

Sistem Monitoring Konsumsi Daya Listrik Tiga Fasa Berbasis IoT pada Gedung PENMARU Universitas Muhammadiyah Lampung

Yudi Eka Putra^{1*}, Oktavia Eka Rahayu², Yenni Afrida³, Agus Santoso⁴, Jeckson⁵, Fitriyono⁶, Sri Suryani⁷

Universitas Muhammadiyah Lampung; Jl. ZA. Pagar Alam No.14, Labuhan Ratu, Kec. Kedaton, Kota Bandar Lampung, Lampung 35132

Received: 10-05-2026
Accepted: 26-05-2026

Keywords:

Internet of Things (IoT);
Monitoring daya listrik;
ESP32;
PZEM-004T;
Sistem Tiga Fasa

Correspondent Email:

yudiekaputra@mail.uml.ac.id

Abstrak. Penggunaan energi listrik pada gedung dengan sistem distribusi tiga fasa memerlukan proses monitoring yang baik agar penggunaan energi dapat dikontrol secara efektif dan efisien. Permasalahan yang sering terjadi pada sistem kelistrikan gedung adalah ketidakseimbangan beban antar fasa, keterlambatan deteksi gangguan, serta proses monitoring yang masih dilakukan secara manual sehingga kondisi penggunaan daya listrik tidak dapat dipantau secara real-time. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem monitoring konsumsi daya listrik berbasis Internet of Things (IoT) pada Gedung PENMARU Universitas Muhammadiyah Lampung menggunakan sensor PZEM-004T dan mikrokontroler ESP32. Kebaruan penelitian ini terletak pada implementasi sistem monitoring daya listrik tiga fasa berbasis IoT yang dilengkapi dashboard monitoring berbasis web server, notifikasi Telegram secara otomatis. Sistem dirancang untuk memonitor parameter kelistrikan berupa tegangan, arus, daya aktif, energi listrik, dan faktor daya secara real-time melalui jaringan Wi-Fi. Metode penelitian yang digunakan adalah Research and Development (R&D) yang meliputi tahap perancangan sistem, implementasi perangkat keras dan perangkat lunak, pengujian sistem, serta analisis hasil pengukuran. Validasi pengukuran dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor PZEM-004T terhadap alat ukur standar Multimeter Sanwa RD700 menggunakan metode persentase error. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan monitoring parameter kelistrikan secara real-time dengan rata-rata error pengukuran di bawah 1%. Waktu respons pengiriman data ke server kurang dari dua detik, sedangkan nilai ketidakseimbangan beban antar fasa sebesar 0,85% masih berada di bawah batas toleransi 10% berdasarkan standar IEEE 1159-2019. Hasil pengujian selama tujuh hari menunjukkan rata-rata daya pada fasa R sebesar 74,86 W, fasa S sebesar 225,64 W, dan fasa T sebesar 51,01 W dengan total konsumsi energi sebesar 47,06 kWh. Dengan demikian, sistem monitoring yang dirancang dinilai mampu membantu proses pemantauan konsumsi energi listrik secara lebih efektif, responsif, aman, dan efisien.

Abstract. The use of electrical energy in buildings equipped with three-phase distribution systems necessitates effective monitoring to ensure that energy consumption can be managed efficiently. Common issues in building electrical systems include load imbalances between phases, delayed fault detection, and the reliance on manual monitoring processes, which prevent real-time tracking of electrical power consumption. This study aims to design and develop an Internet of Things (IoT)-based electrical power consumption monitoring system for the PENMARU Building at Universitas Muhammadiyah

Lampung, utilizing PZEM-004T sensors and an ESP32 microcontroller. The novelty of this research lies in the implementation of a three-phase electrical power monitoring system that features a web server-based monitoring dashboard, automatic Telegram notifications. The system is designed to monitor electrical parameters such as voltage, current, active power, electrical energy, and power factor in real-time via a Wi-Fi network. The research method employed was Research and Development (R&D), which encompassed system design, hardware and software implementation, system testing, and analysis of measurement results. Validation of the measurements was achieved by comparing the readings from the PZEM-004T sensor against a standard Sanwa RD700 multimeter, using the percentage error method. The results demonstrated that the system could monitor electrical parameters in real-time, with an average measurement error of less than 1%. The data transmission response time to the server was under two seconds, and the load imbalance between phases was measured at 0.85%, remaining below the 10% tolerance limit set by the IEEE 1159-2019 standard. The seven-day testing results revealed that the average power consumption was 74.86 W for phase R, 225.64 W for phase S, and 51.01 W for phase T, with total electrical energy consumption amounting to 47.06 kWh. In conclusion, the proposed monitoring system is deemed capable of effectively, responsively, securely, and efficiently supporting the monitoring of electrical energy consumption.

1. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan utama dalam mendukung aktivitas operasional di lingkungan perguruan tinggi. Hampir seluruh kegiatan administrasi, pelayanan akademik, maupun penggunaan fasilitas pendukung di Gedung PENMARU Universitas Muhammadiyah Lampung bergantung pada ketersediaan energi listrik yang stabil dan berkelanjutan. Seiring meningkatnya penggunaan perangkat elektronik dan peralatan pendukung aktivitas kampus, konsumsi energi listrik juga mengalami peningkatan yang cukup signifikan. Kondisi tersebut memerlukan sistem monitoring yang mampu memantau penggunaan energi secara efektif agar efisiensi energi dan keandalan sistem kelistrikan tetap terjaga.

Permasalahan yang umum terjadi pada sistem distribusi listrik tiga fasa adalah ketidakseimbangan beban antar fasa, keterlambatan deteksi gangguan, serta monitoring penggunaan daya listrik yang masih dilakukan secara manual dan berkala. Kondisi tersebut menyebabkan penggunaan energi listrik tidak dapat dipantau secara real-time sehingga potensi pemborosan energi maupun gangguan kelistrikan sering terlambat diketahui. Dalam jangka panjang, ketidakseimbangan beban dapat menimbulkan

panas berlebih pada penghantar dan peralatan listrik, menurunkan efisiensi sistem, serta meningkatkan risiko kerusakan instalasi listrik.

