penggunaan listrik, serta melakukan pengendalian terhadap peralatan listrik melalui perangkat digital. Sistem ini juga diharapkan dapat membantu pengguna mengidentifikasi penggunaan energi yang berlebihan dan mengurangi konsumsi energi yang tidak diperlukan. Dengan demikian, penerapan sensor PZEM-004T, mikrokontroler ESP32, sistem IoT, LCD, dan *relay* dalam satu sistem monitoring dan pengendalian diharapkan dapat menghasilkan suatu perangkat yang mendukung penggunaan energi listrik rumah tangga secara lebih efisien, terkontrol, dan aman.

2. METODE

2.1 Tahapan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode perancangan dan pengujian eksperimental untuk mengembangkan sistem monitoring dan pengendalian konsumsi energi listrik pada peralatan rumah tangga berbasis *Internet of Things* (IoT). Sistem dirancang untuk melakukan pengukuran parameter kelistrikan secara *real-time*, menampilkan hasil pengukuran secara lokal dan jarak jauh, serta melakukan pengendalian beban melalui *relay*. Pelaksanaan perancangan, perakitan, dan pengujian sistem dilakukan di lingkungan rumah. Tahapan penelitian disusun secara sistematis sesuai dengan diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir Metode Pembuatan Alat

2.2 Persiapan Alat dan Bahan

Tabel 1. Alat Dan Bahan

Alat dan Bahan	Jumlah	Alat dan Bahan	Jumlah
ESP32 Devkit V1	1 unit	Steker	2 unit
Sensor PZEM-004T	1 unit	Stop Kontak	1 unit
Relay 2 Channel	2 unit	Lampu	2 unit
LCD I2C 20x4	1 unit	Kipas Angin	2 unit
Adaptor 5V 3A	1 unit	Multimeter	1 unit
Expansion Board ESP32	2 unit	Obeng	1 unit
Kabel Jumper	2 set	Tang	1 unit
Kabel NYAF 0,75mm ²	5 meter	Solder	1 unit
Box Rangkaian	1 unit	Timah Solder	6 meter

Dalam proses pembuatan sistem diperlukan beberapa alat dan bahan seperti tampak pada Tabel 1. Beberapa komponen utama yang digunakan yaitu ESP32 Devkit V1 digunakan sebagai pusat pengendali sistem karena memiliki kemampuan pemrosesan data yang cukup baik serta telah dilengkapi dengan modul komunikasi *WiFi*. Fitur *WiFi* pada ESP32 memungkinkan sistem terhubung dengan platform *Internet of things* IoT seperti *Blynk* sehingga data hasil pengukuran listrik dapat dikirim dan dipantau secara real-time melalui aplikasi.

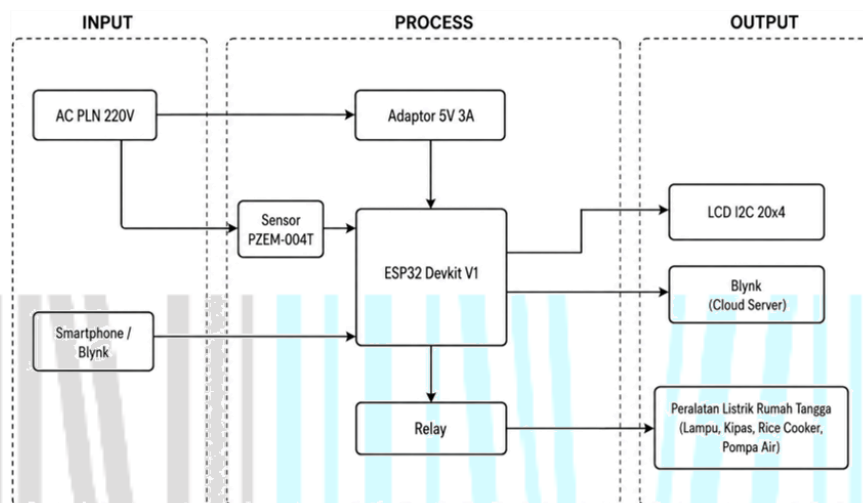
Sensor PZEM-004T digunakan sebagai perangkat pengukuran parameter kelistrikan karena mampu membaca beberapa besaran listrik secara bersamaan, seperti tegangan (Volt), arus (Ampere), daya aktif (Watt), energi listrik (kWh), serta faktor daya (*Power Factor*). Sensor ini menggunakan komunikasi serial UART yang memudahkan proses pengiriman data menuju ESP32 untuk kemudian diolah dan ditampilkan. Relay 2 channel digunakan sebagai komponen pengendali beban listrik yang terhubung pada sistem. Penggunaan dua buah relay memungkinkan sistem mengontrol beberapa perangkat listrik secara terpisah.

Adaptor 5V 3A digunakan sebagai sumber catu daya untuk memberikan suplai listrik yang stabil terhadap Esp 32, LCD I2C 20x4 digunakan sebagai media tampilan lokal untuk menampilkan informasi hasil pembacaan sistem tanpa harus selalu menggunakan aplikasi monitoring. LCD ini

mampu menampilkan hingga 20 karakter dalam 4 baris Pemilihan komponen tersebut didasarkan pada kebutuhan sistem agar mampu melakukan pengukuran parameter listrik, pengolahan data, menampilkan informasi secara langsung, serta melakukan pengendalian beban listrik secara otomatis.

