

REKAYASA PENGENDALIAN DAYA MENGGUNAKAN ESP32 DENGAN INTEGRASI SENSOR PIR DAN PZEM-004T UNTUK EFISIENSI ENERGI LISTRIK

Ahmad Choirul Mu'minin

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Islam Balitar

e-mail: choirulm167@gmail.com

Kustanto, Sri Widoretno

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Islam Balitar

Abstrak

Kurangnya pengawasan terhadap perangkat elektronik setelah digunakan, seperti lampu dan kipas angin yang tetap menyala meskipun ruangan sudah kosong, menjadi salah satu faktor yang menyebabkan pemborosan energi listrik di lingkungan kampus. Penelitian ini bertujuan untuk merancang, membangun, dan menganalisis sistem kontrol serta pemantauan penggunaan listrik berbasis ESP32 yang terintegrasi dengan sensor PZEM-004T, sensor PIR, dan aplikasi Blynk. Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian dan pengembangan (R&D) dengan menerapkan metode rekayasa yang mencakup beberapa tahap, yaitu analisis kebutuhan, perancangan, pengembangan dan pembuatan, serta uji coba dan validasi. Pengujian dilakukan di Laboratorium Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Balitar (UNISBA) dengan membandingkan hasil pembacaan sensor PZEM-004T dengan alat ukur standar, yaitu *Clamp Meter* dan *Watt Meter*. Selain itu, diuji pula kinerja logika otomasi sensor PIR dalam memutuskan dan menghubungkan arus listrik berdasarkan keberadaan manusia. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor PZEM-004T mampu mengukur tegangan, arus, dan daya aktif dengan kesalahan rata-rata masing-masing sebesar 0,27%, 5,82%, dan 3,84% dibandingkan dengan alat ukur yang digunakan sebagai acuan. Otomasi pemutusan arus oleh sensor PIR dengan jeda waktu 5 menit berjalan stabil dan memberikan respons yang cepat. Simulasi operasional selama tujuh hari menunjukkan bahwa otomatisasi berhasil mengurangi waktu beban aktif dari rata-rata 12 jam per hari menjadi 8 jam per hari, sehingga tingkat efisiensi penggunaan energi listrik meningkat sebesar 33,33%. Dapat disimpulkan bahwa metode rekayasa yang digunakan berhasil menghasilkan prototipe sistem manajemen energi yang berfungsi dengan baik, memiliki respons yang cepat, dan mampu mengurangi pemborosan energi listrik.

Kata kunci: kontrol dan pemantauan, ESP32, PZEM-004T, sensor PIR, efisiensi energi.

Abstract

Lack of control over electronic devices after use, such as lights and fans that remain on even when the room is unoccupied, is one of the factors contributing to electricity waste in the campus environment. This study aims to design, develop, and analyze an electricity usage control and monitoring system based on ESP32, integrated with the PZEM-004T sensor, PIR sensor, and Blynk application. The research method used is research and development (R&D) by applying an engineering method consisting of several stages, namely requirements analysis, design, development and implementation, as well as testing and validation. Testing was conducted in the Electrical Engineering Study Program Laboratory at Universitas Islam Balitar (UNISBA) by comparing the readings of the PZEM-004T sensor with standard measuring instruments, namely a Clamp Meter and a Watt Meter. In addition, the performance of the PIR sensor automation logic was tested in disconnecting and reconnecting the electrical current based on the presence of people. The test results showed that the PZEM-004T sensor was able to measure voltage, current, and active power with average errors of 0.27%, 5.82%, and 3.84%, respectively, compared with the reference measuring instruments. The automatic disconnection of electrical current by the PIR sensor with a 5-minute delay operated stably and provided a fast response. A seven-day operational simulation showed that the automation successfully reduced the active load duration from an average of 12 hours per day to 8 hours per day, resulting in a 33.33% increase in electrical energy efficiency. It can be concluded that the engineering method successfully produced an energy management system prototype that functioned properly, provided a fast response, and was able to reduce electricity waste.

Keywords: control and monitoring, ESP32, PZEM-004T, PIR sensor, energy efficiency.

PENDAHULUAN

Listrik merupakan salah satu sumber energi penting yang dibutuhkan dalam kehidupan sehari-hari, termasuk di lingkungan kampus Universitas Islam Balitar (UNISBA) Blitar. Namun,

penggunaan energi listrik secara efisien masih belum optimal, seperti terlihat dari kebiasaan membiarkan lampu kelas, kipas angin, atau perangkat elektronik tetap menyala setelah selesai digunakan.