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) memberikan solusi yang lebih efektif dalam sistem monitoring energi listrik. Teknologi IoT memungkinkan proses pengumpulan dan pengiriman data dilakukan secara otomatis melalui jaringan internet sehingga kondisi konsumsi daya dapat dipantau secara real-time. Pada penelitian ini, sistem monitoring dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor PZEM-004T untuk membaca parameter kelistrikan pada sistem tiga fasa, seperti tegangan, arus, daya aktif, energi listrik, dan faktor daya. Data hasil pembacaan sensor kemudian dikirim melalui jaringan Wi-Fi menuju dashboard monitoring berbasis web server sehingga kondisi penggunaan energi listrik dapat dipantau secara langsung.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem monitoring daya listrik berbasis IoT. Irgi Surya (2023) mengembangkan smart energy meter berbasis ESP32 dan PZEM-004T menggunakan platform Blynk, namun implementasinya masih terbatas pada sistem satu fasa dan belum dilengkapi fitur notifikasi otomatis [1]. Wendhi Yuniarto dkk. (2023) merancang sistem monitoring dan kontrol energi listrik tiga fasa

berbasis IoT dengan tingkat akurasi yang baik, tetapi belum menerapkan sistem keamanan data dan peringatan lokal ketika koneksi internet terganggu [2]. Penelitian lain yang dilakukan oleh Megi Lestari dkk. (2024) berhasil mengembangkan monitoring daya listrik berbasis website, namun masih difokuskan pada sistem satu fasa dan belum memiliki fitur deteksi dini terhadap lonjakan beban [3]. Sementara itu, penelitian Achmad Amru dkk. (2025) menunjukkan bahwa sistem monitoring daya listrik berbasis IoT masih memiliki kelemahan pada akurasi pembacaan arus dan belum mendukung monitoring tiga fasa secara terintegrasi [5].

Berdasarkan penelitian terdahulu tersebut, dapat diketahui bahwa sebagian besar penelitian masih berfokus pada sistem monitoring listrik satu fasa, belum menerapkan sistem keamanan data monitoring, serta belum mengintegrasikan fitur peringatan dini secara real-time pada sistem distribusi listrik gedung tiga fasa. Selain itu, implementasi monitoring energi listrik pada gedung kampus dengan sistem distribusi tiga fasa secara terintegrasi masih belum banyak dikembangkan. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan sistem monitoring konsumsi daya listrik yang mampu melakukan pemantauan secara real-time, memiliki sistem keamanan data, serta mendukung deteksi dini terhadap gangguan dan ketidakseimbangan beban listrik.

Kebaruan (novelty) penelitian ini terletak pada pengembangan sistem monitoring konsumsi daya listrik tiga fasa berbasis Internet of Things (IoT) yang terintegrasi dengan dashboard monitoring berbasis web server, notifikasi otomatis melalui Telegram, serta pengamanan data menggunakan enkripsi AES-128. Selain itu, penelitian ini diimplementasikan pada sistem distribusi listrik gedung kampus secara real-time dengan validasi pengukuran menggunakan multimeter standar dan evaluasi ketidakseimbangan beban berdasarkan standar IEEE 1159-2019.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem monitoring konsumsi daya listrik berbasis IoT pada Gedung PENMARU Universitas Muhammadiyah Lampung menggunakan sensor PZEM-004T dan mikrokontroler ESP32. Sistem yang dirancang diharapkan mampu membantu proses monitoring energi listrik secara lebih efektif,

responsif, aman, dan efisien serta mendukung pengelolaan energi listrik pada lingkungan gedung kampus.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai sistem monitoring konsumsi daya listrik berbasis *Internet of Things* (IoT) saat ini terus berkembang seiring meningkatnya kebutuhan terhadap pengelolaan energi listrik yang lebih efisien. Pemanfaatan teknologi IoT memungkinkan proses pemantauan penggunaan listrik dilakukan secara real-time sehingga kondisi konsumsi energi dapat diketahui dengan lebih cepat dan akurat. Selain membantu proses pengawasan, sistem monitoring juga dapat digunakan untuk mendeteksi gangguan pada instalasi listrik dan mengurangi potensi pemborosan energi. Penelitian yang dilakukan oleh Irgi Surya pada tahun 2023 mengembangkan *smart energy meter* berbasis IoT menggunakan ESP32 dan sensor PZEM-004T. Sistem tersebut mampu menampilkan data tegangan, arus, daya, dan energi listrik secara real-time melalui aplikasi Blynk. Penelitian ini cukup membantu dalam proses monitoring konsumsi listrik rumah tangga, namun implementasinya masih terbatas pada sistem satu fasa dan belum dilengkapi fitur peringatan otomatis ketika terjadi lonjakan beban listrik [1].

Selanjutnya, Wendhi Yuniarto merancang sistem monitoring dan kontrol energi listrik tiga fasa berbasis IoT menggunakan ESP32 dan platform ThingsBoard. Sistem yang dikembangkan memiliki tingkat akurasi pengukuran yang baik dan mampu melakukan kontrol otomatis saat terjadi ketidakseimbangan beban. Meskipun demikian, penelitian tersebut belum dilengkapi sistem keamanan data maupun peringatan lokal ketika koneksi internet mengalami gangguan [2].

Penelitian lain yang dilakukan oleh Megi Lestari dkk berhasil mengembangkan sistem monitoring daya listrik berbasis website menggunakan sensor PZEM-004T dan ESP32. Sistem mampu melakukan pemantauan konsumsi daya secara real-time dengan tingkat akurasi yang cukup tinggi. Namun, penelitian tersebut masih difokuskan pada instalasi listrik satu fasa dan belum memiliki fitur notifikasi

ketika terjadi lonjakan atau anomali penggunaan daya listrik [3].