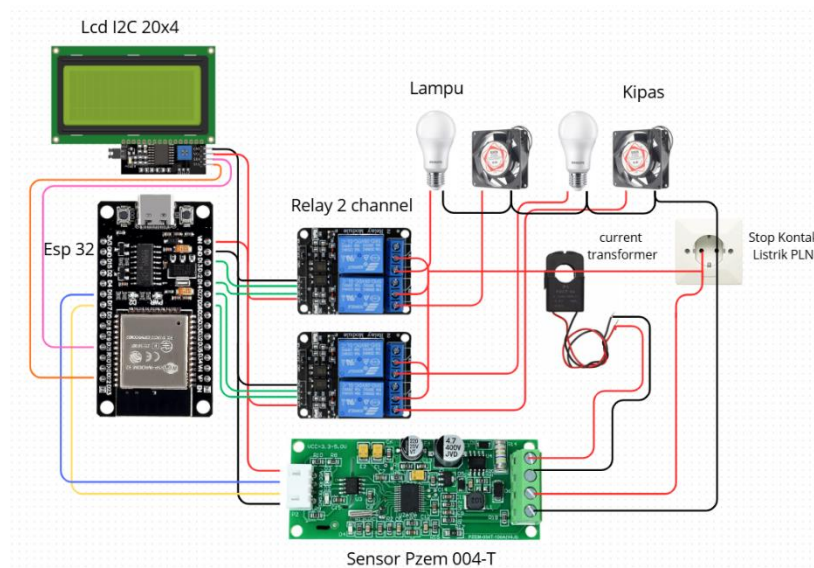
2.3 Blok Diagram dan *Wiring Diagram*

Perancangan sistem pada penelitian ini disajikan dalam bentuk blok diagram dan *wiring diagram* yang dapat dilihat pada Gambar 2. dan Gambar 3. Blok diagram menjelaskan alur kerja sistem, sedangkan *wiring diagram* menunjukkan konfigurasi pengkabelan setiap komponen.



Gambar 2. Blok Diagram Rancangan Sistem

Gambar 2. menunjukkan alur kerja sistem monitoring dan pengendalian konsumsi listrik yang terdiri dari bagian *input*, *process*, dan *output*. Sumber AC PLN 220 V digunakan sebagai sumber listrik sistem, sedangkan sensor PZEM-004T membaca parameter tegangan, arus, daya, dan faktor daya. Data hasil pengukuran diproses oleh ESP32 DevKit V1, kemudian ditampilkan melalui LCD I2C 20×4 antara lain yang tertampil pada layar yaitu status *relay* 1 hingga *relay* 4, tegangan, arus, daya, faktor daya, energi serta biaya dan dikirim melalui jaringan *WiFi*/Internet untuk monitoring menggunakan *Blynk*. ESP32 juga mengendalikan *relay* untuk melakukan fungsi ON/OFF terhadap peralatan listrik rumah tangga sesuai perintah atau kondisi yang telah ditentukan.

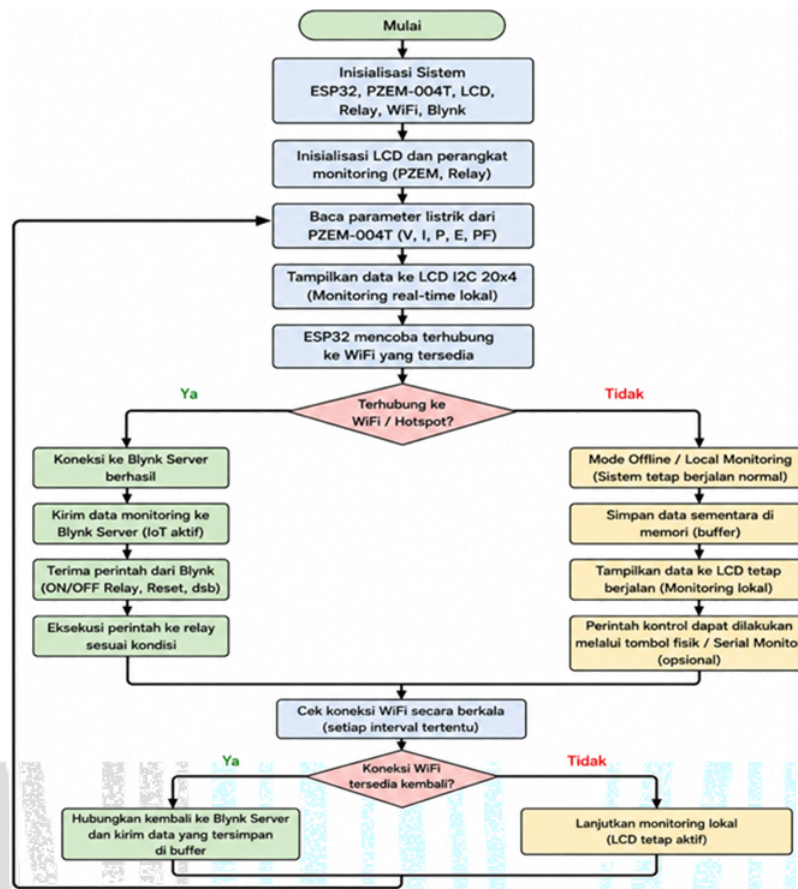


Gambar 3. *Wiring Diagram*

Gambar 3. menunjukkan *wiring diagram* sistem monitoring dan pengendalian konsumsi energi listrik rumah tangga berbasis ESP32. Sistem menggunakan sumber listrik 220 VAC sebagai sumber utama yang dialirkan menuju sensor PZEM-004T dan beban listrik. ESP32 DevKit V1 berfungsi sebagai pusat kontrol sistem dengan menerima data pembacaan dari sensor PZEM-004T. Sensor PZEM-004T digunakan untuk membaca parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, daya, energi, frekuensi, dan faktor daya. Pengukuran arus dilakukan menggunakan *Current Transformer* (CT) yang dipasang pada jalur fasa menuju beban. Data hasil pembacaan PZEM-004T kemudian diproses oleh ESP32 dan ditampilkan secara langsung melalui LCD I2C 20×4 sebagai informasi kondisi penggunaan listrik. Selain melakukan monitoring, ESP32 juga terhubung dengan dua modul *relay* 2-channel yang digunakan untuk mengendalikan empat beban listrik berupa dua lampu dan dua kipas angin. *Relay* berfungsi sebagai saklar elektronik yang menerima sinyal kontrol dari ESP32 untuk menghubungkan atau memutus aliran listrik menuju masing-masing beban. Pengendalian *relay* dapat dilakukan berdasarkan perintah pengguna yang telah diprogram maupun melalui sistem monitoring berbasis IoT. Dengan rangkaian tersebut, sistem mampu melakukan pemantauan parameter kelistrikan sekaligus mengontrol kondisi *ON/OFF* peralatan listrik rumah tangga secara terintegrasi.

