



RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING ENERGI LISTRIK PADA BEBAN AC BERBASIS INTERNET OF THINGS DI SMA NEGERI 1 SAJIRA

Dhimas Novan Sahuri ^{1*}, Thia Anissa ², Mohamad Reynaldy Hilyawan ³, Ita Mubarakah ⁴

^{1,2,3,4} Teknik Elektro, Universitas Pamulang, Kota Serang

E-mail: dhimasnovan17@gmail.com¹, thiaanissa@unpam.ac.id², dosen02935@unpam.ac.id³, dosen03027@unpam.ac.id⁴

ABSTRACT

The use of air conditioning (AC) systems in computer laboratories requires effective energy monitoring due to their considerable contribution to electricity consumption. This study aims to design and implement an Internet of Things (IoT)-based electrical energy monitoring system for an AC load in the Computer Laboratory of SMA Negeri 1 Sajira. The system was developed using the System Development Life Cycle (SDLC) method with an experimental approach. An ESP32 DevKitC V4 was employed as the main data processing and communication unit, while a PZEM-004T v4.0 sensor integrated with a Split-Core Current Transformer (CT) was used to measure electrical parameters. A 16×2 I2C LCD was also incorporated to provide local measurement information. The acquired data were transmitted through a Wi-Fi network to the Blynk IoT Cloud, enabling real-time monitoring of electrical conditions. In addition, Google Apps Script was utilized to automatically record measurement data in Google Sheets at five-minute intervals. The experimental results showed that the PZEM-004T v4.0 achieved an average voltage measurement error of 0.64% and was capable of detecting operational current and variations in the AC load. Data transmission over a Wi-Fi connection operating at 42-44 Mbps remained stable, with no packet loss observed during testing. These findings indicate that the proposed system can provide real-time electrical parameter monitoring and automatic historical data recording, thereby supporting more effective supervision of electrical energy consumption within the school environment.

Article History

Received: September 2026

Reviewed: September 2026

Published: September 2026

Plagiarism Checker No
237.u873247.fh8374

Copyright : Author
Publish by : Kohesi



This work is licensed
under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Keywords: *Electrical Energy Monitoring, Internet of Things (IoT), ESP32, PZEM-004T, Blynk IoT.*

ABSTRAK

Penggunaan Air Conditioner (AC) pada laboratorium komputer memerlukan pemantauan konsumsi energi yang baik karena karakteristik bebannya dapat memberikan kontribusi cukup besar terhadap penggunaan listrik. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring energi listrik pada beban AC berbasis Internet of Things (IoT) di Laboratorium Komputer SMA Negeri 1 Sajira. Pengembangan sistem menggunakan metode System Development Life Cycle (SDLC)



dengan pendekatan eksperimental. Sistem dibangun menggunakan ESP32 DevKitC V4 sebagai pusat pengolahan dan komunikasi data, sensor PZEM-004T v4.0 yang terhubung dengan Split-Core Current Transformer (CT) sebagai perangkat pengukuran parameter kelistrikan, serta LCD 16×2 I2C sebagai media informasi lokal. Data hasil pengukuran dikirim melalui jaringan Wi-Fi menuju Blynk IoT Cloud sehingga kondisi kelistrikan dapat dipantau secara real-time. Sistem juga diintegrasikan dengan Google Sheets melalui Google Apps Script untuk melakukan pencatatan data secara otomatis setiap lima menit. Berdasarkan hasil pengujian, sensor PZEM-004T v4.0 menghasilkan rata-rata kesalahan pengukuran tegangan sebesar 0,64% serta mampu mendeteksi arus operasi dan perubahan beban AC. Pengiriman data menggunakan jaringan Wi-Fi dengan kecepatan 42-44 Mbps berlangsung stabil dan tidak ditemukan kehilangan paket data selama pengujian. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu menyediakan pemantauan parameter kelistrikan secara real-time sekaligus menyimpan riwayat pengukuran secara otomatis sehingga dapat mendukung pengawasan penggunaan energi listrik pada lingkungan sekolah.

Kata Kunci: Monitoring Energi Listrik, Internet of Things (IoT), ESP32, PZEM-004T, Blynk IoT.

1. PENDAHULUAN

Pendahuluan: Pemanfaatan energi listrik merupakan salah satu aspek penting dalam mendukung kegiatan operasional lembaga pendidikan, terutama pada fasilitas yang menggunakan berbagai perangkat elektronik secara intensif. SMA Negeri 1 Sajira sebagai institusi pendidikan terus mengembangkan sarana pendukung pembelajaran, termasuk penggunaan Air Conditioner (AC) pada Laboratorium Komputer. Keberadaan sistem pendingin diperlukan untuk menjaga kenyamanan selama kegiatan pembelajaran sekaligus membantu mempertahankan kondisi temperatur yang sesuai bagi perangkat komputer. Namun, penggunaan AC juga perlu diimbangi dengan pengelolaan energi yang baik karena perangkat pendingin termasuk beban dengan konsumsi listrik yang relatif besar (Yani, 2023). Kondisi tersebut menyebabkan pemantauan konsumsi energi menjadi diperlukan agar penggunaan listrik dapat dikendalikan secara lebih efektif.