Prasetyo Yuliantoro dkk pada tahun 2024 juga mengembangkan sistem monitoring konsumsi daya listrik berbasis IoT menggunakan NodeMCU dan platform Blynk. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dapat bekerja secara real-time dengan keterlambatan pengiriman data yang relatif rendah. Akan tetapi, sistem yang dikembangkan masih ditujukan untuk penggunaan rumah tangga sehingga penerapannya pada sistem distribusi listrik skala gedung masih belum optimal [4].

Sementara itu, Achmad Amru dkk. Pada tahun 2025 merancang sistem monitoring daya listrik berbasis IoT menggunakan sensor PZEM-004T dan NodeMCU untuk kebutuhan rumah tangga dan industri kecil. Penelitian tersebut dinilai cukup efektif dalam membantu proses monitoring konsumsi energi listrik, tetapi akurasi pembacaan arus masih memiliki tingkat error yang cukup tinggi dan belum menerapkan monitoring sistem tiga fasa secara terintegrasi [5].

Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu tersebut, dapat dilihat bahwa sistem monitoring konsumsi daya listrik berbasis IoT mampu membantu proses pemantauan energi secara real-time dan meningkatkan efisiensi penggunaan listrik. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada sistem satu fasa dan penggunaan skala rumah tangga. Selain itu, implementasi monitoring pada gedung dengan sistem distribusi listrik tiga fasa serta fitur deteksi dini terhadap lonjakan beban masih belum banyak dikembangkan. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada pengembangan sistem monitoring konsumsi daya listrik berbasis IoT pada Gedung PENMARU Universitas Muhammadiyah Lampung untuk membantu proses pemantauan energi listrik secara real-time dan mendukung efisiensi penggunaan energi pada gedung.

2.2. Internet of Thing (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan teknologi yang memungkinkan perangkat fisik saling terhubung melalui jaringan internet untuk melakukan pertukaran data secara real-time. Pada sistem monitoring energi listrik, IoT digunakan untuk mengirimkan data hasil pengukuran sensor menuju server atau

dashboard monitoring sehingga kondisi penggunaan energi dapat dipantau dari jarak jauh [6].

Dalam penelitian ini, teknologi IoT diterapkan menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terhubung ke jaringan Wi-Fi untuk mengirimkan data parameter kelistrikan hasil pembacaan sensor PZEM-004T ke dashboard monitoring berbasis web server secara real-time. Penerapan IoT pada sistem monitoring energi listrik mampu membantu proses pemantauan konsumsi energi menjadi lebih efektif dan responsif [7].

2.3. Daya Listrik

Daya listrik merupakan besaran yang menunjukkan jumlah energi listrik yang digunakan dalam suatu sistem kelistrikan. Pada sistem arus bolak-balik (AC), daya listrik terdiri dari daya aktif, daya reaktif, dan daya semu yang saling berkaitan dalam menentukan efisiensi penggunaan energi listrik. Daya aktif merupakan daya yang digunakan oleh beban untuk melakukan kerja nyata dan dinyatakan dalam satuan Watt (W). Persamaan daya aktif ditunjukkan pada Persamaan (1).

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

Keterangan:

P = Daya Aktif (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

$\cos \varphi$ = Faktor Daya (selisih sudut antara tegangan dan arus)

Daya reaktif merupakan daya yang diperlukan untuk membentuk medan magnet pada peralatan listrik induktif seperti motor dan transformator. Persamaan daya reaktif ditunjukkan pada Persamaan (2).

$$Q = V \times I \times \sin \varphi \quad (2)$$

Keterangan:

Q = Daya Reaktif (VAR)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

$\sin \varphi$ = Komponen sudut antara tegangan dan arus yang tidak menghasilkan daya nyata.

Sedangkan daya semu merupakan total daya yang disuplai oleh sumber listrik ke beban dan dinyatakan dalam satuan Volt-Ampere (VA). Persamaan daya semu ditunjukkan pada Persamaan (3).

$$S = V \times I \quad (3)$$

Ketiga parameter tersebut digunakan dalam penelitian ini untuk menganalisis kondisi konsumsi energi listrik pada sistem distribusi tiga fasa [8], [9].

2.4. **Faktor Daya**

Faktor daya merupakan perbandingan antara daya aktif dan daya semu pada sistem tenaga listrik. Faktor daya digunakan untuk menunjukkan tingkat efisiensi penggunaan energi listrik pada suatu sistem. Semakin tinggi nilai faktor daya, maka semakin besar energi listrik yang dapat dimanfaatkan menjadi kerja nyata [10]. Persamaan faktor daya ditunjukkan pada Persamaan (4).

$$\text{Faktor Daya} = \frac{P}{S} = \cos \varphi \quad (4)$$

Keterangan:

P = daya aktif (Watt)

S = daya semu (Volt-Ampere)

$\cos \varphi$ = faktor daya

Nilai faktor daya yang rendah dapat meningkatkan rugi-rugi daya pada sistem distribusi listrik sehingga efisiensi penggunaan energi menjadi berkurang [10], [11]

2.5. **Konsumsi Energi Listrik**

Konsumsi energi listrik merupakan jumlah energi listrik yang digunakan oleh suatu perangkat atau sistem dalam periode waktu tertentu. Besarnya konsumsi energi dipengaruhi oleh daya listrik dan lama waktu penggunaan. Persamaan konsumsi energi listrik ditunjukkan pada Persamaan (5).

$$E = \frac{P \times t}{1000} \quad (5)$$

Keterangan:

E = energi listrik (kWh)

P = daya aktif (watt)

T = waktu penggunaan (jam)

Monitoring konsumsi energi listrik secara real-time sangat penting dalam mendukung efisiensi energi karena dapat membantu pengguna mengetahui pola penggunaan listrik dan mendeteksi pemborosan energi [12].

2.6. **Mikrokontroler ESP32**

ESP32 merupakan mikrokontroler yang telah dilengkapi fitur Wi-Fi dan Bluetooth sehingga banyak digunakan dalam pengembangan sistem Internet of Things (IoT). ESP32 memiliki kemampuan komunikasi data secara real-time melalui jaringan internet dengan konsumsi daya yang relatif rendah [13].