2.4 Diagram Alir Sistem

Pada Gambar 4. Menunjukkan penjelasan tentang bagaimana alur kerja sistem dari awal hingga akhir mulai dari tahap inisialisasi sampai monitoring beban listrik yang digunakan.



Gambar 4. Diagram Alir Sistem

Diagram alir sistem pada Gambar 4. Diagram alir tersebut menggambarkan proses kerja sistem monitoring dan pengendalian beban listrik berbasis ESP32 menggunakan sensor PZEM-004T dan aplikasi *Blynk*. proses kerja sistem monitoring listrik berbasis ESP32 yang dirancang agar tetap berfungsi secara lokal meskipun tidak tersedia koneksi *WiFi* atau *hotspot*. Sistem diawali dengan inisialisasi ESP32, PZEM-004T, LCD, *relay*, *WiFi*, dan *Blynk*, kemudian ESP32 membaca parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, daya, energi, dan faktor daya. Data hasil pengukuran langsung ditampilkan pada LCD sehingga fungsi monitoring utama tidak bergantung pada koneksi internet. Setelah itu, ESP32 memeriksa ketersediaan *WiFi/Hotspot*. Jika koneksi tersedia, sistem terhubung ke server *Blynk* untuk mengirim data monitoring dan menerima perintah pengendalian *relay*. Sebaliknya, apabila koneksi tidak tersedia, sistem masuk ke mode *offline*, tetapi proses pembacaan sensor, pengolahan data, tampilan LCD, dan fungsi kontrol lokal tetap berjalan. ESP32 juga melakukan pemeriksaan koneksi secara berkala sehingga ketika *WiFi* kembali tersedia, sistem dapat melakukan koneksi ulang dan melanjutkan pengiriman data ke *Blynk*. Dengan demikian, rancangan ini menerapkan konsep monitoring lokal sebagai fungsi utama dan IoT sebagai fungsi pendukung, sehingga gangguan jaringan tidak menyebabkan sistem monitoring berhenti secara keseluruhan.

2.5 Dasar Perhitungan Sistem *Research and Development* (R&D)

Terdapat beberapa perhitungan dasar dalam sistem *Research and Development* (R&D) agar dapat

menentukan nilai parameter kelistrikan, konsumsi energi, biaya pemakaian, dan kinerja alat monitoring.

2.5.1 Perhitungan Daya Aktif

Daya aktif merupakan daya yang digunakan oleh beban untuk melakukan kerja nyata dan dinyatakan dalam satuan Watt (W). Pada sistem listrik AC satu fasa, nilai daya aktif dipengaruhi oleh tegangan, arus, dan faktor daya., Perhitungan daya aktif menggunakan persamaan 1.

$$P = V \times I \times \cos(\varphi) \quad (1)$$

Keterangan:

P = Daya Aktif (W)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

$\cos(\varphi)$ = Faktor Daya

2.5.2 Perhitungan Daya Semu

Daya semu merupakan nilai hasil perkalian antara tegangan dan arus tanpa memperhitungkan faktor daya. Daya semu dinyatakan dalam satuan Volt Ampere (VA). Nilai daya semu dapat dihitung menggunakan persamaan 2.

$$S = V \times I \quad (2)$$

Keterangan:

S = Daya Semu (VA)

V = Tegangan (V)

2.5.3 Perhitungan Faktor Daya

Faktor daya merupakan perbandingan antara daya aktif dan daya semu. Faktor daya digunakan untuk mengetahui perbandingan antara daya yang benar-benar digunakan oleh beban dengan daya semu yang terdapat pada sistem listrik. Nilai faktor daya dapat dihitung dengan persamaan 3.

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} \quad (3)$$

Keterangan:

$\cos(\varphi)$ = Faktor Daya

P = Daya Aktif (W)

S = Daya Semu (VA)

2.5.4 Perhitungan Energi Listrik

Energi listrik merupakan jumlah daya listrik yang digunakan oleh suatu beban selama periode waktu tertentu. Besarnya energi listrik dipengaruhi oleh daya aktif dan lama waktu penggunaan beban. Nilai energi listrik dapat dihitung dengan persamaan 4.

$$E = \frac{P \times t}{1000} \quad (4)$$

Keterangan:

E = Energi Listrik (kWh)

P = Daya Aktif (W)

t = Waktu Penggunaan (jam)

1000 = Konversi Watt menjadi Kilowatt

2.5.5 Perhitungan Estimasi Biaya Listrik

Estimasi biaya listrik merupakan perkiraan biaya yang harus dibayarkan berdasarkan jumlah energi listrik yang telah digunakan oleh beban. Nilai estimasi biaya listrik diperoleh dari perkalian antara energi listrik dengan tarif listrik per kWh. Nilai estimasi biaya listrik dapat dihitung dengan persamaan 5.

$$B = E \times T \quad (5)$$

Keterangan:

B = Estimasi Biaya Listrik (Rp)

E = Energi Listrik (kWh)

T = Tarif Listrik (Rp/kWh)

2.5.6 Perhitungan Persentase Kesalahan Pengukuran

Persentase kesalahan pengukuran digunakan untuk mengetahui besarnya penyimpangan antara nilai hasil pengukuran sistem dengan nilai yang diperoleh dari alat ukur referensi. Perhitungan ini digunakan untuk mengevaluasi hasil pengukuran tegangan, arus, daya, faktor daya, dan energi listrik. Nilai persentase kesalahan dapat dihitung dengan persamaan 6.

