
IoT-Based Electrical Energy Monitoring and Control

Damar Jati Said Dzaky^{a,1,*}, Dr. Ir. Hartoyo, S.Pd., M.Pd., M.T.^{b,2}

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

¹ damarjati.2021@student.uny.ac.id; ² hartoyo@uny.ac.id

* Corresponding Author

ARTICLE INFO

Article History

Received 8 October 2025

Revised 7 December 2025

Accepted 7 January 2026

Keywords

IoT;

ESP32;

Monitoring Energi;

Kontrol Energi;

ABSTRACT

This study focuses on the design and implementation of an Internet of Things (IoT)-based system for monitoring and controlling electrical energy usage in the KP meeting room of Riss Hotel Malioboro. The proposed system combines the ESP32 microcontroller with PZEM-004T V3.0 sensors, relay modules, and an LCD I2C display to track voltage, current, active power, and energy consumption in real time. Furthermore, Thinger.io is utilized as the cloud visualization platform, while a Telegram bot is integrated to automatically send daily notifications. The primary purpose of this research is to deliver accurate, real-time, and easily accessible information regarding electricity usage, thereby supporting effective energy management. The methodology covers hardware design, software development, and integrated system testing. The ESP32 operates as the central controller, responsible for processing data from sensors and maintaining communication with both Thinger.io and Telegram. The PZEM-004T modules measure three-phase electrical parameters, while the relay unit allows remote operation of connected devices. To assess system performance, functional testing was conducted for each module, and measurement accuracy was validated by comparing sensor outputs with standard instruments in accordance with IEC 13B-23. Data were presented locally on the LCD screen and remotely via the IoT dashboard. The findings indicate that the system operates as expected, with all modules working in line with the design specifications. The PZEM-004T sensors produced measurement results with an error rate below 5%, fulfilling IEC requirements. The relay showed an average response time of 1.2 seconds, ensuring reliable switching of loads. Cloud-based monitoring via Thinger.io and automatic reporting through Telegram also functioned effectively, offering both real-time insights and daily summaries. In summary, this IoT-based solution provides a reliable and efficient approach for monitoring and managing electrical energy in meeting room environments. Future improvements may involve adding more parameters, integrating a database, and incorporating automated load management features.

Penelitian ini berfokus pada perancangan dan implementasi sistem berbasis Internet of Things (IoT) untuk memantau dan mengendalikan penggunaan energi listrik di ruang meeting KP Riss Hotel Malioboro. Sistem yang dikembangkan mengintegrasikan mikrokontroler ESP32 dengan sensor PZEM-004T V3.0, modul relay, serta tampilan LCD I2C guna memantau tegangan, arus, daya aktif, dan konsumsi energi secara real-time. Selain itu, Thinger.io dimanfaatkan sebagai platform visualisasi berbasis cloud, sedangkan bot Telegram digunakan untuk mengirim notifikasi otomatis setiap hari. Tujuan utama penelitian ini adalah menyediakan informasi penggunaan listrik yang akurat, real-time, dan mudah diakses sehingga dapat mendukung manajemen energi yang lebih efektif. Metodologi penelitian meliputi perancangan perangkat keras, pengembangan perangkat lunak, dan pengujian integrasi sistem. ESP32 berfungsi sebagai pengendali utama yang bertugas memproses data dari sensor sekaligus menjaga komunikasi dengan Thinger.io dan Telegram. Sensor PZEM-004T digunakan untuk mengukur parameter listrik tiga fasa, sementara modul relay memungkinkan pengendalian beban dari jarak jauh. Pengujian fungsional dilakukan untuk menilai kinerja tiap komponen, sedangkan pengujian akurasi dilakukan dengan membandingkan hasil sensor terhadap instrumen standar sesuai IEC 13B-23. Data ditampilkan secara lokal melalui layar LCD dan secara jarak jauh melalui platform IoT. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dapat beroperasi sesuai dengan rancangan, dengan semua komponen berfungsi sebagaimana mestinya. Sensor PZEM-004T menghasilkan pengukuran dengan tingkat kesalahan di bawah 5% sehingga memenuhi standar IEC. Modul relay memiliki waktu respons rata-rata 1,2 detik yang memastikan kendali beban berjalan andal. Pemantauan melalui Thinger.io dan notifikasi otomatis via Telegram juga bekerja dengan baik, menyediakan laporan penggunaan energi secara real-time maupun harian. Kesimpulannya, sistem ini mampu memberikan solusi yang efisien dan andal untuk pemantauan serta pengendalian energi listrik pada fasilitas ruang rapat. Pengembangan lebih lanjut dapat mencakup penambahan parameter lain, integrasi basis data, serta penerapan fitur manajemen beban otomatis.