Dalam penelitian ini, ESP32 digunakan sebagai pusat pengendali sistem untuk membaca data dari sensor PZEM-004T, memproses parameter kelistrikan, serta mengirimkan data hasil monitoring menuju dashboard berbasis web server melalui jaringan Wi-Fi.

2.7. **Sensor PZEM-004T**

Sensor PZEM-004T merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur parameter kelistrikan pada sistem arus bolak-balik (AC), seperti tegangan, arus, daya aktif, energi listrik, frekuensi, dan faktor daya [13]. Sensor ini menggunakan Current Transformer (CT) untuk membaca arus listrik tanpa memutus jalur utama sehingga lebih aman digunakan pada sistem monitoring daya listrik. Data hasil pembacaan sensor kemudian dikirimkan menuju mikrokontroler ESP32 melalui komunikasi serial untuk diproses dan ditampilkan pada dashboard monitoring secara real-time.

2.8. **Monitoring Konsumsi Daya Listrik**

Monitoring konsumsi daya listrik merupakan proses pemantauan penggunaan energi listrik pada suatu sistem kelistrikan untuk mengetahui kondisi penggunaan energi secara real-time. Sistem monitoring energi listrik dapat membantu mendeteksi ketidakseimbangan beban, lonjakan arus, maupun potensi pemborosan energi sehingga pengelolaan energi listrik menjadi lebih efektif. [14].

Pada penelitian ini, sistem monitoring menggunakan sensor PZEM-004T dan mikrokontroler ESP32 untuk membaca

parameter kelistrikan dan mengirimkan data hasil monitoring menuju dashboard berbasis web server secara real-time [15], [16].

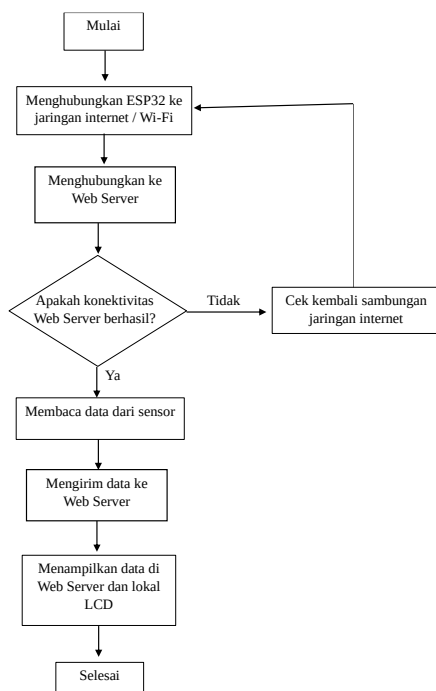
3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah Research and Development (R&D). Tahapan penelitian meliputi studi literatur, perancangan sistem perangkat keras dan perangkat lunak, implementasi sistem monitoring, pengujian komunikasi data, kalibrasi sensor, serta analisis hasil monitoring konsumsi daya listrik pada Gedung PENMARU Universitas Muhammadiyah Lampung.

3.2. Perancangan Sistem

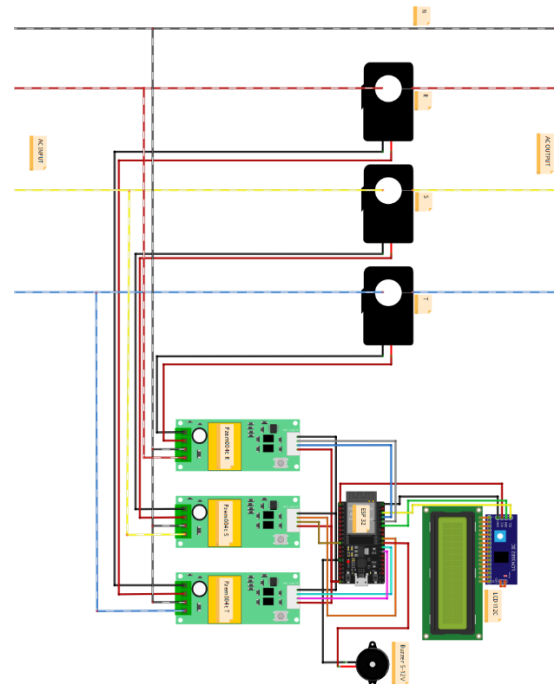
Sistem monitoring dirancang menggunakan sensor PZEM-004T dan mikrokontroler ESP32 untuk memonitor parameter kelistrikan tiga fasa berupa tegangan, arus, daya aktif, energi listrik, dan faktor daya secara real-time. Data hasil pembacaan sensor dikirimkan melalui jaringan Wi-Fi menuju dashboard monitoring berbasis web server.



Gambar 1. Diagram Alir Sistem

Gambar 1 menunjukkan diagram alir sistem monitoring, sedangkan Gambar 2

menunjukkan skema perancangan sistem dan wiring antar komponen utama.



Gambar 2. Skema Perancangan Sistem

Diagram wiring sistem menunjukkan hubungan sensor PZEM-004T pada masing-masing fasa R, S, dan T menuju ESP32 melalui komunikasi serial RX-TX. Data hasil pembacaan sensor kemudian diproses oleh ESP32 sebelum dikirimkan menuju dashboard monitoring berbasis web server secara real-time.

3.3. Flow Komunikasi Data

Flow komunikasi data dimulai dari pembacaan parameter kelistrikan oleh sensor PZEM-004T pada masing-masing fasa. Data hasil pengukuran dikirim menuju ESP32 melalui komunikasi serial, kemudian diproses dan diteruskan melalui jaringan Wi-Fi menuju server IoT. Data yang diterima server divisualisasikan dalam bentuk dashboard monitoring dan grafik konsumsi daya listrik secara real-time. Sistem juga mengirimkan notifikasi otomatis melalui Telegram ketika terjadi kondisi abnormal seperti lonjakan daya atau ketidakseimbangan beban.