Karakteristik kelistrikan AC sebagai beban induktif juga menjadi perhatian dalam pengelolaan energi. Kompresor menggunakan prinsip induksi elektromagnetik dalam proses konversi energi listrik menjadi energi mekanis. Karakteristik tersebut dapat menimbulkan perbedaan fasa antara tegangan dan arus yang berpengaruh terhadap nilai faktor daya. Faktor daya yang kurang optimal dapat meningkatkan kebutuhan arus untuk menghasilkan daya aktif yang sama, sehingga berpotensi menurunkan efisiensi sistem dan meningkatkan pembebanan pada instalasi kelistrikan (Arfa & Sukandar, 2023; Kurniawan, 2023). Oleh sebab itu, informasi mengenai tegangan, arus, daya, dan faktor daya diperlukan untuk mengetahui kondisi operasional beban secara lebih terukur.



Permasalahan yang ditemukan di SMA Negeri 1 Sajira adalah pemantauan penggunaan energi yang masih mengandalkan informasi tagihan listrik bulanan. Mekanisme tersebut hanya memberikan gambaran konsumsi listrik secara keseluruhan dan belum mampu menunjukkan penggunaan energi secara spesifik pada masing-masing perangkat. Akibatnya, kondisi seperti lonjakan arus pada AC, pengoperasian perangkat di luar waktu yang diperlukan, maupun kemungkinan pemborosan energi sulit diketahui secara langsung. Keterbatasan data tersebut juga menyebabkan evaluasi penggunaan energi belum dapat sepenuhnya didasarkan pada informasi konsumsi listrik yang rinci dan berkelanjutan (Yani, 2023; Nursalim et al., 2024).

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) memberikan peluang untuk mengatasi keterbatasan tersebut melalui sistem monitoring yang mampu mengakuisisi, mengolah, dan mengirimkan data secara otomatis. Salah satu alternatif yang dapat digunakan adalah integrasi mikrokontroler ESP32 dengan sensor energi PZEM-004T. ESP32 memiliki fasilitas komunikasi Wi-Fi yang memungkinkan data hasil pengukuran dikirimkan melalui jaringan nirkabel, sedangkan PZEM-004T dapat digunakan untuk memperoleh sejumlah parameter kelistrikan. Penggunaan Split-Core Current Transformer (CT) juga memungkinkan proses pengukuran arus dilakukan secara non-invasif sehingga pemasangan perangkat tidak mengharuskan pemotongan kabel utama pada instalasi listrik (Yasa et al., 2023; Siahaan et al., 2024).

Sejumlah penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem monitoring energi berbasis IoT. Yasa et al. (2023), misalnya, mengembangkan prototipe berbasis ESP32 dan PZEM-004T yang mampu menampilkan sejumlah parameter kelistrikan dengan tingkat akurasi yang tinggi. Sementara itu, penerapan ESP32 dalam sistem pengelolaan energi gedung menunjukkan manfaat komunikasi nirkabel untuk mendukung proses pemantauan (Arfa & Sukandar, 2023). Meskipun demikian, penelitian sebelumnya masih memiliki perbedaan ruang lingkup, antara lain penerapan pada beban rumah tangga, pengukuran pada tingkat panel gedung, maupun sistem yang belum secara khusus diarahkan untuk mengamati satu beban induktif berupa AC. Berdasarkan kajian penelitian terdahulu dalam skripsi, penelitian ini diarahkan pada integrasi ESP32 DevKit V4 dan PZEM-004T v4.0 untuk memantau parameter kelistrikan pada unit AC secara langsung.

Sistem yang dikembangkan mengintegrasikan perangkat pengukuran dengan Blynk IoT Cloud sebagai media visualisasi data secara real-time. Selain pemantauan langsung, data hasil pengukuran dicatat secara otomatis pada Google Sheets melalui Google Apps Script sehingga riwayat penggunaan energi dapat terdokumentasi dan digunakan untuk kebutuhan evaluasi. Integrasi tersebut diharapkan dapat memberikan informasi kelistrikan yang lebih terstruktur dibandingkan pemantauan yang hanya mengandalkan tagihan listrik bulanan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem monitoring energi listrik pada beban AC berbasis Internet of Things (IoT) di Laboratorium Komputer SMA Negeri 1 Sajira. Sistem dirancang untuk menyediakan informasi penggunaan listrik secara akurat dan real-time, sehingga dapat mendukung proses pemantauan serta menyediakan



data historis yang dapat dimanfaatkan dalam evaluasi penggunaan energi listrik di lingkungan sekolah.