Kementerian ESDM, (2024) mencatat bahwa sektor rumah tangga dan pendidikan menyumbang lebih dari 40% dari total konsumsi listrik nasional, yang menunjukkan bahwa kesadaran terhadap penghematan energi masih perlu ditingkatkan. Hal ini juga terjadi di UNISBA Blitar, di mana masih terdapat ruangan atau laboratorium yang perangkat listriknya tetap menyala meskipun tidak sedang digunakan.

Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan memanfaatkan teknologi *Internet of Things* (IoT), yang memungkinkan sistem rumah pintar untuk mengawasi dan mengatur perangkat listrik secara langsung dari jarak jauh. Nusa dkk, (2015) mengembangkan sistem pemantauan penggunaan listrik berbasis mikrokontroler, tetapi sistem tersebut masih terbatas pada pemantauan secara lokal.

Alexandra dkk, (2024) mengembangkan sistem monitoring menggunakan ESP32 dan PZEM-004T, tetapi belum dilengkapi dengan fitur kontrol otomatis. Andreansyah (2024) mengembangkan prototipe rumah pintar berbasis ESP8266, tetapi belum melakukan analisis terhadap efisiensi energi. Sementara itu, Barokah & Sutabri, (2025) menunjukkan bahwa penerapan teknologi IoT sederhana mampu mengurangi penggunaan listrik hingga 30% pada tingkat rumah tangga. Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, sebagian besar sistem masih berfokus pada aspek pemantauan dan belum mengintegrasikan kontrol otomatis dengan analisis efisiensi energi secara terpadu, khususnya pada lingkungan kampus.

Berdasarkan uraian tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana hasil pemantauan penggunaan daya listrik dibandingkan dengan alat ukur standar, yaitu *Clamp Meter* dan *Watt Meter*?
2. Bagaimana tingkat efisiensi energi yang dihasilkan melalui penerapan otomatisasi berdasarkan waktu operasional beban?

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui ketepatan hasil pemantauan daya listrik dengan membandingkan hasil pengukuran sensor PZEM-004T terhadap alat ukur standar, yaitu *Clamp Meter* dan *Watt Meter*; dan mengetahui tingkat efisiensi energi yang dihasilkan melalui penerapan sistem otomatis berdasarkan waktu operasional dan aktivitas.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode penelitian dan pengembangan R&D yang mengacu pada

tahapan pengembangan menurut Sugiyono, (2019) dengan pendekatan rekayasa. Tahapan penelitian meliputi analisis kebutuhan, perancangan, pengembangan, serta pengujian dan validasi. Analisis kebutuhan dilakukan dengan mengidentifikasi permasalahan penggunaan listrik dan menentukan komponen yang diperlukan. Tahap perancangan meliputi pembuatan arsitektur sistem, pengkabelan, tata letak komponen, dan antarmuka Blynk. Selanjutnya, tahap pengembangan dilakukan melalui perakitan perangkat keras dan pemrograman ESP32 menggunakan Arduino IDE. Tahap pengujian dan validasi dilakukan untuk mengetahui fungsi sistem, ketepatan pengukuran sensor PZEM-004T, respons sensor PIR, serta kestabilan komunikasi IoT.

Perangkat keras yang digunakan meliputi ESP32 sebagai pusat pengolahan data, sensor PZEM-004T untuk mengukur tegangan, arus, daya aktif, dan frekuensi, serta empat sensor PIR HC-SR501 untuk mendeteksi keberadaan manusia pada Ruang 1 dan Ruang 2 Laboratorium Teknik Elektro UNISBA. Sistem dilengkapi modul relay empat saluran sebagai aktuator dan LCD 16×2 berbasis I2C sebagai media informasi lokal. Pemantauan dan pengendalian sistem dilakukan melalui aplikasi Blynk menggunakan jaringan Wi-Fi. Variabel penelitian meliputi keberadaan manusia dan perintah pengendalian melalui Blynk sebagai variabel bebas, status relay dan parameter kelistrikan sebagai variabel terikat, serta jenis sensor, *platform* Blynk, dan tegangan listrik PLN pada kisaran 220–230 V sebagai variabel kontrol