3.4. Metode Kalibrasi Sensor

Kalibrasi sensor dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor

PZEM-004T terhadap alat ukur standar Multimeter Sanwa RD700. Parameter yang diuji meliputi tegangan dan arus pada masing-masing fasa. Nilai error dihitung menggunakan metode persentase error antara hasil pembacaan sensor dan hasil pengukuran alat standar. Persamaan persentase error ditunjukkan pada Persamaan (6).

$$Error = \left| \frac{Nilai Referensi - Nilai Sensor}{Nilai Referensi} \right| \times 100\% \quad (6)$$

Hasil pengujian menunjukkan bahwa rata-rata error pengukuran berada di bawah 1%, sehingga sistem dinilai memiliki tingkat akurasi yang baik untuk monitoring energi listrik secara real-time.

3.5. Implementasi Monitoring IoT

Sistem monitoring IoT menampilkan data parameter kelistrikan melalui dashboard berbasis web server secara real-time. Selain itu, sistem juga dilengkapi fitur notifikasi Telegram untuk memberikan peringatan dini ketika terjadi lonjakan daya, tegangan tidak normal, atau ketidakseimbangan beban listrik.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

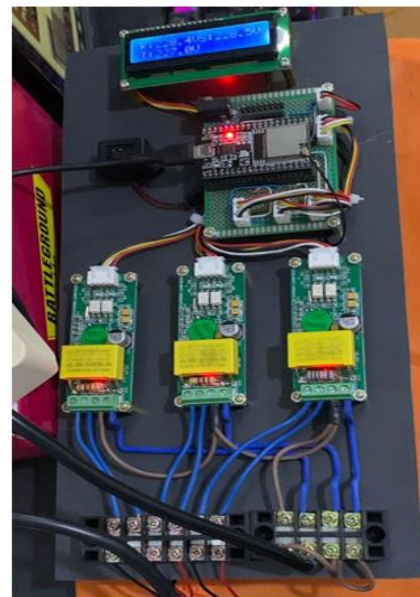
4.1. Hasil Implementasi Sistem Monitoring

Sistem monitoring konsumsi daya listrik berhasil dirancang menggunakan sensor PZEM-004T dan mikrokontroler ESP32 untuk memonitor parameter kelistrikan tiga fasa secara real-time. Parameter yang dimonitor meliputi tegangan, arus, daya aktif, energi listrik, dan faktor daya pada masing-masing fasa. Data hasil pembacaan sensor dikirimkan melalui jaringan Wi-Fi menuju dashboard monitoring berbasis web server dan ditampilkan secara real-time.

Pengujian sistem dilakukan pada salah satu panel distribusi listrik di Gedung PENMARU Universitas Muhammadiyah Lampung yang digunakan sebagai titik sampling penelitian. Monitoring tidak dilakukan pada keseluruhan beban gedung, melainkan pada jalur distribusi tertentu yang mewakili kondisi konsumsi daya listrik pada area pengujian. Oleh karena itu, nilai daya yang diperoleh merupakan hasil pengukuran pada

panel pengujian dan bukan total konsumsi daya seluruh gedung.

Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem mampu membaca parameter kelistrikan dengan stabil serta menampilkan data monitoring pada dashboard IoT dan LCD lokal secara real-time. Selain itu, sistem juga berhasil mengirimkan notifikasi Telegram ketika parameter kelistrikan melebihi batas yang telah ditentukan.



Gambar 3. Hasil Perancangan Alat Monitoring Konsumsi Daya



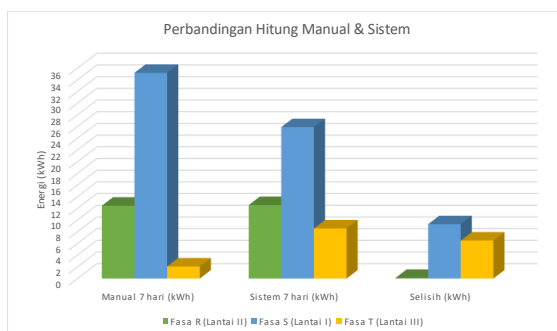
Gambar 4. Hasil Pemasangan Rangkaian di Panel

4.2. Hasil Pengujian Akurasi Sensor

Pengujian akurasi dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor

PZEM-004T terhadap alat ukur standar Multimeter Sanwa RD700. Parameter yang diuji meliputi tegangan dan arus pada masing-masing fasa. Hasil pengujian menunjukkan bahwa rata-rata error pengukuran sistem berada di bawah 1%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sensor PZEM-004T memiliki tingkat akurasi yang baik untuk digunakan pada sistem monitoring energi listrik berbasis IoT. Perbedaan hasil pengukuran antara sensor dan alat ukur standar dipengaruhi oleh toleransi sensor, kestabilan tegangan jaringan, serta perubahan beban selama proses pengambilan data berlangsung.

Dari hasil perbandingan dengan alat ukur standar multimeter digital Sanwa RD700, diperoleh nilai error pengukuran tegangan relatif kecil, yaitu berada pada rentang 0,04% hingga 0,22%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi yang baik karena nilai error masih berada di bawah batas toleransi pengukuran $\pm 1\%$.



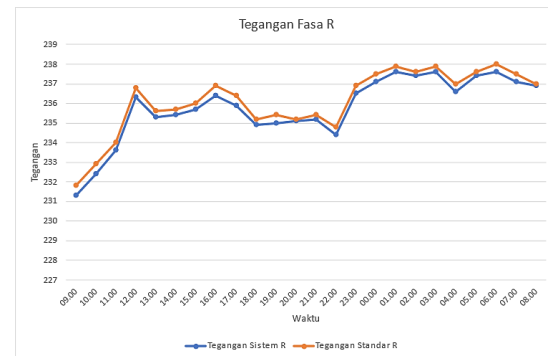
Gambar 5. Grafik Perbandingan manual & Sistem

4.3. Hasil Monitoring Konsumsi Daya Listrik

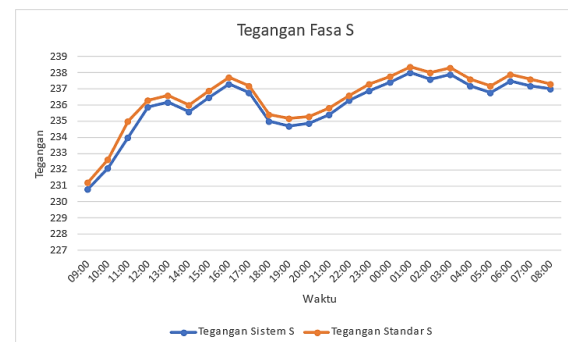
Hasil monitoring selama tujuh hari menunjukkan bahwa rata-rata daya pada fasa R sebesar 74,86 W, fasa S sebesar 225,64 W, dan fasa T sebesar 51,01 W. Perbedaan nilai daya antar fasa menunjukkan adanya ketidakseimbangan distribusi beban pada panel pengujian.