This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



1. Pendahuluan

Kemajuan teknologi *Internet of Things* (IoT) dalam beberapa tahun terakhir telah memberikan dampak yang besar terhadap peningkatan efisiensi pengelolaan energi. Melalui integrasi sensor, mikrokontroler, dan layanan berbasis *cloud*, IoT memungkinkan pemantauan konsumsi listrik secara *real time* dengan akses yang lebih akurat dan mudah. Penerapan teknologi ini sangat relevan terutama pada sektor perhotelan yang memiliki kebutuhan energi listrik tinggi sehingga membutuhkan strategi pengelolaan energi yang efisien dan berkelanjutan [1]–[3].

Sistem monitoring konvensional sering kali memiliki keterbatasan karena tidak mampu menyajikan data secara *real time*. Kondisi ini menyulitkan pihak manajemen dalam melakukan evaluasi maupun mengambil keputusan terkait upaya efisiensi energi. Oleh karena itu, diperlukan sistem monitoring yang dapat menampilkan data tegangan, arus, daya, serta energi secara langsung sekaligus menyediakan fasilitas kontrol beban dari jarak jauh [4].

Berbagai penelitian di Indonesia telah mengkaji pemanfaatan perangkat dan platform IoT untuk

kebutuhan monitoring energi. Misalnya, Yusuf et al. memanfaatkan NodeMCU ESP8266 dengan sensor ACS712 untuk memantau penggunaan listrik rumah tangga secara real-time melalui platform berbasis web [5]. Sementara itu, Laksono et al. merancang sistem pemantauan energi menggunakan ESP32 dan sensor PZEM-004T, yang memungkinkan visualisasi konsumsi energi serta pengalihan sumber daya otomatis melalui Blynk [6].

Berbeda dengan penelitian sebelumnya, studi ini mengimplementasikan sistem monitoring dan pengendalian energi berbasis IoT dengan memanfaatkan ESP32, sensor PZEM-004T, modul relay, LCD I2C, platform Thinger.io, dan bot Telegram. Sistem yang dirancang tidak hanya menyediakan pemantauan secara real-time, tetapi juga mendukung kontrol beban otomatis serta pelaporan harian secara otomatis, sehingga lebih praktis diterapkan pada manajemen energi ruang pertemuan hotel.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem monitoring serta kontrol energi listrik berbasis IoT dengan mengintegrasikan ESP32, sensor PZEM-004T, relay, LCD I2C, Thinger.io, dan bot Telegram. Dengan adanya sistem ini, diharapkan informasi energi dapat diperoleh secara real-time sehingga mendukung manajemen energi yang lebih efisien pada sektor perhotelan.

2. Pendekatan Pemecahan Masalah

2.1 ESP 32

ESP32 berperan sebagai pengendali utama pada sistem monitoring dan kontrol energi listrik. Pemilihan mikrokontroler ini didasarkan pada kemampuannya dalam mendukung koneksi Wi-Fi, menjalankan multitasking, serta kompatibel dengan berbagai jenis sensor. Penggunaan mikrokontroler IoT seperti ESP32 telah terbukti efektif untuk pengembangan sistem pemantauan energi karena menawarkan stabilitas dan fleksibilitas yang tinggi [7].

2.2 Sensor PZEM-004T V3.0

Sensor PZEM-004T V3.0 dimanfaatkan untuk melakukan pengukuran tegangan, arus, daya, serta energi listrik secara real-time. Perangkat ini banyak digunakan dalam penelitian terkait pemantauan listrik satu fasa maupun tiga fasa karena memiliki tingkat akurasi yang baik serta mudah diintegrasikan dengan mikrokontroler [8].

2.3 Modul Relay

Modul relay berperan sebagai aktuator yang memungkinkan pengendalian beban listrik dari jarak jauh. Melalui penggunaan relay, perangkat dapat diatur untuk menyala atau mati sesuai kebutuhan. Penerapan relay dalam sistem IoT terbukti dapat meningkatkan efisiensi sekaligus memberikan fleksibilitas dalam pengendalian peralatan listrik [9].