$$\text{Error (\%)} = \frac{X_r - X_s}{X_r} \times 100\% \quad (6)$$

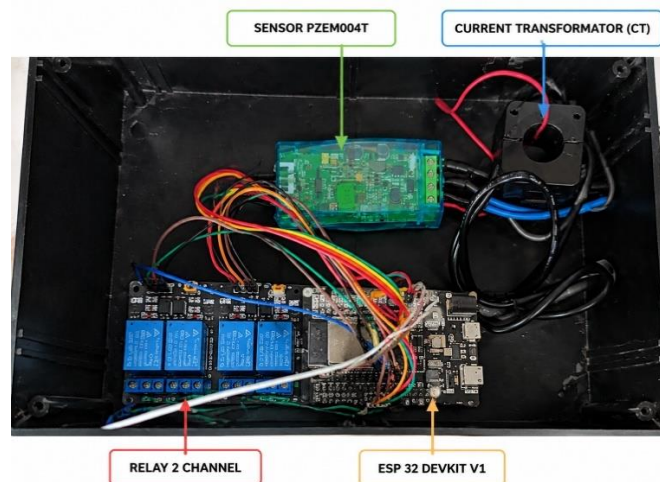
Keterangan:

Xs = Nilai Hasil Pengukuran Sistem

Xr = Nilai Hasil Pengukuran Alat Referensi

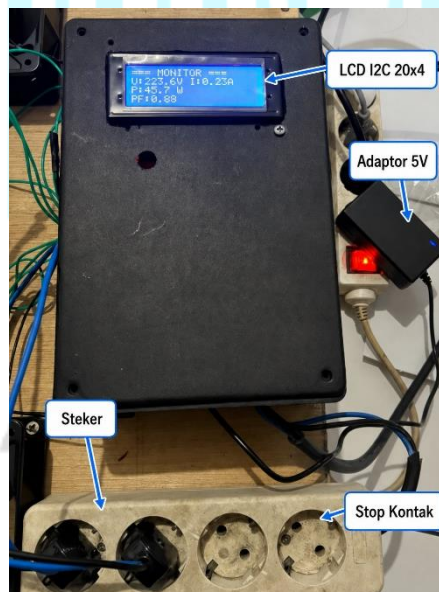
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Alat Yang Terealisasi



Gambar 5. Komponen Dalam Box

Pada alat sistem monitoring peralatan listrik rumah tangga bisa dilihat pada Gambar 5. yang menggunakan ESP32 pada jaringan 1 fasa komponen yang digunakan antara lain ESP32 sebagai untuk mengontrol *system* melalui inisialisasi hingga monitoring, *Relay 2 channel* berfungsi sebagai saklar untuk memutus dan menghubungkan listrik ke beban, Sensor PZEM-004 dan CT(*Current Transformer*) berfungsi untuk membentuk sistem pengukuran tegangan, arus, daya, faktor daya dan energi, Expansion papan pengembangan atau perluasan koneksi untuk ESP32 DevKit V1.



Gambar 6. Komponen Diluar Box

Pada alat sistem monitoring peralatan listrik rumah tangga bisa dilihat pada Gambar 6. yang menggunakan ESP32 pada jaringan 1 fasa, terdapat komponen diluar box antara lain LCD I2c 20x4 yang berfungsi sebagai antar muka monitoring kendali alat yang sudah dilakukan pembacaan oleh sensor Pzem-004T, Adaptor sebagai catu daya untuk mengubah listrik PLN 220 V AC menjadi

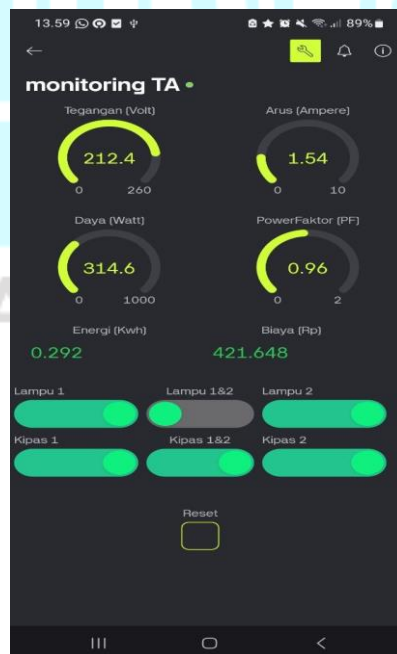
tegangan rendah 5 V DC yang diperlukan oleh ESP32, steker berfungsi Menghubungkan peralatan atau beban dengan sumber listrik, stopkontak berfungsi menjadi penghubung antara instalasi listrik dan steker peralatan.

3.2 Pengujian dan Pembahasan

3.2.1 Pengujian Monitoring Menggunakan Blynk

Monitoring pada aplikasi *Blynk* dilakukan pengujian agar mengetahui bahwa data hasil pengukuran tertampil secara *real time* dengan jaringan internet. Hasil pengujian yang tertampil antara lain: tegangan, arus, daya, faktor daya, energi, serta biaya penggunaan beban listrik. Pada *Blynk* bisa melihat bagaimana perubahan setiap beban, seperti pada Gambar 7.

Tampilan pada gambar 7. merupakan monitoring *Blynk* ketika ada perubahan konsumsi beban berdasarkan lamanya pemakaian secara *real time* pada kondisi perubahan beban dan kondisi stabil, aplikasi *Blynk* mampu menampilkan parameter kelistrikan secara *real-time* baik saat terjadi perubahan beban maupun saat sistem berada pada kondisi stabil. Pada gambar sebelah kiri terlihat adanya perubahan nilai tegangan, arus, daya, *power factor*, energi serta biaya yang dikeluarkan ketika menggunakan peralatan listrik beberapa waktu. Pada hasil yang tertampil pada aplikasi *Blynk* dapat dilihat parameter kelistrikan sesuai kondisi sistem yang nyata.