Daya pada fasa S memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan fasa R dan fasa T karena sebagian besar beban aktif selama pengujian terhubung pada jalur fasa S. Beban tersebut berasal dari perangkat elektronik dan sistem penerangan yang memiliki waktu operasi lebih dominan dibandingkan beban pada fasa lainnya.

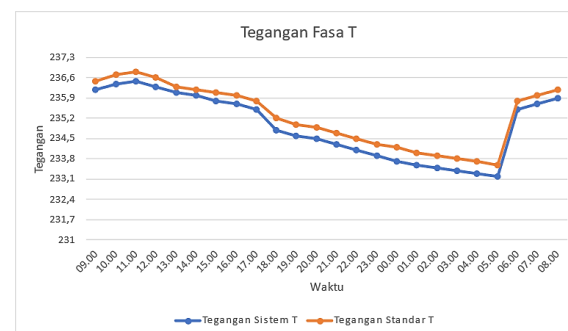
Meskipun demikian, kondisi ketidakseimbangan beban yang terjadi masih berada dalam batas toleransi sistem distribusi listrik tiga fasa.



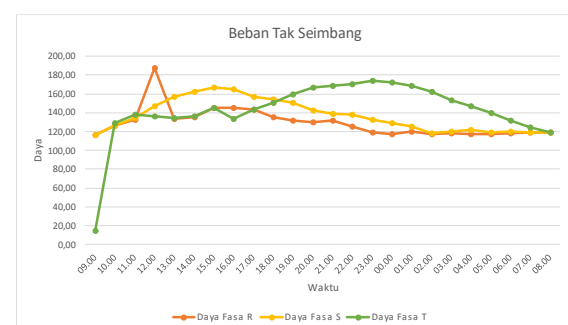
Gambar 6. Grafik Pengukuran Fasa R



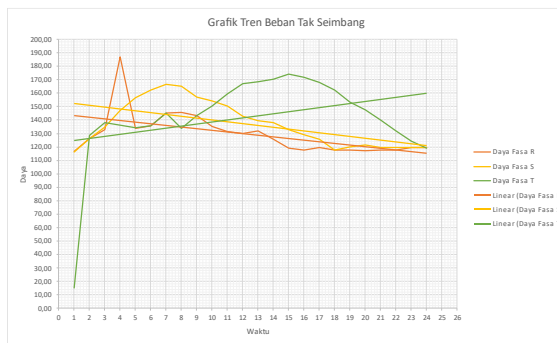
Gambar 7. Grafik Pengukuran Fasa S



Gambar 8. Grafik Pengukuran Fasa T



Gambar 9. Grafik Beban Tak Seimbang



Gambar 10. Grafik Tren Beban Tak Seimbang

Berdasarkan hasil analisis, nilai ketidakseimbangan beban rata-rata sebesar 0,85% sehingga masih berada di bawah batas toleransi 10% berdasarkan standar IEEE 1159-2019. Dengan demikian, kondisi sistem distribusi listrik pada panel pengujian masih tergolong aman dan belum menunjukkan indikasi overload maupun gangguan distribusi daya yang signifikan.

4.4. Analisis Konsumsi Energi Listrik

Hasil monitoring menunjukkan bahwa total konsumsi energi listrik selama tujuh hari pengujian sebesar 47,06 kWh. Nilai tersebut merepresentasikan penggunaan energi listrik pada panel distribusi yang diamati selama periode penelitian berlangsung. Pola konsumsi energi cenderung meningkat pada jam operasional aktif karena penggunaan perangkat elektronik dan sistem penerangan berlangsung secara bersamaan. Selain itu, sistem monitoring menunjukkan bahwa perubahan konsumsi daya dapat dipantau secara real-time sehingga memudahkan proses evaluasi penggunaan energi listrik pada panel distribusi.

Berdasarkan hasil pengamatan, tidak ditemukan lonjakan daya yang signifikan selama proses monitoring berlangsung. Nilai arus dan daya yang terukur masih berada dalam batas operasi normal sesuai kapasitas panel distribusi yang digunakan pada penelitian. Hal tersebut menunjukkan bahwa sistem monitoring mampu membantu proses pemantauan kondisi kelistrikan secara lebih responsif dan mendukung upaya efisiensi penggunaan energi listrik.

Hasil perbandingan antara sistem monitoring dan perhitungan manual menunjukkan bahwa total energi yang terukur oleh sistem sebesar 47,06 kWh, sedangkan hasil