2.4 LCD I2C

LCD I2C dimanfaatkan sebagai media tampilan lokal untuk menunjukkan data parameter listrik tanpa perlu membuka dashboard online. Keberadaan tampilan langsung ini memudahkan pengguna dalam melakukan pemantauan kondisi sistem secara real-time. Berdasarkan penelitian sebelumnya, penyediaan tampilan lokal terbukti mendukung keandalan sistem monitoring IoT saat diimplementasikan pada lingkungan nyata [10].

2.5 Thinger.io

Thinger.io berfungsi sebagai platform berbasis cloud yang digunakan untuk menyimpan serta menampilkan data hasil pengukuran. Pemanfaatan platform IoT dalam berbagai penelitian telah terbukti mampu meningkatkan aksesibilitas sekaligus mempermudah proses visualisasi data bagi pengguna [11].

2.6 Bot Telegram

Bot Telegram dimanfaatkan sebagai sarana notifikasi yang berfungsi mengirimkan laporan otomatis terkait konsumsi energi. Pemanfaatan Telegram dalam sistem IoT dinilai sesuai karena menawarkan akses yang mudah serta kemampuan penyampaian informasi secara real-time [12]

3. Perancangan Alat

Perancangan sistem monitoring dan kontrol energi listrik berbasis IoT dilakukan secara bertahap, dimulai dari analisis kebutuhan, perancangan sistem, perakitan komponen perangkat keras, pengembangan perangkat lunak, hingga pelaksanaan pengujian.

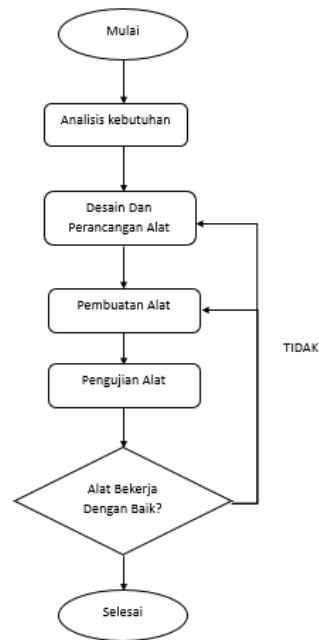


Fig. 1. Diagram Alir Penelitian

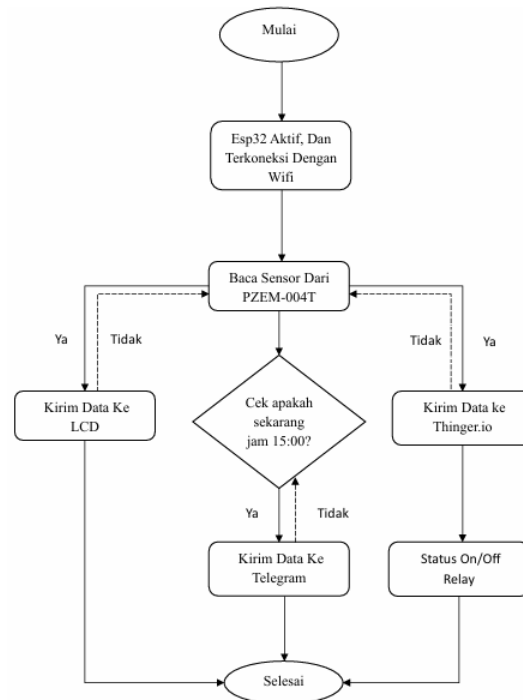
Setiap tahap perancangan disusun secara sistematis untuk memastikan sistem dapat berfungsi sesuai dengan tujuan penelitian. Alur pengembangan alat digambarkan dalam bentuk diagram alir yang menunjukkan keterkaitan antarproses, mulai dari input sensor hingga keluaran berupa monitoring real-time, pengendalian beban, serta notifikasi otomatis.

Mengacu pada flowchart sistem yang ditampilkan pada Gambar 2, proses kerja prototipe sistem monitoring dan kontrol energi listrik berbasis IoT diawali dengan inisialisasi perangkat, yaitu mikrokontroler ESP32, sensor PZEM-004T, modul relay, dan LCD I2C. Setelah perangkat aktif, ESP32 melakukan pembacaan data dari sensor PZEM-004T, yang mencakup parameter tegangan, arus, daya, dan energi listrik pada tiap fasa secara real-time. Data hasil pengukuran kemudian diolah dan ditampilkan melalui LCD sebagai tampilan lokal, sekaligus dikirim ke platform Thinger.io agar dapat divisualisasikan pada dashboard berbasis cloud.