Gambar 7. Tampilan Pada Aplikasi *Blynk*

3.2.2 Hasil Pengukuran Sensor PZEM-004T Dengan Clamp Meter Yang Tervalidasi

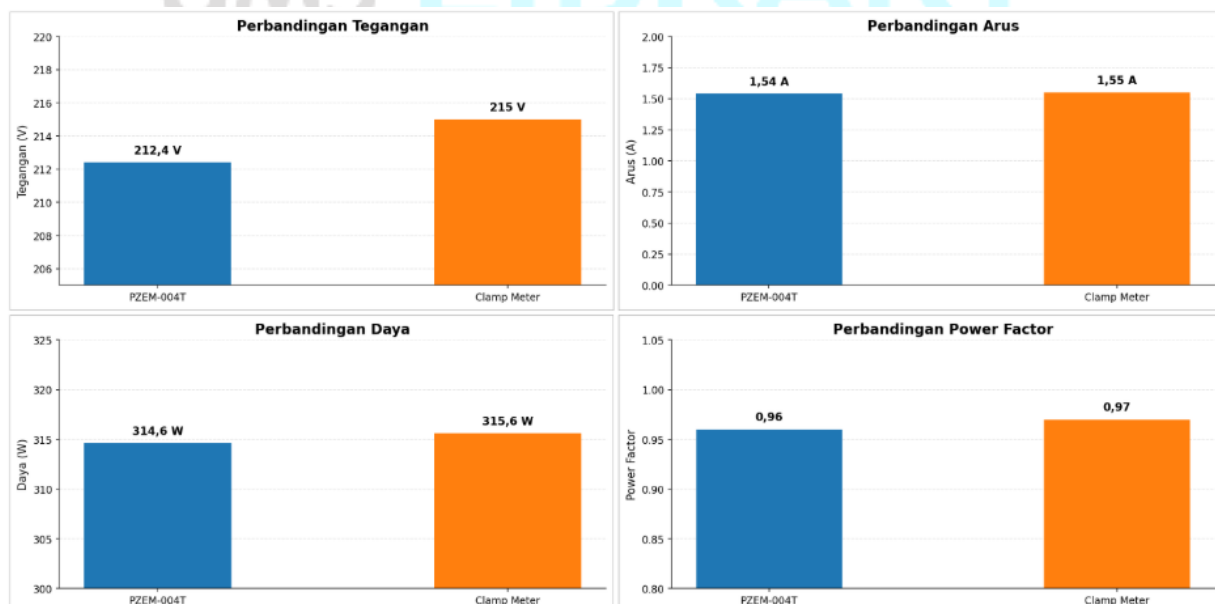
Berdasarkan hasil pengujian dengan *clamp* meter sebagai alat pembanding, PZEM-004T menunjukkan kinerja pengukuran yang sangat baik dengan rata-rata *error* 0,82% dan akurasi keseluruhan 99,18%. Pada parameter tegangan, PZEM-004T membaca 221,6 V, sedangkan *clamp* meter 222 V, dengan selisih 0,4 V, *error* 0,18%, dan akurasi 99,82%. Pengukuran daya juga sangat

presisi, yaitu 114,8 W dibandingkan 115 W, dengan selisih 0,2 W, *error* 0,17%, dan akurasi tertinggi sebesar 99,83%. Hasil pengukuran kedua alat disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengujian Data Sensor PZEM-004T Dengan *Clamp* Meter

No	Parameter	Rata-rata PZEM- 004T	Rata-rata <i>Clampmeter</i>	Selisih	<i>Error</i> (%)	Akurasi (%)
1.	Tegangan	212,4 V	215 V	2,6 V	1,2	98,9
2.	Arus	1,54 A	1,55A	0,01 A	0,64	99,3
3.	Daya	314,6 W	315,6 W	0,1 W	0,31	99,6
4.	<i>Power Factor</i>	0,96 PF	0,97 PF	0,01 PF	1,04	98,6
5.	Rata-rata Keseluruhan					99,07

Hasil Perbandingan Sensor PZEM-004T Dan *Clamp* Meter dapat dilihat seperti pada Tabel 2. Pengukuran arus, yaitu 1,54 A dibandingkan 1,55 A, dengan selisih 0,01 A, *error* 0,64%, dan akurasi 99,3%. Parameter *power factor* menunjukkan nilai 0,96 pada PZEM-004T dan 0,97 pada *clamp* meter, dengan selisih 0,01, *error* 1,04%, serta akurasi 98,9%. Perbedaan tersebut relatif kecil dan dapat dipengaruhi oleh resolusi sensor, ketepatan kalibrasi, perubahan beban selama pengambilan data, serta ketidaksamaan waktu sampling kedua alat. Secara keseluruhan, PZEM-004T layak digunakan untuk sistem monitoring tegangan, arus, daya, energi, dan faktor daya karena memberikan hasil yang mendekati alat ukur referensi, meskipun kalibrasi tambahan tetap disarankan untuk meningkatkan ketelitian pengukuran arus dan *power factor*.



Gambar 8. Grafik Perbandingan Sensor PZEM-004T Dan *Clamp* Meter

Gambar 8. PZEM-004T memiliki kinerja pengukuran yang mendekati *clamp* meter pada seluruh parameter kelistrikan. Pada pengukuran tegangan, PZEM-004T memperoleh nilai rata-rata 212,4 V, sedangkan *clamp meter* sebesar 215 V, dengan selisih 2,6 V dan *error* 1,2%. Hasil ini menunjukkan adanya kecenderungan *under-reading* pada PZEM-004T, namun masih dalam batas akurasi yang baik yaitu 98,8%.

Pada parameter arus, hasil pembacaan PZEM-004T sebesar 1,54 A dan *clamp meter* sebesar 1,55 A, dengan perbedaan hanya 0,01 A atau *error* 0,64%. Nilai tersebut menunjukkan tingkat kesesuaian yang sangat tinggi dengan akurasi 99,3%. Perbedaan kecil dapat dipengaruhi oleh sensitivitas sensor CT, posisi pemasangan, resolusi alat, serta perubahan kondisi beban saat pengukuran.