2. METODE PENELITIAN

Metode Penelitian: Penelitian ini menggunakan metode rancang bangun (Research and Development) dengan pendekatan eksperimental untuk menghasilkan sistem monitoring energi listrik berbasis Internet of Things (IoT) pada beban Air Conditioner (AC). Proses pengembangan mengacu pada System Development Life Cycle (SDLC) agar tahapan integrasi perangkat keras dan perangkat lunak dapat dilakukan secara sistematis. Tahapan penelitian meliputi identifikasi dan analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi perangkat, pengembangan program, serta pengujian dan evaluasi kinerja sistem.

Penelitian dilaksanakan di SMA Negeri 1 Sajira, Kecamatan Sajira, Kabupaten Lebak, Provinsi Banten. Pelaksanaan penelitian berlangsung selama tiga bulan, yaitu Mei hingga Juli 2026, yang mencakup studi literatur dan observasi, perancangan perangkat, pembuatan firmware, pengujian, pengambilan dan analisis data, serta penyusunan hasil penelitian. Implementasi alat difokuskan pada jalur beban AC yang menjadi objek pemantauan.

Sistem dirancang menggunakan ESP32 DevKitC V4 sebagai unit pengolah data dan penghubung jaringan Wi-Fi. Pengukuran parameter listrik menggunakan modul PZEM-004T v4.0 yang dilengkapi Split-Core Current Transformer (CT), sehingga pengambilan sampel arus dapat dilakukan secara non-invasif. Informasi hasil pengukuran ditampilkan secara lokal melalui LCD 16×2 dan dikirimkan melalui jaringan internet menuju Blynk IoT untuk kebutuhan monitoring jarak jauh. Sistem juga memanfaatkan Google Apps Script sebagai penghubung antara ESP32 dan Google Sheets untuk menyimpan data pengukuran secara otomatis. Perangkat lunak dikembangkan menggunakan Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C/C++.

Secara fungsional, sistem bekerja dengan mengukur parameter kelistrikan pada beban AC menggunakan PZEM-004T dan CT. Data hasil pembacaan sensor diteruskan melalui komunikasi serial menuju ESP32 untuk diproses. Informasi yang telah diolah kemudian didistribusikan melalui dua jalur, yaitu secara lokal menuju LCD dan secara daring melalui jaringan Wi-Fi. Pada jalur daring, data ditampilkan melalui dashboard Blynk untuk monitoring real-time, sedangkan pencatatan historis dilakukan melalui Google Apps Script ke Google Sheets.

Tahapan penelitian dimulai dengan identifikasi permasalahan dan studi literatur mengenai pemantauan konsumsi energi listrik pada unit AC. Selanjutnya dilakukan analisis kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak, diikuti perancangan rangkaian serta pembuatan alat. Setelah perangkat keras selesai dirakit, program pada ESP32 dikembangkan untuk mengatur pembacaan parameter kelistrikan, tampilan lokal, dan pengiriman data melalui jaringan Wi-Fi. Tahap berikutnya adalah pengujian sistem, analisis data, dan evaluasi hasil pengukuran untuk mengetahui kinerja perangkat yang dikembangkan.

Program pada ESP32 mengatur proses pembacaan data dari PZEM-004T, validasi hasil pengukuran, serta distribusi informasi menuju media monitoring. Data yang valid ditampilkan pada LCD dan dikirimkan ke Blynk IoT Cloud dengan interval sekitar 2 detik untuk pemantauan secara real-time. Sementara itu, pencatatan historis dilakukan setiap 5 menit dengan mengubah data menjadi format JSON dan mengirimkannya menggunakan metode HTTP POST menuju Google Apps Script untuk kemudian disimpan pada Google Sheets.



Antarmuka Blynk dirancang untuk menampilkan parameter utama berupa tegangan, arus, daya aktif, dan faktor daya. Masing-masing data dialokasikan pada virtual pin V0 sampai V3. Selain tampilan numerik, dashboard menyediakan grafik untuk melihat perubahan parameter listrik dari waktu ke waktu. Adapun Google Sheets digunakan sebagai media penyimpanan data historis dengan pencatatan timestamp dan parameter hasil pengukuran secara otomatis.

Validasi sistem dilakukan melalui pengujian komparatif antara hasil pembacaan PZEM-004T v4.0 dengan instrumen ukur standar berupa multimeter digital dan clamp meter. Pengujian dilakukan berulang pada beberapa kondisi operasional AC, kemudian selisih pembacaan dihitung dalam bentuk persentase galat (error). Nilai rata-rata galat selanjutnya digunakan sebagai indikator untuk menentukan tingkat akurasi dan kelayakan perangkat sebelum digunakan dalam proses monitoring secara berkelanjutan.