Selain itu, sistem juga terintegrasi dengan bot Telegram yang berfungsi mengirimkan laporan harian secara otomatis, berisi informasi daya terkini dan total konsumsi energi selama 24 jam terakhir. Diagram alir tersebut memperlihatkan bagaimana sistem berjalan secara terstruktur dalam melakukan pemantauan parameter listrik, menyajikan data real-time baik secara lokal maupun jarak jauh, serta menyediakan opsi pengendalian beban otomatis untuk mendukung efisiensi energi pada ruang pertemuan hotel.

3.1 Diagram Alir Sistem

Gambar berikut menampilkan diagram alir dari Sistem Monitoring dan Kontrol Energi Listrik berbasis Internet of Things (IoT).

Fig. 2. Diagram Alir Sistem

Berdasarkan diagram alir sistem yang ditampilkan pada Gambar 2, proses kerja prototipe sistem monitoring dan kontrol energi listrik berbasis IoT diawali dengan tahap inisialisasi perangkat, yang mencakup mikrokontroler ESP32, sensor PZEM-004T, modul relay, serta tampilan LCD I2C. Setelah semua komponen aktif, mikrokontroler ESP32 mulai membaca data dari sensor PZEM-004T, meliputi parameter tegangan, arus, daya, dan energi listrik secara real-time pada setiap fasa. Data hasil pembacaan tersebut kemudian diolah dan ditampilkan secara lokal melalui layar LCD, sekaligus dikirim ke platform Thingier.io untuk divisualisasikan pada dashboard berbasis cloud.

Selain itu, sistem terintegrasi dengan bot Telegram yang berfungsi mengirimkan laporan harian secara otomatis berisi informasi daya saat ini dan total konsumsi energi selama periode 24 jam terakhir. Diagram alir ini menjelaskan bagaimana sistem bekerja secara terstruktur dalam melakukan pemantauan parameter listrik, menampilkan data secara real-time, serta membantu mendukung efisiensi penggunaan energi pada ruang pertemuan hotel.

3.2 Desain Hardware

Tahapan berikutnya dalam penelitian ini adalah melakukan perancangan dan pembuatan perangkat keras (hardware) untuk sistem monitoring dan kontrol energi listrik berbasis IoT. Proses perancangan perangkat keras dibagi menjadi dua komponen utama, yaitu aspek elektrik dan aspek mekanikal. Bagian elektrik mencakup penyusunan rangkaian sensor, mikrokontroler, modul relay, serta komponen pendukung seperti LCD dan sumber daya. Sedangkan pada bagian mekanikal, kegiatan difokuskan pada penataan komponen, penempatan modul di dalam box panel, serta pengaturan jalur kabel agar sistem dapat beroperasi dengan optimal, aman, dan terorganisir dengan baik.

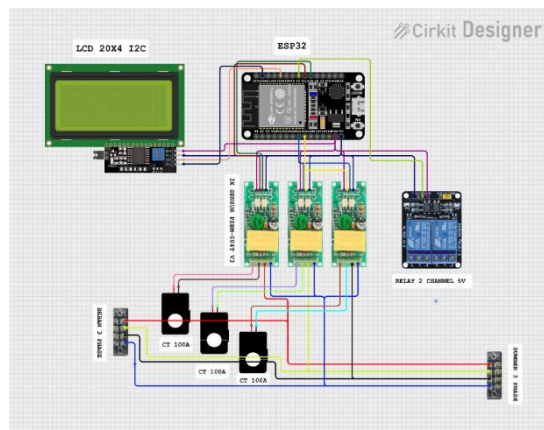


Fig. 3. Wiring Komponen

Gambar wiring diagram memperlihatkan integrasi dari seluruh komponen utama sistem, dengan ESP32 berfungsi sebagai pusat pengendali utama. Sensor PZEM-004T V3.0 dihubungkan melalui antarmuka UART untuk memperoleh data parameter listrik, sedangkan LCD I2C berperan sebagai media tampilan lokal. Modul relay dikontrol langsung oleh ESP32 guna mengatur status beban listrik sesuai kebutuhan. Selain itu, koneksi Wi-Fi dimanfaatkan untuk mengirimkan data hasil pengukuran ke platform Thingier.io serta mengirim notifikasi otomatis melalui bot Telegram. Rangkaian ini menunjukkan keterhubungan antar komponen perangkat keras yang memungkinkan sistem monitoring dan kontrol energi listrik berbasis IoT bekerja secara terpadu.