Pengukuran daya menunjukkan PZEM-004T membaca 314,6 W, sedangkan *clamp meter* sebesar 315,6 W, dengan selisih sekitar 1 W dan *error* 0,31%. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi pembacaan tegangan, arus, dan faktor daya pada PZEM-004T mampu menghasilkan estimasi daya aktif yang sangat mendekati alat referensi dengan akurasi 99,6%.

Pada pengukuran *power factor*, PZEM-004T menghasilkan nilai 0,96, sedangkan *clamp meter* sebesar 0,97, dengan selisih 0,01 dan *error* 1,04%. Kedua hasil menunjukkan faktor daya yang baik karena mendekati nilai 1. Perbedaan dapat terjadi akibat metode perhitungan, resolusi pembacaan, dan karakteristik harmonisa beban.

3.2.3 Pengujian Beban Setiap Kondisi

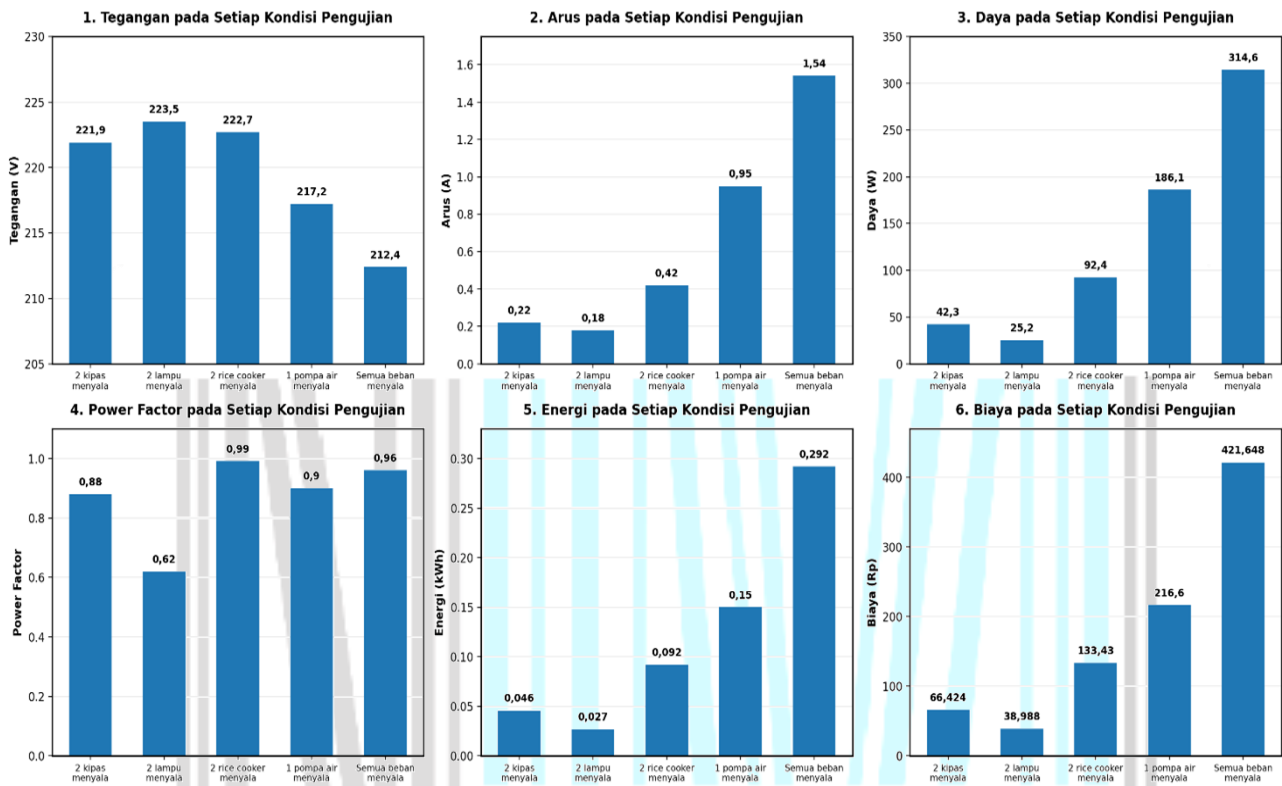
Pengujian beban dengan kondisi yang berbeda beda dilakukan untuk mengetahui tegangan, arus, daya, faktor daya, energi serta biaya Ketika menggunakan peralatan listrik yang berbeda, sistem R&D (*research and development*) dilakukan pengujian agar mengetahui alat pada sistem sudah berjalan sesuai dengan standar atau masih perlu adanya perbaikan sistem jika belum sesuai dengan standar yang ditetapkan. Hasil pengujian beban bertahap naik disajikan pada Tabel 3

Tabel 3. Data Pengujian Beban Setiap Kondisi

Kondisi Beban	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Power Factor (PF)	Energi (Kwh)	Biaya (Rp)	Durasi	Blynk	LCD
2 Kipas Menyala	221,9	0,22	42,3	0,88	0,046	66,424	1Jam	Menampilkan	Menampilkan
2 Lampu Menyala	223,5	0,18	25,2	0,62	0,027	38,988	1Jam	Menampilkan	Menampilkan
2 Rice Cooker menyala	222,7	0,42	92,4	0,99	0,092	133,43	1Jam	Menampilkan	Menampilkan
1 Pompa Air	217,2	0,95	186,1	0,9	0,15	216,6	1Jam	Menampilkan	Menampilkan
Semua Beban Menyala	212,4	1,54	314,6	0,96	0,292	421,648	1Jam	Menampilkan	Menampilkan

Data pada pengujian setiap kondisi beban dapat dilihat seperti Tabel 3. Pada pengujian dua kipas, tegangan tercatat 221,9 V, arus 0,22 A, daya aktif 42,3 W, dan faktor daya 0,88. Nilai faktor daya yang mendekati 1 menunjukkan bahwa motor kipas bekerja cukup efisien, meskipun masih terdapat

komponen daya reaktif akibat sifat induktif motor. Selama durasi satu jam, energi yang tercatat sebesar 0,046 kWh dengan estimasi biaya Rp66,424. Nilai daya juga relatif konsisten dengan hubungan antara tegangan, arus, dan faktor daya, sehingga pembacaan pada kondisi ini dapat dinilai logis dan stabil. Data berhasil ditampilkan pada *Blynk*, yang menunjukkan sistem komunikasi dan monitoring bekerja dengan baik.



