

PENGEMBANGAN SISTEM MONITORING DAN KONTROL PERALATAN LISTRIK RUMAH TANGGA BERBASIS *INTERNET OF THINGS (IOT)* MENGGUNAKAN ESP-01S DAN PZEM-004T

Miftahul^a, Adnan Zulkarnain^{b*}

^{a,b}*Fakultas Sains & Teknologi, Program Studi Informatika, Universitas Bhinneka Nusantara*

^a 181116069@mhs.ubhinus.ac.id, ^{b*} adnan.zulkarnain@ubhinus.ac.id

ABSTRAK

Permasalahan tingginya konsumsi energi listrik di sektor rumah tangga mendorong perlunya solusi berbasis teknologi untuk meningkatkan efisiensi dan kendali pengguna. Penelitian ini mengembangkan sistem monitoring dan kontrol peralatan listrik rumah tangga berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan ESP-01S dan sensor PZEM-004T. Sistem terdiri atas modul monitoring, modul kontrol, server API, dan aplikasi Android. Data parameter kelistrikan dikirim secara real-time ke server dan ditampilkan pada antarmuka pengguna, yang juga dapat memberikan perintah ON/OFF terhadap peralatan. Pengujian menunjukkan bahwa sistem bekerja dengan akurat dan responsif, dengan selisih pengukuran rata-rata kurang dari 2% dibandingkan alat ukur konvensional. Sistem ini dapat menjadi solusi awal dalam manajemen konsumsi listrik rumah tangga berbasis IoT yang terjangkau dan skalabel.

Kata Kunci: IoT, ESP-01S, PZEM-004T, Monitoring Energi, Kontrol Peralatan Listrik

ABSTRACT

The high energy consumption in the residential sector calls for technology-driven solutions to improve efficiency and user control. This research develops an Internet of Things (IoT)-based system for monitoring and controlling household electrical appliances using ESP-01S and the PZEM-004T sensor. The system comprises a monitoring module, control module, API server, and Android application. Electrical parameters are transmitted in real-time to a web server and displayed on the mobile interface, which also allows ON/OFF device control. Testing shows the system is accurate and responsive, with an average measurement error of less than 2% compared to conventional instruments. This system offers a scalable and cost-effective approach to household energy management using IoT.

Keywords: IoT, ESP-01S, PZEM-004T, Energy Monitoring, Electrical Device Control

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan teknologi Internet of Things (IoT) telah memberikan kontribusi besar dalam transformasi sistem-sistem konvensional menuju sistem yang lebih cerdas dan terhubung [1][2][3]. Dalam konteks rumah tangga, IoT membuka peluang untuk menciptakan lingkungan yang efisien, otomatis, dan mudah dikendalikan [4][5][6]. Salah satu tantangan utama dalam

sektor ini adalah tingginya konsumsi energi listrik yang terus meningkat seiring pertumbuhan jumlah penduduk, peningkatan standar hidup, serta adopsi perangkat elektronik dalam aktivitas sehari-hari [7][4].

Berdasarkan hasil penelitian, sektor rumah tangga tercatat sebagai kontributor utama terhadap konsumsi listrik nasional. Hal ini disebabkan oleh jumlah pelanggan yang tinggi dalam sektor tersebut, yang

secara signifikan memengaruhi peningkatan permintaan listrik nasional, melebihi kontribusi dari sektor industri dan komersial [8]. Hal ini menunjukkan urgensi penerapan teknologi yang tidak hanya mampu memantau penggunaan energi secara real-time, tetapi juga memberikan kemampuan kendali langsung terhadap peralatan listrik guna menekan konsumsi berlebih dan menghindari pemborosan daya.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengembangkan sistem monitoring konsumsi energi berbasis IoT, menggunakan sensor seperti ACS712 atau modul pengukuran sederhana lainnya, namun sebagian besar sistem yang dibangun belum mendukung fungsi kontrol, atau masih mengandalkan komunikasi lokal seperti Bluetooth [9][10][11]. Selain itu, keterbatasan pada antarmuka pengguna dan skalabilitas sistem juga menjadi kendala dalam implementasi yang lebih luas [11][12][13][14].