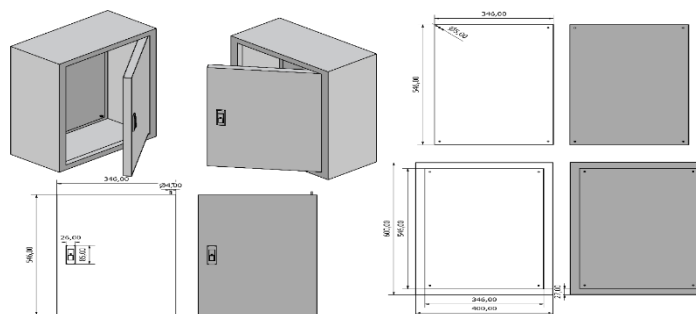


Fig. 4. Desain Panel

Gambar desain panel menampilkan rancangan panel yang berfungsi sebagai wadah utama bagi sistem monitoring dan kontrol energi listrik berbasis IoT. Panel ini digunakan untuk menempatkan seluruh komponen perangkat, melindungi rangkaian dari gangguan eksternal, serta menjaga aspek keamanan selama sistem dioperasikan. Selain itu, rancangan panel dirancang agar mempermudah proses instalasi, penataan kabel, dan kegiatan perawatan saat pengujian maupun penggunaan sistem berlangsung. Dengan adanya panel ini, seluruh perangkat dapat tersusun lebih teratur dan terintegrasi, sehingga meningkatkan keandalan sistem dalam memantau serta mengendalikan konsumsi energi listrik secara real-time.

3.3 Desain Software

Perancangan perangkat lunak pada sistem ini dilakukan menggunakan Arduino IDE dengan pemrograman yang diimplementasikan pada mikrokontroler ESP32. Kode program dikembangkan untuk membaca data dari sensor PZEM-004T, menampilkan hasil pengukuran melalui LCD I2C, mengirimkan data ke platform Thingier.io, serta mengendalikan modul relay sebagai aktuator beban listrik. Selain itu, perangkat lunak juga diintegrasikan dengan bot Telegram yang berfungsi mengirimkan laporan otomatis setiap hari berisi informasi daya terkini dan total konsumsi energi. Melalui desain ini, perangkat lunak mampu menjalankan fungsi monitoring, pengendalian, dan notifikasi secara terhubung dan efisien.

4. Hasil dan Pembuatan

4.1 Hasil dan Pembuatan Hardware Sistem

Hasil perancangan perangkat keras pada sistem monitoring dan kontrol energi listrik berbasis IoT terdiri atas dua komponen utama, yaitu bagian elektrikal dan mekanikal. Pada sisi elektrikal, sistem mengintegrasikan mikrokontroler ESP32 dengan sensor PZEM-004T V3.0 sebagai alat pengukuran parameter listrik, modul relay untuk pengendalian beban, serta LCD I2C sebagai media tampilan lokal. Sementara itu, bagian mekanikal berfokus pada desain panel sistem yang berfungsi sebagai wadah sekaligus pelindung seluruh komponen, sehingga instalasi menjadi lebih terorganisir, aman, dan mudah dilakukan dalam proses perawatan maupun pengujian.



Fig. 5. Hasil Alat Sistem Monitoring Dan Kontrol Energi Listrik Berbasis IoT

Gambar 5 menunjukkan hasil perancangan dan implementasi sistem monitoring serta kontrol energi listrik berbasis IoT yang telah berhasil direalisasikan. Berdasarkan tampilan panel pada gambar tersebut, sistem ini dilengkapi LCD I2C sebagai antarmuka lokal untuk menampilkan informasi secara langsung, serta modul relay yang berfungsi mengendalikan beban listrik. Pada bagian dalam panel, terdapat rangkaian elektrikal yang disusun sesuai prinsip kerja sistem, di mana mikrokontroler ESP32 berperan sebagai pusat pengendali yang terintegrasi dengan sensor PZEM-004T. Konfigurasi ini dirancang untuk menjamin sistem dapat bekerja secara optimal dalam melakukan pemantauan real-time, pengendalian beban, serta penyajian data energi listrik secara efisien.