Pengujian dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama bertujuan mengevaluasi ketepatan pengukuran sensor PZEM-004T dengan membandingkan hasil pengukuran terhadap *Clamp Meter* dan *Watt Meter* pada lima kondisi beban, yaitu tanpa beban, lampu, kipas angin, televisi, dan beban gabungan. Setiap kondisi diuji sebanyak tiga kali, kemudian dihitung nilai rata-rata dan persentase *error* menggunakan persamaan berikut:

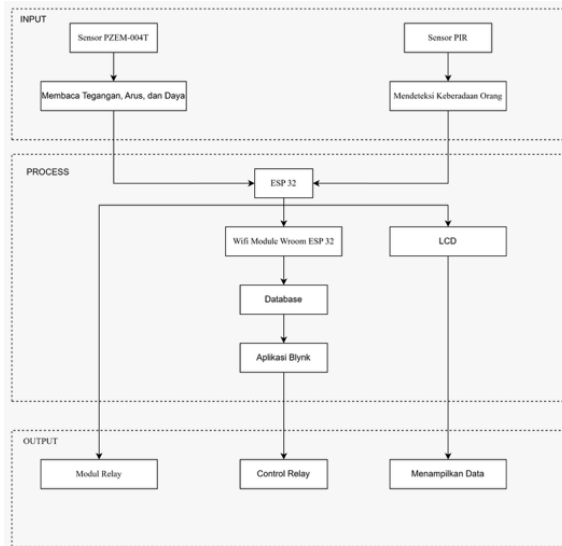
$$\text{Error (\%)} = \frac{|\text{Nilai Sensor} - \text{Nilai Alat Standar}|}{\text{Nilai Alat Standar}} \times 100\%$$

Tahap kedua dilakukan untuk menganalisis efisiensi energi melalui simulasi operasional laboratorium selama tujuh hari. Pengujian dilakukan dengan membandingkan durasi penggunaan dan konsumsi energi antara sistem konvensional menggunakan saklar manual dan sistem otomatis berbasis IoT. Pada sistem otomatis, perangkat akan dimatikan setelah tidak terdeteksi aktivitas selama

lima menit. Hasil pengujian kedua sistem kemudian dibandingkan untuk menentukan tingkat efisiensi energi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Realisasi Perangkat Keras dan Konfigurasi Sistem



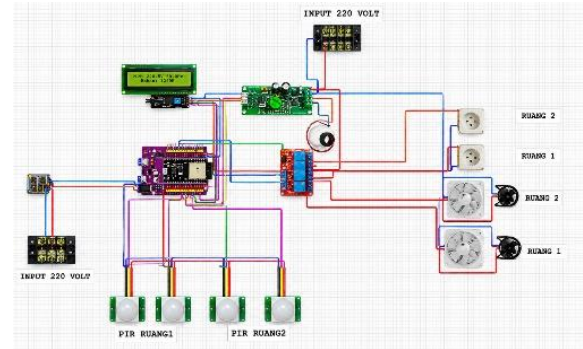
Gambar 1. Perancangan Sistem

Realisasi fisik sistem mengacu pada diagram blok perancangan, yang mencakup bagian input berupa sensor PZEM-004T dan empat sensor PIR, bagian pemrosesan terdiri dari ESP32, Wi-Fi, dan aplikasi Blynk, serta bagian output berupa relay 4-channel dan layar LCD 16x2 I2C.



Gambar 2. Realisasi Fisik dan Tata Letak Komponen Sistem

Semua komponen dirakit dalam satu panel box dengan ESP32 berada di tengah, sensor PZEM-004T ditempatkan dekat jalur masuk arus AC, sedangkan empat sensor PIR ditempatkan secara simetris untuk menutupi Ruang 1 dan Ruang 2 Laboratorium Teknik Elektro UNISBA. Jalur listrik tegangan tinggi (AC 220 V) dan tegangan rendah (DC) dipisahkan secara fisik agar tidak saling mengganggu elektromagnetik.



Gambar 3. Wiring

Interkoneksi antar komponen yang terdapat pada pin-pin GPIO ESP32 disajikan dalam Tabel 1; sensor PZEM-004T menggunakan protokol serial TTL melalui UART2, keempat sensor PIR disetel sebagai pin interupsi eksternal agar bisa merespons secara real-time, sedangkan relay 1 dan 2 digunakan untuk kontrol otomatis PIR, sedangkan relay 3 dan 4 digunakan untuk kontrol manual melalui Blynk.