Gambar 9. Grafik Hasil Pengujian Pada Setiap Kondisi

Gambar 9. Perubahan jumlah beban menyebabkan variasi tegangan, namun masih relatif stabil pada rentang 212,4–223,5 V. Penurunan tegangan terjadi saat semua beban aktif akibat peningkatan arus, tetapi sistem masih mampu bekerja dengan baik. Nilai arus meningkat seiring bertambahnya beban, dari 0,18 A pada 2 lampu hingga 1,54 A pada semua beban, menunjukkan sensor PZEM-004T mampu mendeteksi perubahan konsumsi arus. Daya meningkat secara signifikan berdasarkan jumlah beban. Nilai terendah terjadi pada 2 lampu sebesar 25,2 W, sedangkan tertinggi pada semua beban sebesar 314,6 W. Beban pompa air menghasilkan daya besar yaitu 186,1 W karena karakteristik motor yang membutuhkan daya lebih tinggi.

Nilai *power factor* tertinggi terdapat pada 2 *rice cooker* sebesar 0,99, sedangkan terendah pada 2 lampu sebesar 0,62. Pada kondisi semua beban, PF mencapai 0,96, menunjukkan penggunaan daya tetap efisien. Konsumsi energi berbanding lurus dengan daya, dengan nilai tertinggi 0,292 kWh pada semua beban dan terendah 0,027 kWh pada 2 lampu. Estimasi biaya listrik mengikuti pola konsumsi energi, yaitu semakin besar energi yang digunakan maka semakin tinggi biaya. Biaya terendah terdapat pada 2 lampu sebesar Rp38,988, sedangkan tertinggi pada semua beban sebesar Rp421,648.

Hasil ini menunjukkan sistem monitoring mampu mengukur parameter listrik dan menghitung estimasi biaya berdasarkan variasi beban secara baik

Tabel 4. Data Blynk Dan LCD Terhadap Koneksi Internet

Koneksi internet	Jumlah Percobaan	Sistem Monitoring		LCD		Blynk	
		Beroperasi	Tidak Beroperasi	Terupdate	Tidak Terupdate	Terupdate	Tidak Terupdate
Terkoneksi	10 x	10x	0	10x	0	10x	0
Tidak Terkoneksi	10 x	10x	0	10x	0	0	10x

Data antara *Blynk* dan LCD ketika terhubung atau terputus dari koneksi internet seperti pada Tabel 4. Berdasarkan hasil pengujian pada tabel, sistem monitoring diuji sebanyak 10 kali pada kondisi internet terhubung dan tidak terhubung. Saat koneksi internet tersedia, sistem berhasil beroperasi dan memperbarui data pada LCD serta *Blynk* sebanyak 10 kali percobaan. Sementara itu, saat koneksi internet tidak tersedia, sistem monitoring tetap beroperasi dan LCD tetap menampilkan data dengan hasil 10 kali terupdate, namun data pada *Blynk* tidak mengalami pembaruan karena proses pengiriman data membutuhkan koneksi internet. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki kemampuan monitoring lokal yang tetap berjalan tanpa internet, sedangkan fungsi monitoring jarak jauh melalui *Blynk* hanya dapat digunakan ketika koneksi internet tersedia.

Tabel 5. Data Kontrol Blynk Serta Tampilan Pada LCD

Tanggal/ Jam	Kontrol Relay Dari Blynk				Kondisi beban	Blynk	Lcd
	Relay 1	Relay 2	Relay 3	Relay4			
5-8-2026 / 13.00	ON	OFF	OFF	OFF	Lampu 1 Menyala	Lampu 1: Hidup Lampu 2: Mati Kipas 1: Mati Kipas 2: Mati	Lampu 1: Hidup Lampu 2: Mati Kipas 1: Mati Kipas 2: Mati
5-8-2026 / 13.15	OFF	ON	OFF	OFF	Lampu 2 Menyala	Lampu 1: Mati Lampu 2: Hidup Kipas 1: Mati Kipas 2: Mati	Lampu 1: Mati Lampu 2: Hidup Kipas 1: Mati Kipas 2: Mati
5-8-2026 / 13.30	OFF	OFF	ON	OFF	Kipas 1 Menyala	Lampu 1: Mati Lampu 2: Mati Kipas 1: Hidup Kipas 2: Mati	Lampu 1: Mati Lampu 2: Mati Kipas 1: Hidup Kipas 2: Mati
5-8-2026 / 13.40	OFF	OFF	OFF	ON	Kipas 2 Menyala	Lampu 1: Mati Lampu 2: Mati Kipas 1: Mati Kipas 2: Hidup	Lampu 1: Mati Lampu 2: Mati Kipas 1: Mati Kipas 2: Hidup

Data kontrol *Blynk* dan LCD seperti pada Tabel 5. Hasil pengujian kontrol *relay* menunjukkan bahwa sistem mampu mengendalikan beban listrik sesuai dengan perintah yang diberikan melalui *Blynk*. Pada pengujian pukul 13.00, aktivasi *Relay* 1 dalam kondisi *ON* berhasil menyalakan Lampu 1, sedangkan *relay* lainnya dalam kondisi *OFF*. Selanjutnya, pengujian pukul 13.15 dengan kondisi

Relay 2 ON berhasil mengaktifkan Lampu 2. Pada pukul 13.30, aktivasi *Relay 3 ON* mampu menghidupkan Kipas 1, sedangkan pada pukul 13.40, *Relay 4 ON* berhasil mengaktifkan Kipas 2. Setiap perubahan kondisi beban berhasil dideteksi dan ditampilkan pada *LCD* serta aplikasi *Blynk* secara *real-time*.