Dalam penelitian ini, dikembangkan sebuah sistem monitoring dan kontrol peralatan listrik rumah tangga berbasis IoT dengan menggunakan modul mikrokontroler ESP-01S (berbasis ESP8266) dan sensor PZEM-004T. ESP-01S dipilih karena memiliki fitur Wi-Fi internal yang mendukung komunikasi data ke server secara langsung tanpa gateway tambahan [15][16], sementara PZEM-004T mampu mengukur parameter kelistrikan seperti tegangan (voltage), arus (current), daya (power), dan energi (kWh) secara akurat dan berkelanjutan [17]. Sistem ini didukung oleh backend server berbasis web API (menggunakan PHP dan MySQL) dan diakses oleh pengguna melalui aplikasi Android yang dirancang sederhana namun fungsional.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membangun sistem yang tidak hanya menyediakan informasi konsumsi energi secara real-time, tetapi juga memungkinkan pengguna untuk mengontrol perangkat secara jarak jauh melalui koneksi internet. Dengan pendekatan ini, pengguna dapat mengoptimalkan penggunaan listrik secara

efisien, serta meningkatkan kenyamanan dan keamanan dalam pengelolaan peralatan rumah tangga.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan solusi smart home lokal berbasis IoT yang terjangkau, modular, dan dapat diadaptasi secara luas, khususnya di wilayah-wilayah yang membutuhkan efisiensi energi listrik dalam skala rumah tangga.

2. METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di sebuah rumah tinggal yang berlokasi di Jalan Windu, Dusun Sukojarjo, Kecamatan Mojowarno, Kabupaten Jombang. Waktu pelaksanaan penelitian dimulai pada bulan Agustus 2024 hingga Januari 2025, yang mencakup tahapan analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi modul perangkat keras dan lunak, serta pengujian dan evaluasi kinerja sistem.

B. Subjek dan Objek Penelitian

Objek penelitian ini adalah sistem monitoring dan kontrol peralatan listrik rumah tangga berbasis Internet of Things (IoT). Subjek dalam penelitian ini mencakup perangkat keras berupa mikrokontroler ESP-01S, sensor pengukuran listrik PZEM-004T, modul Solid State Relay, dan ekspander I/O PCF8574. Sistem dirancang untuk mampu memonitor dan mengontrol beberapa peralatan listrik rumah tangga, seperti lampu atau kipas, melalui koneksi internet menggunakan perangkat Android.

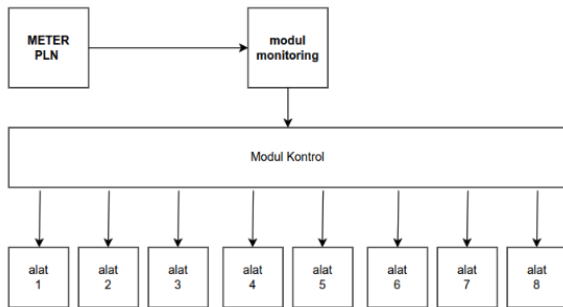
C. Alat dan Bahan Penelitian

1) Perangkat Keras:

- Mikrokontroler ESP-01S (berbasis ESP8266)
- Sensor listrik PZEM-004T
- Modul Solid State Relay 4 Channel
- Modul PCF8574 (I/O Expander)
- Regulator tegangan 7805 dan AMS1117

- Breadboard dan PCB
- Power supply 5V dan 3.3V
- Kabel jumper, multimeter, solder, dan obeng set

Gambar 1 menunjukkan diagram koneksi utama antar perangkat keras, di mana ESP-01S berperan sebagai unit kendali yang terhubung langsung dengan modul sensor dan aktuator.



Gambar 1. Diagram Koneksi Sistem Monitoring dan Kontrol Berbasis ESP-01S dan PZEM-004T

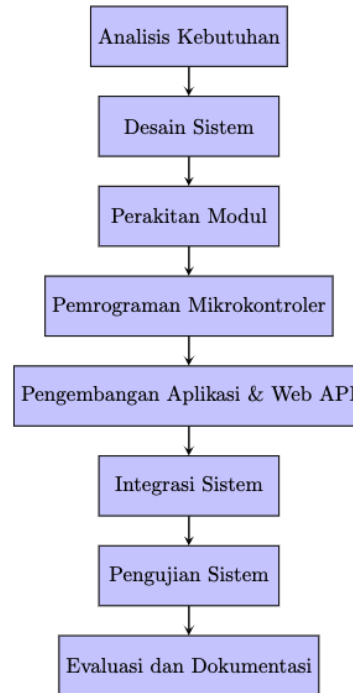
2) Perangkat Lunak:

- Arduino IDE
- Android Studio
- Web Server Apache
- PHP Framework CodeIgniter 3.x
- DBMS MariaDB
- Linux Mint 19 sebagai sistem operasi server lokal

D. Desain dan Rancangan Sistem

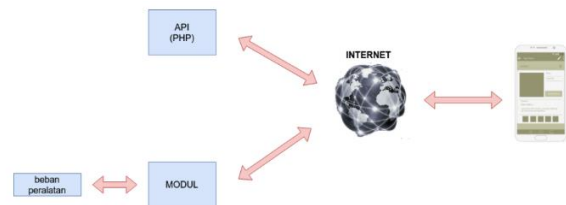
Penelitian ini menggunakan pendekatan rekayasa sistem dengan model pengembangan perangkat lunak Waterfall yang terdiri atas tahapan: analisis kebutuhan, desain sistem, implementasi, pengujian, dan pemeliharaan.