Tabel 1. Konfigurasi Pin Interkoneksi Sistem

No.	Komponen	Pin Komponen	GPIO ESP32	Keterangan
1	PZEM-004T	TX / RX	GPIO 16 (RX2) / GPIO 17 (TX2)	Data ke ESP32
2	PIR Ruang 1 (A/B)	OUT	GPIO 4 / GPIO 5	Sinyal deteksi gerak
3	PIR Ruang 2 (A/B)	OUT	GPIO 18 / GPIO 19	Sinyal deteksi gerak
4	Relay 1 & 2	OUT	GPIO 26 / GPIO 27	Kontrol otomatis (PIR)
5	Relay 3 & 4	OUT	GPIO 14 / GPIO 12	Kontrol manual (Blynk)
6	LCD I2C	SDA / SCL	GPIO 21 / GPIO 22	Tampilan data lokal

Dalam hal perangkat lunak, program ESP32 dibuat menggunakan Arduino IDE dengan tiga fungsi utama: membaca sensor PIR dengan logika OR pada dua sensor di setiap ruangan, timer otomatis berhenti setelah 5 menit jika tidak ada gerakan, membaca sensor PZEM-004T melalui pustaka PZEM004Tv30 untuk mengambil informasi tegangan, arus, daya, dan frekuensi, serta berkomunikasi dengan Blynk yang mengirimkan

semua data setiap 3 detik dan menerima perintah kontrol manual melalui fungsi BLYNK_WRITE.

Pengujian Konektivitas dan Otomasi

ESP32 berhasil terhubung ke jaringan Wi-Fi laboratorium dan mengirim data ke server Blynk Cloud setiap detik secara terus menerus tanpa ada data yang hilang pada kondisi jaringan yang baik. Waktu tunda eksekusi perintah kontrol manual berjalan rata-rata 0,65 detik, yang bisa dikatakan cukup responsif untuk aplikasi kontrol cerdas kampus. Pengujian otomatis PIR menunjukkan relay berfungsi (ON) langsung saat terdeteksi gerakan, lalu mati otomatis (OFF) setelah 5 menit tidak ada gerakan baru, bekerja stabil tanpa gangguan atau kesalahan sistem selama pengujian dilakukan.

Hasil Pengujian Akurasi Sensor PZEM-004T

Untuk menjawab masalah pertama, dilakukan perbandingan hasil pengukuran sensor PZEM-004T dengan alat ukur yang standar, yaitu Clamp Meter dan Watt Meter, pada lima situasi beban yang berbeda. Hasil uji parameter tegangan, arus, dan daya aktif masing-masing terdapat pada Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4.

Sensor PZEM-004T dapat mengukur tegangan AC satu fase dengan cukup stabil. Hasil pengujian menunjukkan nilai kesalahan rata-rata sebesar 0,27%, sehingga masih berada di bawah batas toleransi pabrikan sebesar $\pm 0,5\%$. Pada pengukuran arus, diperoleh kesalahan rata-rata sebesar 5,82%. Kesalahan terbesar terjadi pada beban lampu, yaitu sebesar 20,00%. Kondisi tersebut terjadi karena arus yang diukur relatif kecil, sedangkan *Clamp Meter* yang digunakan memiliki rentang pengukuran hingga 60 A sehingga kurang optimal untuk mengukur arus pada beban kecil. Pada beban dengan arus yang lebih besar, nilai kesalahan cenderung menurun bahkan mencapai 0%, sehingga hasil pengukuran menunjukkan respons sensor yang cukup baik pada beban menengah hingga tinggi.

Tabel 2. Hasil Pengujian Parameter Tegangan (V)

Pengujian ke	Beban Uji	Clamp Meter (V)	Sensor PZEM-004T (V)	Error (%)
1	Beban kosong	231,2	231,3	0,04
2	Lampu	228,3	229,1	0,35
3	Kipas angin	229,3	230,4	0,48
4	TV	229,7	229,5	0,09
5	Beban keseluruhan	226,0	226,9	0,40
Rata-rata				0,27

Tabel 3. Hasil Pengujian Parameter Arus (A)

Pengujian ke	Beban Uji	Clamp Meter (A)	Sensor PZEM-004T (A)	Error (%)
1	Beban kosong	0	0	0
2	Lampu	0,10	0,12	20,00
3	Kipas angin	0,22	0,24	9,09
4	TV	0,54	0,54	0
5	Beban keseluruhan	0,90	0,90	0
Rata-rata				5,82

Tabel 4. Hasil Pengujian Parameter Daya Aktif (W)