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, seluruh *relay* dapat bekerja sesuai dengan fungsi masing-masing dalam mengontrol beban yang terhubung. Sistem mampu menerima perintah kontrol, mengaktifkan perangkat, serta menampilkan informasi kondisi beban melalui media monitoring *LCD* dan *Blynk*. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi antara *ESP32*, modul *relay*, *LCD I2C*, dan platform *Blynk* telah berjalan dengan baik dan mampu digunakan sebagai sistem kontrol serta monitoring beban listrik secara lokal maupun jarak jauh.

4. PENUTUP

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian, sistem monitoring serta pengendalian energi listrik berbasis *ESP32* berhasil bekerja sesuai tujuan penelitian. Sensor *PZEM-004T* mampu membaca tegangan, arus, daya aktif, faktor daya, dan energi, kemudian *ESP32* mengolah data tersebut untuk menghitung estimasi biaya pemakaian listrik serta menampilkannya secara *real-time* melalui aplikasi *Blynk*. Sistem *relay* juga dapat mengendalikan kondisi *ON/OFF* beban dari jarak jauh. Pengujian pada dua kipas, dua lampu, dua *rice cooker*, dan seluruh beban menunjukkan bahwa perubahan jumlah beban diikuti oleh perubahan arus, daya, energi, dan biaya, sedangkan tegangan sumber tetap relatif stabil. Hasil perbandingan dengan *clamp* meter menghasilkan akurasi rata-rata sebesar 99,18%, sehingga *PZEM-004T* dinilai memadai untuk aplikasi monitoring energi listrik rumah tangga.

Berdasarkan integrasi *PZEM-004T*, *ESP32*, *relay*, jaringan internet, dan *Blynk* telah memenuhi fungsi pemantauan parameter listrik, perhitungan konsumsi serta biaya, dan pengendalian beban secara jarak jauh. Pengembangan berikutnya disarankan mencakup penyimpanan data historis, grafik konsumsi harian dan bulanan, notifikasi batas daya atau biaya, proteksi arus dan tegangan, serta pengendalian beban otomatis berdasarkan prioritas. Kalibrasi pada variasi beban dan rentang arus yang lebih luas juga diperlukan untuk meningkatkan akurasi, keamanan, dan keandalan sistem.

PERSANTUNAN

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, kesehatan, kekuatan, dan kemudahan-Nya sehingga seluruh rangkaian penelitian serta penyusunan naskah publikasi ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang mendalam kepada kedua orang tua serta seluruh keluarga atas doa, kasih sayang, pengorbanan, dan dukungan yang senantiasa diberikan selama proses penelitian berlangsung. Ucapan terima kasih secara khusus penulis sampaikan kepada Bapak Hasyim Asy'ari, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, evaluasi, saran, motivasi, serta meluangkan waktu untuk mendampingi setiap tahap pelaksanaan penelitian dan penyusunan naskah. Penulis juga

menyampaikan terima kasih kepada kedua orangtua saya yang telah memberikan dukungan baik secara dana, semangat, dukungan sewaktu saya mengerjakan proses tugas akhir ini.

Ucapan terima kasih saya ucapkan kepada teman teman saya yang selalu menemani dalam proses pengerjaan skripsi dan menghadirkan hiburan ketika sedang pusing dalam melakukan pengerjaan tugas akhir, dukungan yang selalu diberikan serta saling membantu dalam hal kebaikan ini yang berada dalam grup “anak murid walid” yang beranggotakan Dava Chairul Ramadhoni, Buyung Arya Putranda Jaya, Hutama Rukmana, Salman Al-Farisi, Asfiyail Fadhil, Muhamad Nur Wahyudi, X’sa Rahmat, Panji Santosa. Semoga seluruh bantuan, perhatian, dan kebaikan yang telah diberikan memperoleh balasan terbaik dari Allah SWT.

DAFTAR PUSTAKA

- El-Kozondar, H. J., Mtair, S. Y., Qoffa, K. O., Qasem, O. I., Munyarawi, A. H., Nassar, Y. F., Bayoumi, E. H. E., & El Halim, A. A. E. B. A. (2024). A smart energy monitoring system using ESP32 microcontroller. *E-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 9, 100666. <https://doi.org/10.1016/j.prime.2024.100666>
- Garcés, H. O., Godoy, J., Riffo, G., Sepúlveda, N. F., Espinosa, E., & Ahmed, M. A. (2025). *Development of an IoT-Enabled Smart Electricity Meter for Real-Time Energy Monitoring and Efficiency*. 14(1173), 1–36. <https://doi.org/10.3390/electronics14061173>
- Jokanan, J. W., Widodo, A., Kholis, N., & Rakhmawati, L. (2022). Rancang Bangun Alat Monitoring Daya Listrik Berbasis IoT Menggunakan Firebase Dan Aplikasi Android. *Jurnal Teknik Elektro*, 11(1), 47–55. <https://doi.org/https://doi.org/10.26740/jte.v11n1.p47-55>
- Munoz, O., Acuña, A., Rosales, P., Acuna, A., Suastegui, A., & Lara, F. (2022). *Design and Development of an IoT Smart Meter with Load*. 22(7536), 1–24. <https://doi.org/10.3390/s22197536>
- Oh, J. (2020). *IoT-Based Smart Plug for Residential Energy Conservation: An Empirical Study Based on 15 Months’ Monitoring*. 13(4035), 1–13. <https://doi.org/10.3390/en13154035>
- Sasono, S. H. W. (2022). Rancang Bangun Sistem Pencatatan Kwh Meter. *Majalah Ilmiah Pengembangan Rekayasa Dan Sosial*, 18(3), 323–328. <https://doi.org/https://doi.org/10.32497/orbith.v18i3.4376>
- Sianturi, J., & Putra, I. Z. (2021). Energy Monitoring System : Alat 1 Phasa W7. *Journal of Applied Sciences, Electrical Engineering and Computer Technology*, 2(1), 6–14. <https://doi.org/https://doi.org/10.30871/aseect.v2i1.2937>