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan yang disusun secara sistematis untuk menjamin keterukuran dan efisiensi dalam pengembangan sistem. Alur penelitian selengkapannya ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Alur Penelitian Pengembangan Sistem Monitoring dan Kontrol IoT

Komunikasi antara mikrokontroler, server, dan aplikasi Android menggunakan protokol HTTP melalui API berbasis web. Gambar 3 menggambarkan arsitektur komunikasi data antar komponen.



Gambar 3. Arsitektur Komunikasi Data antara Mikrokontroler, Server, dan Aplikasi Android

E. Teknik Pengambilan Data

Data dikumpulkan melalui dua pendekatan:

1) Data Kuantitatif:

- Hasil pengukuran tegangan, arus, daya, frekuensi, dan power factor dari sensor PZEM-004T.
- Dibandingkan dengan alat ukur konvensional (multimeter digital) sebagai validasi.

2) Data Fungsional:

- Respon sistem terhadap perintah kontrol ON/OFF.
- Kemampuan koneksi dan komunikasi antar modul, server, dan aplikasi Android.

F. Variabel Penelitian

- Variabel bebas: Status peralatan (ON/OFF) dan jenis beban listrik.
- Variabel terikat: Nilai tegangan (V), arus (A), daya (W), energi (kWh), frekuensi (Hz), dan faktor daya (PF).
- Variabel kontrol: Tegangan sumber listrik, koneksi internet, dan lokasi pengujian.

G. Teknik Pengujian dan Analisis Data

Pengujian dilakukan menggunakan metode blackbox testing untuk memvalidasi fungsi-fungsi utama sistem, baik perangkat keras maupun perangkat lunak. Skenario pengujian meliputi:

- Pengujian perangkat keras: Respon modul kontrol terhadap perintah aplikasi.
- Pengujian perangkat lunak: Keakuratan data pada tampilan aplikasi dengan pembacaan aktual sensor.
- Pengujian pengukuran: Dibandingkan antara pembacaan PZEM-004T dan alat ukur eksternal.

H. Model Analisis

Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif kuantitatif. Tingkat kesalahan pengukuran dihitung menggunakan rumus:

$$Error(\%) = \left| \frac{Hasil\ Sensor - Hasil\ Alat\ Ukur}{Hasil\ Alat\ Ukur} \right| \times 100 \quad (1)$$

Hasil pengukuran direkap dan dibandingkan untuk mengetahui konsistensi, keakuratan, serta keandalan sistem. Interpretasi hasil dilakukan untuk menarik kesimpulan terkait kinerja sistem dalam kondisi operasional rumah tangga.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Implementasi Sistem

Sistem monitoring dan kontrol peralatan listrik rumah tangga berbasis IoT telah berhasil dibangun menggunakan modul ESP-01S sebagai unit pemroses dan komunikasi data, serta sensor PZEM-004T untuk pengukuran parameter kelistrikan.

Sistem ini terdiri dari tiga komponen utama, yaitu:

1) Modul Monitoring

Mengukur tegangan, arus, daya, energi, frekuensi, dan faktor daya dari peralatan listrik yang digunakan.

Modul monitoring dirakit dengan konfigurasi ESP-01S dan PZEM-004T serta catu daya terintegrasi. Implementasi fisik modul ini ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil Implementasi Modul Monitoring Berbasis IoT

2) Modul Kontrol

Mengendalikan ON/OFF peralatan melalui modul Solid State Relay yang dikendalikan oleh ESP-01S dan PCF8574.

Modul kontrol memiliki fungsi untuk mematikan dan menghidupkan peralatan

listrik. Modul ini dapat melakukan kontrol terhadap 8 peralatan rumah tangga. Implementasi fisik modul ini ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil Implementasi Modul Kontrol

3) Aplikasi Android

Menyajikan data secara real-time dan memberikan antarmuka untuk kontrol peralatan.

Aplikasi Android yang dikembangkan memiliki tampilan antarmuka sederhana dan intuitif untuk menampilkan data serta melakukan kontrol perangkat. Gambar 6 menunjukkan antarmuka utama aplikasi.