Pengujian ke	Beban Uji	Watt Meter (W)	Sensor PZEM-004T (W)	Error (%)
1	Beban kosong	0	0	0,00
2	Lampu	19,5	19	2,56
3	Kipas angin	57,2	57	0,35
4	TV	122,4	112	8,50
5	Beban keseluruhan	188	202,6	7,77
Rata-rata				3,84

Pada pengukuran daya aktif, diperoleh kesalahan rata-rata sebesar 3,84%. Pada beban lampu, perhitungan daya secara manual dengan mengalikan tegangan dan arus menghasilkan nilai sebesar 27,49 W. Sementara itu, nilai daya yang diperoleh dari register internal PZEM-004T adalah 19 W, yang

mendekati hasil pengukuran *Watt Meter* sebesar 19,5 W. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa perhitungan daya pada PZEM-004T tidak hanya menggunakan hasil perkalian tegangan dan arus, tetapi juga memperhitungkan faktor daya atau $\cos \phi$. Dengan demikian, PZEM-004T dapat memberikan hasil pengukuran daya aktif yang lebih sesuai dengan kondisi beban sebenarnya.

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, sistem mampu menampilkan hasil pengukuran tegangan, arus, dan daya dalam bentuk digital dengan dua angka desimal. Penggunaan sensor juga mengurangi kemungkinan kesalahan pencatatan atau perhitungan secara manual. Hasil ini menunjukkan bahwa PZEM-004T dapat digunakan sebagai alat pengukuran pada sistem yang dikembangkan dengan tingkat ketelitian yang cukup baik dibandingkan alat ukur konvensional.

Analisis Efisiensi Energi Berbasis Otomatisasi Sensor PIR

Untuk menjawab masalah kedua, dilakukan simulasi penggunaan energi dengan membandingkan sistem manual menggunakan saklar dengan sistem otomatis berbasis IoT dan sensor PIR. Pada simulasi ini, waktu penggunaan beban pada sistem manual diasumsikan selama 12 jam per hari, sedangkan pada sistem otomatis diasumsikan menjadi 8 jam per hari karena beban hanya bekerja ketika terdapat aktivitas yang terdeteksi oleh sensor PIR. Berdasarkan skenario tersebut, efisiensi waktu penggunaan dihitung dengan rumus:

Efisiensi Waktu = $[(\text{Waktu Awal} - \text{Waktu Setelah Otomatisasi}) / \text{Waktu Awal}] \times 100\%$
 Sehingga diperoleh: $[(12 - 8) / 12] \times 100\% = 33,33\%$.

Selanjutnya, dilakukan estimasi penggunaan energi selama tujuh hari dengan asumsi daya beban sebesar 75 W. Pada sistem manual, energi yang digunakan dihitung dari $75 \text{ W} \times 12 \text{ jam} \times 7 \text{ hari}$, sehingga diperoleh 6,3 kWh. Sementara itu, pada sistem otomatis, energi yang digunakan sebesar $75 \text{ W} \times 8 \text{ jam} \times 7 \text{ hari}$, yaitu 4,2 kWh.

Berdasarkan kedua kondisi tersebut, penghematan energi dihitung dengan membandingkan selisih penggunaan energi terhadap penggunaan energi pada sistem manual, yaitu: $[(6,3 - 4,2) / 6,3] \times 100\% = 33,33\%$.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa penggunaan sistem otomatis berbasis sensor PIR dan IoT diproyeksikan dapat mengurangi waktu penggunaan

dan konsumsi energi sebesar 33,33% dibandingkan sistem manual. Hasil tersebut diperoleh berdasarkan asumsi daya beban sebesar 75 W dan durasi penggunaan yang telah ditentukan dalam skenario simulasi.

Pembahasan

Pengujian akurasi adalah langkah penting untuk memastikan bahwa prototipe tersebut layak digunakan sebagai alat pemantau yang dapat diandalkan. Error terkecil pada parameter tegangan (0,27%) terjadi karena stabilitas gelombang AC dan resolusi alat pembanding yang cukup baik, sedangkan error terbesar pada parameter arus (5,82%) disebabkan oleh keterbatasan resolusi Clamp Meter pada skala kecil, bukan karena kelemahan sensor PZEM-004T—terbukti error berkurang hingga 0% saat beban besar. Parameter daya aktif dengan kesalahan 3,84% menunjukkan bahwa sirkuit penghitungan internal sensor lebih tepat dibandingkan perhitungan manual V dikalikan I karena sudah mempertimbangkan faktor daya ($\cos \phi$).