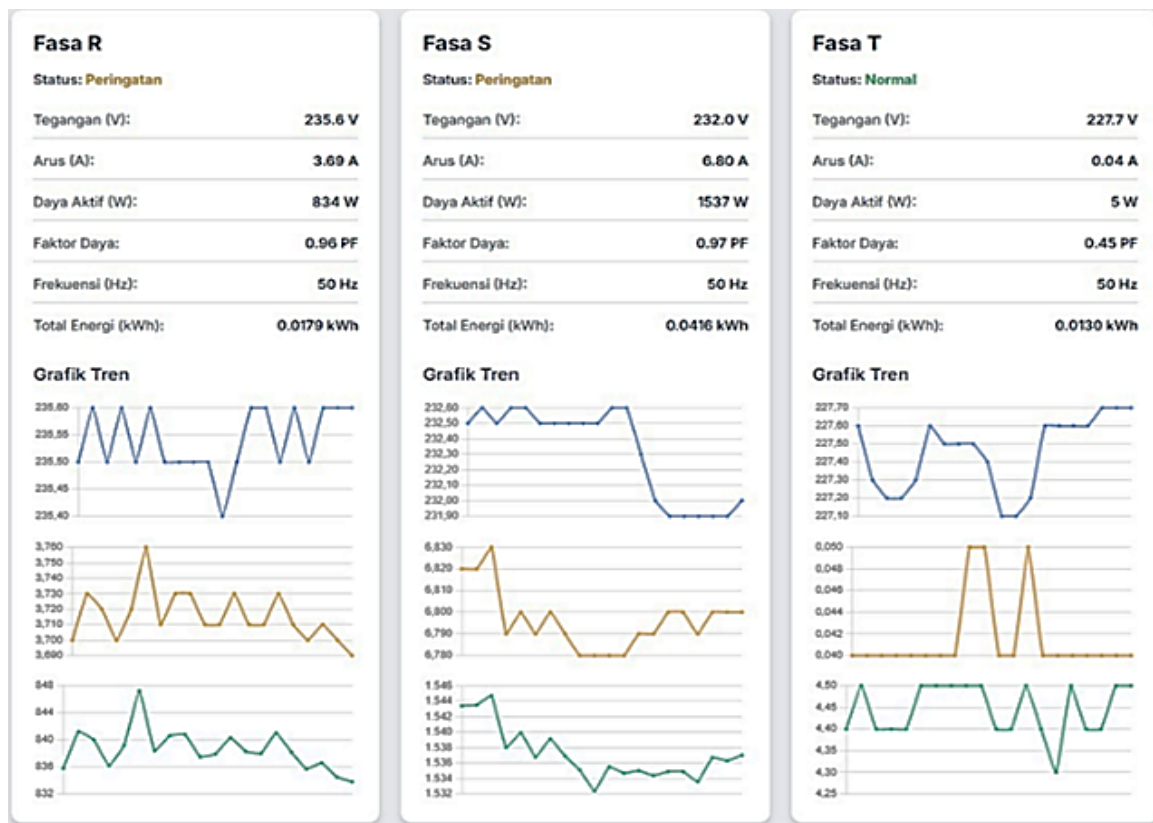
perhitungan manual mencapai 49,746 kWh selama periode tujuh hari. Selisih pengukuran dipengaruhi oleh kondisi penggunaan beban aktual yang tidak selalu bekerja pada daya maksimum serta proses monitoring yang dilakukan pada sebagian jalur distribusi panel pengujian. Meskipun demikian, nilai error yang diperoleh masih berada di bawah batas toleransi pengukuran sehingga sistem dinilai mampu bekerja dengan baik dalam melakukan monitoring konsumsi energi listrik secara real-time.

4.5. Pengujian Pengiriman Data dan Notifikasi IoT

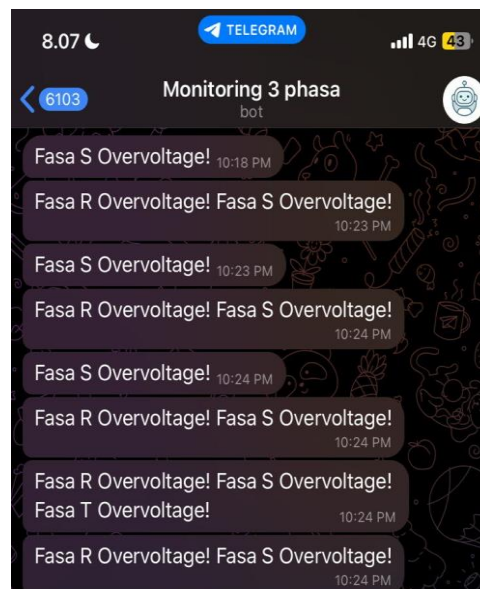
Pengujian komunikasi data dilakukan untuk memastikan bahwa data hasil pembacaan sensor dapat dikirimkan menuju dashboard monitoring secara real-time. Hasil pengujian menunjukkan bahwa ESP32 mampu mengirimkan data monitoring menuju web server melalui jaringan Wi-Fi dengan waktu respons pengiriman kurang dari dua detik pada kondisi jaringan normal.

ESP32 mampu melakukan pengiriman data monitoring ke web server secara real-time melalui jaringan Wi-Fi. Sistem juga mampu melakukan reconnect otomatis ketika koneksi jaringan terputus sehingga proses monitoring tetap dapat berjalan dengan baik. Berdasarkan hasil keseluruhan pengujian, sistem monitoring yang dirancang dinilai mampu bekerja dengan cukup baik dalam melakukan monitoring konsumsi daya listrik secara real-time pada sistem tiga fasa.

Data hasil monitoring berhasil divisualisasikan dalam bentuk angka dan grafik pada dashboard berbasis web server sehingga kondisi penggunaan energi listrik dapat dipantau secara langsung. Sistem juga dilengkapi fitur notifikasi Telegram yang berfungsi sebagai sistem peringatan dini ketika terjadi kondisi abnormal seperti lonjakan daya, tegangan tidak normal, atau ketidakseimbangan beban listrik. Berdasarkan hasil pengujian, sistem berhasil mengirimkan notifikasi secara otomatis menuju aplikasi Telegram ketika parameter kelistrikan melebihi batas yang telah ditentukan. Dengan adanya fitur tersebut, proses monitoring menjadi lebih efektif karena pengguna dapat menerima informasi kondisi sistem secara cepat dan real-time.



Gambar 11. Tampilan Data Terkirim pada Dashboard



Gambar 12. Tampilan Pesan di Telegram

5. KESIMPULAN

- Sistem monitoring konsumsi daya listrik berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan sensor PZEM-004T dan mikrokontroler ESP32 mampu melakukan monitoring parameter kelistrikan tiga fasa secara real-time

dengan tingkat error pengukuran di bawah 1%, sehingga sistem memiliki tingkat akurasi yang baik dalam membaca tegangan, arus, daya aktif, dan energi listrik.