Gambar 6. Antarmuka Utama Aplikasi Android untuk Monitoring dan Kontrol Peralatan Listrik

B. Hasil Pengujian Perangkat Lunak

Pengujian perangkat lunak dilakukan menggunakan metode blackbox testing. Berikut adalah ringkasan hasil pengujian:

Tabel 1. Pengujian Fungsi Aplikasi Android

Fungsi yang Diuji	Hasil yang Diharapkan	Hasil Aktual	Status
Peralatan listrik (ON)	Peralatan menyala, status berubah	Berhasil	Lulus
Peralatan listrik (OFF)	Peralatan mati, status berubah	Berhasil	Lulus
Mengubah nama peralatan	Nama berubah pada tampilan aplikasi	Berhasil	Lulus
Tampilkan data tegangan dan arus	Data ter-update secara berkala	Real-time	Lulus

C. Hasil Pengujian Perangkat Keras

Pengujian perangkat keras difokuskan pada fungsi utama yaitu menghidupkan dan mematikan beban listrik melalui kontrol aplikasi serta validasi output dari sensor PZEM-004T.

Tabel 2. Hasil Pengujian Modul Kontrol

Aksi Kontrol	Respon Peralatan	Status
ON	Lampu menyala	Lulus
OFF	Lampu padam	Lulus

D. Pengujian Akurasi Sensor (PZEM-004T)

Untuk memastikan keakuratan pembacaan data oleh sensor, dilakukan perbandingan antara data sensor dengan alat ukur digital konvensional. Hasil rata-rata pengukuran ditampilkan dalam tabel berikut:

Tabel 3. Perbandingan Hasil Pengukuran

Parameter	PZEM-004T	Alat Ukur Konvensional	Selisih
Tegangan (V)	208.13 V	209.60 V	1.47 V
Arus (A)	0.12 A	0.11 A	0.01 A
Frekuensi (Hz)	49.97 Hz	49.98 Hz	0.01 Hz

E. Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dapat bekerja secara fungsional dan sesuai dengan perancangan. Fungsi kontrol pada perangkat dapat dilakukan secara real-time melalui aplikasi Android yang terhubung ke server. Respons sistem terhadap perintah ON/OFF cukup cepat dan stabil, dengan jeda kurang dari 2 detik, tergantung pada kualitas koneksi internet.

Penerapan modul PCF8574 sebagai ekspander I/O memungkinkan kendali hingga 8 peralatan listrik secara simultan, memberikan fleksibilitas sistem dalam skala rumah tangga. Penggunaan ESP-01S juga terbukti efisien dalam komunikasi nirkabel karena konsumsi daya rendah dan mendukung protokol HTTP yang kompatibel dengan API server.

Dari sisi pengukuran, hasil sensor PZEM-004T menunjukkan tingkat keakuratan yang baik, dengan error relatif kecil (<2%). Sistem ini belum dilengkapi fitur keamanan (otentikasi pengguna) dan penjadwalan otomatis, yang dapat menjadi fokus pengembangan selanjutnya.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem monitoring dan kontrol peralatan listrik rumah tangga berbasis Internet of Things (IoT) dengan menggunakan modul ESP-01S dan sensor PZEM-004T. Sistem terdiri dari modul monitoring untuk membaca parameter kelistrikan, modul kontrol untuk mengatur ON/OFF peralatan, serta aplikasi Android yang terintegrasi dengan layanan web API.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menampilkan data tegangan, arus, daya, energi, frekuensi, dan faktor daya secara real-time dengan tingkat akurasi yang dapat diterima untuk skala rumah tangga. Fungsi kontrol perangkat juga berjalan dengan baik dan responsif terhadap perintah dari aplikasi. Selisih rata-rata pengukuran antara sensor dan alat ukur konvensional berada pada kisaran toleransi <2%.

Implementasi PCF8574 sebagai ekspander I/O memungkinkan kendali multi-peralatan, sementara antarmuka Android memberikan kemudahan penggunaan. Sistem ini berpotensi digunakan sebagai solusi efisien dalam manajemen konsumsi energi listrik rumah tangga.