4.2 Hasil Pembuatan Software Sistem

Pengembangan perangkat lunak pada sistem monitoring dan kontrol energi listrik berbasis IoT terdiri atas dua tahapan utama yang saling berkaitan. Tahap pertama melibatkan proses perancangan program menggunakan Arduino IDE, yang mencakup pengolahan data dari sensor PZEM-004T, pengendalian modul relay, serta komunikasi data dengan platform Thingier.io dan bot Telegram secara terintegrasi. Tahap berikutnya adalah perancangan antarmuka tampilan pada LCD I2C, yang berfungsi untuk menampilkan informasi parameter listrik seperti tegangan, arus, daya, dan energi secara real-time. Dengan rancangan ini, pengguna dapat memantau kondisi sistem secara langsung dengan cara yang efisien dan mudah dipahami.

```
43 float voltageR = 0, voltageS = 0, voltageT = 0;
44 float currentR = 0, currentS = 0, currentT = 0;
45 float powerR = 0, powerS = 0, powerT = 0;
46 float energyR = 0, energyS = 0, energyT = 0;
47 float powerTotal = 0, energyTotal = 0;
48
49 int lcdPage = 0;
50 bool sensorM3 = false;
51 unsigned long lastUpdate = 0;
52 const unsigned long interval = 1000;
53
54 // --- FUNGSI BANTUAN ---
55 float safe(float v) {
56     return isnan(v) ? 0.0 : v;
57 }
58
59 void updateSensor() {
60     voltageR = safe(pzemR.voltage());
```

Fig. 6. Program Arduino IDE

Gambar 6 memperlihatkan potongan kode program yang dikembangkan menggunakan Arduino IDE pada mikrokontroler ESP32 untuk sistem monitoring dan kontrol energi listrik berbasis Internet of Things (IoT). Program ini dirancang untuk melakukan pembacaan data dari sensor PZEM-004T, kemudian mengirimkan hasil pengukuran tersebut ke platform Thinger.io untuk ditampilkan secara online. Selain itu, kode ini juga mengatur tampilan data pada LCD I2C sebagai antarmuka lokal, mengendalikan modul relay sebagai aktuator beban, serta mengelola fitur notifikasi otomatis melalui bot Telegram agar pengguna dapat menerima laporan konsumsi energi secara real-time.

4.3 Hasil Pengujian Voltage Tanpa Beban

Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi tingkat akurasi sistem dalam melakukan pembacaan nilai tegangan listrik pada kondisi tanpa beban. Nilai pengukuran diperoleh dari dua sumber, yaitu tampilan lokal melalui LCD I2C dan data yang dikirim ke platform Thinger.io, kemudian hasilnya dibandingkan dengan pengukuran menggunakan multimeter sebagai standar acuan untuk memastikan keandalan sistem.

Tabel 1. Hasil Pengujian Voltage Tanpa Beban

Fasa	Multimeter (V)	LCD (V)	Thinger.io (V)	Error LCD (%)	Error Thinger (%)	Golongan
R	220	219	220	0,45	0,00	IV
S	220	221	220	0,45	0,00	IV
T	223	222	223	0,45	0,00	IV

Berdasarkan hasil pada Tabel 1, diperoleh bahwa selisih kesalahan (error) pembacaan tegangan dari tampilan LCD hanya sebesar 0,45%, sedangkan pada data yang dikirim melalui Thinger.io menunjukkan tidak adanya perbedaan nilai. Hasil tersebut menunjukkan bahwa tingkat akurasi pengukuran telah memenuhi kriteria Golongan IV berdasarkan standar IEC 13B-23, sehingga sistem monitoring ini dapat dikategorikan layak dan andal digunakan dalam aplikasi pemantauan energi listrik secara real-time.

4.4 Hasil Pengujian Voltage Dengan Beban

Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi tingkat akurasi pembacaan tegangan ketika sistem dioperasikan dalam kondisi berbeban. Nilai tegangan yang diperoleh dari LCD I2C dan platform Thinger.io kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan multimeter sebagai acuan. Setelah itu, dilakukan perhitungan persentase error untuk menentukan tingkat ketelitian sistem, yang selanjutnya diklasifikasikan sesuai dengan standar IEC 13B-23.