Integrasi ESP32 dengan server Blynk Cloud menunjukkan kemampuan mengirim data secara stabil (interval streaming 1 detik, tanpa kehilangan paket) serta waktu respons kontrol manual yang hanya 0,65 detik, yang menunjukkan struktur program yang efisien untuk mengendalikan sistem kampus secara real-time. Menerapkan logika OR pada interupsi eksternal dari keempat sensor PIR membuat manajemen beban didasarkan pada aktivitas nyata, bukan pada kebiasaan pengguna. Mengurangi waktu penggunaan beban aktif dari 12 jam menjadi 8 jam per hari menghemat energi sebesar 33,33%, sesuai dengan penelitian Barokah dan Sutabri (2025) yang menunjukkan bahwa IoT sederhana dapat mengurangi penggunaan listrik hingga 30% di tingkat rumah tangga. Perbedaan dengan penelitian Alexandra dkk, (2024) dan Andreansyah (2024) adalah dalam penggunaan sistem yang menggabungkan secara utuh monitoring, kontrol otomatis, dan analisis efisiensi kuantitatif, sedangkan pada penelitian tersebut ketiga hal tersebut biasanya masih dipisahkan. Menggabungkan ESP32, PZEM-004T, dan PIR dalam satu sistem yang terpadu dapat menyelesaikan kedua permasalahan yang diberikan, sehingga memungkinkan pengawasan yang tepat dan pengendalian otomatis yang meningkatkan efisiensi penggunaan energi di lingkungan kampus.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem monitoring dan kontrol otomatis berbasis IoT menggunakan ESP32 di Laboratorium Teknik Elektro UNISBA, dapat disimpulkan bahwa: (1) sistem monitoring memiliki akurasi yang tinggi, dengan error rata-rata sebesar 0,27% untuk tegangan, 5,82% untuk arus, dan 3,84% untuk daya aktif dibandingkan dengan alat ukur standar, sehingga valid sebagai alat pemantauan energi real-time melalui aplikasi Blynk; dan (2) sistem kontrol otomatis yang menggunakan sensor PIR dan relay 4-channel berjalan konsisten dengan timer delay 5 menit tanpa mengalami kegagalan, sehingga mampu mengurangi durasi operasional beban dari 12 menjadi 8 jam per hari, yang setara dengan efisiensi penghematan konsumsi energi listrik sebesar 33,33%.

Saran

Disarankan memastikan area pemasangan memiliki sinyal Wi-Fi yang stabil dan kapasitas bandwidth yang cukup, serta memperhatikan isolasi kabel listrik, desain casing yang aman, dan menambahkan perlindungan seperti sekering (fuse), karena sistem mengendalikan instalasi AC yang menggunakan tegangan tinggi (220-230 V), agar menghindari risiko terjadinya korsleting.

DAFTAR PUSTAKA

- Alexandra, H., Tanjung, M. F. D., Sihombing, D. T. H., Al Ghazali, T. A., Sitompul, R. A., & Sitorus, W. M. (2024). Pemantauan Energi Listrik Real-Time Menggunakan Mikrokontroler ESP32 dan Sensor PZEM-004T. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*.
- Andreansyah. (2024). Pengembangan Sistem Smart Home Berbasis Internet of Things untuk Mengontrol Peralatan Elektronik. *Scientica: Jurnal Ilmiah Sains dan Teknologi*.
- Barokah, M. R. (2025). Pemanfaatan Sistem Cerdas Berbasis Internet of Things (IoT) untuk Optimalisasi Pengelolaan Energi di Smart Home. *Journal of Social Science Research (JSSR)*, 422–425.
- Barokah, M. R. (2025). Pemanfaatan Sistem Cerdas Berbasis Internet of Things (IoT) untuk Optimalisasi Pengelolaan Energi di Smart Home. *Journal of Social Science Research (JSSR)*, 422–425.
- ESDM, K. (2024). *Laporan Kinerja Konsumsi Energi Listrik Sektor Rumah Tangga*

Indonesia 2023/2024. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.

Mineral, K. E. (2024). *Laporan Kinerja Konsumsi Energi Listrik Sektor Rumah Tangga Indonesia 2023/2024*. Jakarta: Kementerian ESDM.

Nusa, T. L. (2015). Perancangan Sistem Monitoring Konsumsi Listrik Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 36–42.

Sugiyono. (2019). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.