Pengembangan lanjutan direkomendasikan untuk menambahkan fitur autentikasi pengguna, penjadwalan otomatis, dan monitoring konsumsi berdasarkan peralatan secara individual guna meningkatkan skalabilitas dan keamanan sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. A. K. Majhi and S. Mohanty, "A Comprehensive Review on Internet of Things Applications in Power Systems," *IEEE Internet Things J*, vol. 11, pp. 34896–34923, 2024, doi: 10.1109/JIOT.2024.3447241.
- [2] Y. Gharde, A. Kamble, S. Dubey, and Poornachandra, "Smart Technologies for Smart Nations Internet of Things," *International Journal of Innovative Science and Research*

- Technology (IJISRT)*, 2024, doi: 10.38124/ijisrt/ijisrt24may1075.
- [3] V. Alcacer, K. Nagiya, and H. Ramingam, "Introspection of Availability in Service Based Smart Systems Using Internet of Things (IoT)," *Advances in Science and Technology*, vol. 124, pp. 881–893, 2023, doi: 10.4028/p-3bj8t2.
- [4] M. Singh and A. Dhablia, "Smart Home Automation using IoT: Prototyping and Integration of Home Devices," *Research Journal of Computer Systems and Engineering*, 2023, doi: 10.52710/rjcse.83.
- [5] P. Malik, M. Shukla, K. R. Chythanya, N. Bisht, R. Roges, and A. Gehlot, "Intervention of Internet of Things in Home Automation Applications," *2023 3rd International Conference on Advancement in Electronics & Communication Engineering (AECE)*, pp. 201–205, 2023, doi: 10.1109/AECE59614.2023.10428275.
- [6] D. Rambhad and U. Nair, "Internet of Things (IoT) and Smart Home Automation: Enhancing Living Spaces," *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, 2023, doi: 10.48175/ijarsct-13066.
- [7] L. Liu, V. Tam, L. Almeida, and K. Le, "Dynamically assessing life cycle energy consumption of buildings at a national scale by 2020: an empirical study in China," *Energy Build*, 2023, doi: 10.1016/j.enbuild.2023.113354.
- [8] M. Kartika and N. A. Hidayati, "Electrical Demand Analysis on Households and Industry in Indonesia," *Jurnal Ilmu Ekonomi Terapan*, 2024, doi: 10.20473/jiet.v9i1.53553.
- [9] J. E. Monton, J. Dellosa, and R. Mendoza, "IoT-Based Energy Monitoring System (IBEMS) for Optimizing Power Consumption in University Facilities," *2024 8th International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP)*, pp. 1–6, 2024, doi: 10.1109/IDAP64064.2024.10710764.
- [10] S. Saharo, E. A. Z. Hamidi, and R. R. Nirmalasari, "Power Monitoring System of Home-scale Internet of Things (IoT)," *2022 16th International Conference on Telecommunication Systems, Services, and Applications (TSSA)*, pp. 1–4, 2022, doi: 10.1109/TSSA56819.2022.10063885.
- [11] S. Tsyrlunyk, V. Tromsyuk, M. Tsyrlunyk, and P. Rymar, "Energy Monitoring System based on IoT," pp. 136–153, 2021, [Online]. Available: <https://consensus.app/papers/energy-monitoring-system-based-on-iot-tsyrlunyk-tromsyuk/f96429c3a14b5fc8a7ad9464d24c2051/>
- [12] A. Jawaduddin, A. Airij, and P. Poopalan, "Automatic energy monitoring system," vol. 2203, p. 20001, 2020, doi: 10.1063/1.5142093.
- [13] G. E. Uy, A. C. Choachuy, R. Parocha, R. Peña, and E. Macabebe, "System Design for Automating Smart Internet of Things Devices Using Bluetooth Localization," *2022 IEEE International Conference on Internet of Things and Intelligence Systems (IoT&IS)*, pp. 322–328, 2022, doi: 10.1109/IoT&IS56727.2022.9975874.
- [14] W. Suteja and A. S. Antara, "Analisis Sensor Arus Invasive ACS712 dan Sensor Arus Non Invasive SCT013 Berbasis Arduino," vol. 8, pp. 13–21, 2021, doi: 10.33387/PROTK.V8I1.2116.
- [15] P. Bertelli, R. Neli, and E. Bertogna, "Low-cost residential automation for houses already built using FlutterFlow and ESP-01," *Concilium*,

- 2024, doi: 10.53660/clm-3778-23p39.
- [16] A. Gozuoglu, "Modeling and implementation of demand-side energy management system," *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences – Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 2023, doi: 10.14744/sigma.2023.00106.
- [17] Y. Hermanto, "PROTOTYPE MONITORING ELECTRICITY SYSTEM 220V OF WIND POWER PLANT (PLTB) BASED ON THE INTERNET OF THINGS," *Internet of Things and Artificial Intelligence Journal*, 2021, doi: 10.31763/iota.v1i3.469.