Tabel 2. Hasil Pengujian Voltage dengan Beban

Fasa	Multimeter (V)	LCD (V)	Thinger.io (V)	Error LCD (%)	Error Thinger (%)	Golongan
R	220	219	220	0,45	0,00	IV
S	220	221	220	0,45	0,00	IV
T	223	222	223	0,45	0,00	IV

Berdasarkan hasil pada Tabel 2, diketahui bahwa tingkat kesalahan (error) pengukuran tegangan pada saat sistem bekerja dalam kondisi berbeban tergolong sangat kecil, yaitu sebesar 0,45% pada tampilan LCD dan 0,00% pada platform Thinger.io. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan akurasi pengukuran yang tinggi meskipun dalam kondisi operasional sebenarnya. Dengan demikian, tingkat ketelitian yang dicapai telah memenuhi kriteria Golongan IV menurut standar IEC 13B-23, sehingga sistem dinilai andal untuk penerapan monitoring energi listrik berbasis IoT.

4.5 Hasil Pengujian Arus Tanpa Beban

Pengujian arus pada kondisi tanpa beban dilakukan untuk mengevaluasi hasil pembacaan sensor PZEM-004T yang ditampilkan melalui LCD I2C dan platform Thinger.io, kemudian dibandingkan dengan pengukuran menggunakan clamp meter sebagai alat standar. Hasil perbandingan dari pengujian tersebut disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Arus Tanpa Beban

Fasa	Clamp Meter (A)	LCD (A)	Thinger.io (A)	Error LCD (%)	Error Thinger (%)	Golongan
R	0,00	0,02	0,02	2	2	IV
S	0,00	0,02	0,03	2	3	IV
T	0,00	0,03	0,02	3	2	IV

Berdasarkan hasil pada Tabel 3, diperoleh bahwa pembacaan arus pada kondisi tanpa beban menunjukkan adanya perbedaan yang sangat kecil dibandingkan hasil pengukuran menggunakan clamp meter. Nilai kesalahan (error) yang muncul hanya berada pada kisaran 2–3%, sehingga tingkat akurasi pembacaan arus masih memenuhi kriteria Golongan IV sesuai dengan standar IEC 13B-23, yang menandakan bahwa sistem mampu melakukan pengukuran arus dengan tingkat keandalan yang baik.

4.6 Hasil Pengujian Arus Dengan Beban

Pengujian selanjutnya dilakukan pada saat sistem dioperasikan dalam kondisi berbeban guna mengamati tingkat akurasi pembacaan arus listrik. Nilai arus yang diperoleh dari LCD I2C dan platform Thinger.io kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan clamp meter sebagai alat pembanding atau acuan standar.

Tabel 4. Hasil Pengujian Arus Dengan Beban

Fasa	Clamp Meter (A)	LCD (A)	Thinger.io (A)	Error LCD (%)	Error Thinger (%)	Golongan
R	2,10	2,08	2,09	0,95	0,47	IV
S	2,15	2,16	2,15	0,47	0,00	IV
T	2,20	2,18	2,19	0,90	0,45	IV

Berdasarkan hasil pada Tabel 4, dapat diketahui bahwa tingkat kesalahan (error) pembacaan arus pada kondisi berbeban menunjukkan nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan pengujian tanpa beban, yaitu kurang dari 1% pada tampilan LCD maupun Thinger.io. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan pengukuran arus yang stabil dan akurat, serta telah memenuhi kriteria Golongan IV sesuai dengan standar IEC 13B-23, sehingga layak digunakan untuk aplikasi monitoring energi listrik secara real-time.

5. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang serta merealisasikan sistem monitoring dan kontrol energi listrik berbasis Internet of Things (IoT). Sistem yang dikembangkan menggabungkan mikrokontroler ESP32, sensor PZEM-004T, LCD I2C, modul relay, serta integrasi dengan platform Thinger.io dan Telegram bot untuk menjalankan fungsi pemantauan dan pengendalian energi listrik secara real-time. Melalui rancangan ini, pengguna dapat memantau data tegangan, arus, daya, dan energi baik melalui tampilan lokal maupun akses jarak jauh melalui jaringan internet, serta melakukan pengendalian beban secara langsung.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki kinerja yang stabil dan akurasi pengukuran yang tinggi. Nilai error pada pengukuran tegangan berada di bawah 1%, sedangkan pada pengukuran arus berada di kisaran 2–3%. Berdasarkan standar IEC 13B-23, nilai tersebut termasuk dalam kategori Golongan IV, yang menandakan bahwa sistem ini telah memenuhi standar kelayakan untuk digunakan sebagai perangkat monitoring energi listrik. Selain itu, modul relay berfungsi dengan baik dalam mengendalikan beban, baik secara manual maupun otomatis, sesuai kebutuhan operasional sistem.