- Hasil pengujian selama tujuh hari menunjukkan rata-rata daya pada fasa R

sebesar 74,86 W, fasa S sebesar 225,64 W, dan fasa T sebesar 51,01 W dengan total konsumsi energi sebesar 47,06 kWh. Selain itu, nilai ketidakseimbangan beban masih berada di bawah standar IEEE 1159-2019 sehingga sistem distribusi listrik dapat dikategorikan dalam kondisi stabil dan aman.

- c. Sistem monitoring mampu menampilkan data konsumsi daya listrik secara real-time melalui dashboard IoT dengan waktu respons pengiriman data yang stabil, sehingga kondisi penggunaan energi listrik dapat dipantau dengan lebih cepat dan efisien.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Muhammadiyah Lampung khususnya Program Studi Teknik Elektro yang telah memberikan dukungan, fasilitas, serta kesempatan dalam pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada seluruh pihak di lingkungan Gedung PENMARU Universitas Muhammadiyah Lampung yang telah membantu selama proses pengambilan data dan pengujian sistem monitoring konsumsi daya listrik berbasis IoT sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Surya *dkk.*, “Sistem monitoring beban listrik dan perbaikan faktor daya menggunakan PZEM004T dan dashboard Adafruit berbasis IoT,” *JITEL (Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Elektronika, dan Listrik Tenaga)*, vol. 3, no. 3, hlm. 235–246, Sep 2023, doi: 10.35313/jitel.v3.i3.2023.235-246.
- [2] W. Yuniarto, M. Diponegoro, E. Program Studi Teknik Elektro, P. Negeri Pontianak, K. Barat, dan K. Kunci, “Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Kontrol Energi Listrik pada Beban 3 Fasa Menggunakan ESP32 Berbasis Internet of Things (IoT),” 2023.
- [3] M. Lestari, I. Riezky Pratiwi, dan P. Manufaktur Negeri Bangka Belitung, “Sistem Pemantauan Daya Listrik Berbasis Website,” vol. 02, no. 1, 2024.
- [4] A. A. Pradana, P. Yuliantoro, dan S. Indriyanto, “Perancangan Sistem Monitoring Daya Listrik 1 Fasa Pada Rumah Tangga Berbasis Internet Of Things,” *Jurnal*

SINTA: Sistem Informasi dan Teknologi Komputasi, vol. 1, no. 1, hlm. 1–9, Jan 2024, doi: 10.61124/sinta.v1i1.13.

- [5] A. Amru *dkk.*, “Pemanfaatan Power Meter PZEM-004T Berbasis IoT Untuk Pemantauan Daya Listrik Secara Real-Time,” 2025.
- [6] T. Domínguez-Bolaño, O. Campos, V. Barral, C. J. Escudero, dan J. A. García-Naya, “An overview of IoT architectures, technologies, and existing open-source projects,” 1 November 2022, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.iot.2022.100626.
- [7] D. Aryo Atmanto, R. Wardana Nanditama, W. Suteddy, dan A. Adiwilaga, “Sistem Monitoring Konsumsi Energi Listrik Berbasis IoT Menggunakan Fuzzy Logic Mamdani IoT-Based Electrical Energy Consumption Monitoring System Using Fuzzy Logic Mamdani,” *TELKA*, vol. 11, no. 2, hlm. 151–166, 2025.
- [8] A. U. Saputra *dkk.*, “Analisa Perbaikan Faktor Daya Menggunakan Kapasitor Bank Pada Penyulang Suruk Pt Pln (Persero) Ulp Putussibau.”
- [9] Syafruddin HS, Janter Napitupulu, Joslen Sinaga, dan Banuara Sitorus, “Studi Kompensasi Daya Reaktif Terhadap Kenaikan Faktor Daya,” *Maret*, vol. 11, no. 1, hlm. 11–20, 2022.
- [10] S. Sukardinal, Y. Ridal, dan C. Nazallul, “Analisis Pengaruh Faktor Daya Terhadap Efisiensi Pemakaian Energi Listrik Pada Pelanggan Golongan Tarif I-3 Pt. PLN (Persero) UP3 Padang,” no. 2, Okt 2025, doi: 10.31933/ejpp.xxxx.
- [11] S. Isnur Haryudo, H. Nindhom Zen, dan P. Studi, “Desain dan Implementasi Kapasitor Bank Otomatis Berbasis Mikrokontroler untuk Koreksi Faktor Daya,” *Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, vol. 20, no. 01, hlm. 2549–3442, doi: 10.23960/elc.v20.n1.2960.
- [12] H. A. B. Lesnussa, M. Fauzan Hidayat, dan L. A. Wenno, “Evaluasi Konsumsi Energi Listrik Pada Gedung Rektorat POLBANGTAN Manokwari,” *Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, vol. 19, no. 03, hlm. 2549–3442, doi: 10.23960/elc.v19n3.2892.
- [13] S. Khaeri, B. Gilang Pratama, dan T. Handayani, “Rancang Bangun Sistem Monitoring Energi Listrik Berbasis IoT Untuk Pemantauan dan Analisis Konsumsi Daya.”
- [14] W. Agustiarini *dkk.*, “Real-Time IoT-based Energy Power Consumption Monitoring

- System for Smart Homes,” vol. 15, no. 5, 2025.
- [15] M. Munir dan I. Setiawan Wibisono, “Pemantauan Daya Listrik Real-Time Menggunakan IoT untuk Efisiensi Energi Rumah Tangga,” *Jurnal Algoritma*, vol. 22, no. 2, Nov 2025, doi: 10.33364/algoritma/v.22-2.2391.
- [16] M. T. Muslihi *dkk.*, “Pengembangan dan Evaluasi Sistem Monitoring Konsumsi Daya Listrik Berbasis IoT dengan Sensor PZEM-004T dan ESP8266”.