Fitur tambahan berupa notifikasi harian melalui Telegram bot juga memberikan kemudahan bagi pengguna dalam memantau konsumsi energi. Laporan yang dikirim secara otomatis menampilkan daya terkini dan total konsumsi energi selama 24 jam terakhir, sehingga membantu proses pengawasan sekaligus mendukung efisiensi penggunaan energi listrik. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan tidak hanya berfungsi sebagai alat pemantauan, tetapi juga sebagai solusi inovatif yang mendukung pengelolaan energi secara cerdas, efisien, dan terintegrasi.

Referensi

- [1] M. Z. Hasan and E. Junianto, "Sistem monitoring dan kontrol peralatan listrik berbasis IoT menggunakan aplikasi Blynk," *eProsiding Teknik Informatika*, vol. 4, no. 2, pp. 401–413, 2023.
- [2] M. B. Yusuf, L. Rosyidi, and H. Saptono, "Implementasi sistem IoT untuk monitoring konsumsi energi listrik di rumah pintar," *DBESTI*, vol. 2, no. 1, pp. 1–10, 2025, doi: 10.54914/dbesti.v2i1.1354.
- [3] D. T. Laksono, A. Prabowo, and I. Kurniawan, "Rancang bangun sistem pemantauan energi listrik berbasis Internet of Things (IoT)," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan (JITET)*, vol. 10, no. 1, pp. 55–62, 2025.
- [4] S. Nurdiyanti, "Sistem monitoring daya listrik 3 fasa berbasis IoT," *ELPOSYS Polinema*, vol. 7, no. 1, pp. 21–29, 2025.
- [5] O. D. Prastyo, J. Maulindar, and Nurchim, "Home electric power monitoring system based on Internet of Things using the Telegram application," *International Journal of Information System & Technology (IJISTECH)*, vol. 8, no. 2, pp. 139–148, 2024.
- [6] D. Mulyani and D. Hartono, "Pengaruh efisiensi energi listrik pada sektor industri dan komersial terhadap permintaan listrik di Indonesia," *Jurnal Energi dan Kelistrikan Indonesia*, vol. 15, no. 2, pp. 77–86, 2023.
- [7] A. S. Firmansyah, R. Yuwono, and D. Puspitasari, "Implementasi ESP32 untuk sistem monitoring energi listrik berbasis IoT," *Jurnal Teknologi Elektro dan Komputer (JTEK)*, vol. 11, no. 2, pp. 87–95, 2023, doi: 10.32764/jtek.v11i2.1523.
- [8] A. Hidayat, M. Nur, and L. Rachman, "Pemantauan konsumsi energi listrik rumah tangga menggunakan sensor PZEM-004T berbasis IoT," *Jurnal Rekayasa Elekrika*, vol. 19, no. 1, pp. 12–20, 2023, doi: 10.17529/jre.v19i1.2785.
- [9] S. Kurniawan, R. D. Wicaksono, and H. Hadi, "Rancang bangun sistem kontrol beban listrik berbasis IoT dengan modul relay dan NodeMCU," *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan (SNTEK)*, pp. 201–208, 2022, doi: 10.32520/sntek.v5i1.1427.
- [10] D. Putri, T. Prasetyo, and W. Nugraha, "Penggunaan LCD I2C untuk monitoring parameter listrik berbasis mikrokontroler," *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer dan Informatika (JITEKI)*, vol. 9, no. 2, pp. 145–152, 2023, doi: 10.26555/jiteki.v9i2.2875.
- [11] I. M. Aditya, P. Susanto, and N. A. Ramadhan, "Integrasi ESP32 dengan platform Thingier.io untuk pemantauan energi listrik berbasis cloud," *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI)*, vol. 11, no. 3, pp. 211–218, 2022, doi: 10.22146/jnteti.v11i3.4567.
- [12] R. Saputra and M. A. Fadhillah, "Pemanfaatan Telegram Bot API pada sistem IoT untuk notifikasi penggunaan energi listrik," *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer (JTSiskom)*, vol. 12, no. 1, pp. 33–40, 2024, doi: 10.14710/jtsiskom.2024.1987.