Setelah melalui tahap kalibrasi, sistem digunakan untuk merekam parameter kelistrikan secara kontinu pada beban AC berkapasitas 1 PK. Pada tahap pengujian lapangan, pencatatan dilakukan selama satu bulan pada hari operasional sekolah, yaitu Senin sampai Jumat sekitar pukul 07.00-16.00 WIB, dengan data dikirim secara otomatis ke basis data cloud setiap lima menit. Parameter yang diamati meliputi tegangan, arus, daya aktif, dan faktor daya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan Pembahasan:

1. Hasil Perancangan Sistem

Penelitian ini menghasilkan perangkat monitoring energi listrik berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu melakukan pengukuran, pemrosesan, visualisasi, dan penyimpanan data kelistrikan pada beban AC. Sistem terdiri atas ESP32 DevKitC V4 sebagai pusat pemrosesan, PZEM-004T v4.0 sebagai sensor parameter listrik, Split-Core Current Transformer (CT) sebagai pengukur arus secara non-invasif, serta LCD 16×2 sebagai media tampilan lokal. Seluruh komponen ditempatkan di dalam enclosure dengan pemisahan antara bagian tegangan AC dan rangkaian logika DC untuk mengurangi potensi gangguan terhadap sistem elektronik. Hasil implementasi menunjukkan bahwa perangkat dapat beroperasi dengan suplai daya yang stabil dan LCD mampu menampilkan parameter hasil pengukuran tanpa terjadi brownout reset.

Pada bagian perangkat lunak, firmware dikembangkan menggunakan bahasa C++ melalui Arduino IDE. Program mengatur proses pembacaan data dari PZEM-004T, penampilan informasi pada LCD, serta pengiriman data melalui Wi-Fi menuju Blynk IoT Cloud. Sistem juga diintegrasikan dengan Google Apps Script menggunakan metode HTTP POST dan format JSON agar hasil pengukuran dapat dicatat secara otomatis pada Google Sheets setiap lima menit. Implementasi timer counter memungkinkan proses pembacaan sensor dan komunikasi dengan cloud berjalan secara kontinu tanpa menghambat proses utama mikrokontroler.

2. Pengujian Akurasi Sensor

Validasi PZEM-004T v4.0 dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap multimeter digital dan clamp meter sebagai instrumen acuan. Pengujian menggunakan sepuluh sampel untuk parameter tegangan dan arus. Ringkasan hasil pengujian disajikan pada Tabel 1.



Tabel 1. Hasil Validasi Sensor PZEM-004T v4.0

No.	Tegangan Standar (V)	Tegangan Sensor (V)	Error Tegangan (%)	Arus Standar (A)	Arus Sensor (A)	Error Arus (%)
1	222,1	222,9	0,36	0,15	0,17	13,33
2	222,5	223,4	0,40	1,00	1,02	2,00
3	224,2	226,0	0,80	1,10	1,10	0,00
4	222,0	224,8	1,26	1,15	1,14	0,87
5	227,1	229,0	0,84	1,13	1,13	0,00
6	219,5	222,3	1,28	1,00	1,00	0,00
7	221,4	222,3	0,41	1,13	1,12	0,88
8	220,7	222,5	0,82	1,17	1,19	1,71
9	222,3	222,7	0,18	1,12	1,14	1,79
10	223,4	223,6	0,09	1,16	1,19	2,59
Rata-rata	-	-	0,64	-	-	2,32

Hasil pengujian menunjukkan bahwa galat pengukuran tegangan berada pada rentang 0,09-1,28%, dengan rata-rata sebesar 0,64%. Berdasarkan perhitungan akurasi sebesar 100% dikurangi persentase galat, pembacaan tegangan menghasilkan tingkat akurasi 99,36%. Sementara itu, rata-rata galat pengukuran arus tercatat sebesar 2,32%. Temuan tersebut menunjukkan bahwa PZEM-004T mampu memberikan pembacaan yang mendekati instrumen pembanding dan dapat digunakan dalam proses monitoring parameter kelistrikan pada objek penelitian.

Perbedaan persentase galat antara tegangan dan arus berkaitan dengan karakteristik pembacaan CT pada nilai arus yang rendah. Pada analisis skripsi disebutkan bahwa persentase galat dapat terlihat lebih besar secara matematis ketika arus yang diukur sangat kecil, walaupun selisih absolut pembacaannya relatif kecil. Sistem juga mampu merespons perubahan dan lonjakan arus pada unit AC, yang menunjukkan bahwa perangkat dapat mengikuti perubahan kondisi operasional beban.

3. Hasil Monitoring Beban AC

Setelah proses kalibrasi, sistem digunakan untuk melakukan monitoring pada unit AC berkapasitas 1 PK. Pengambilan data dilakukan selama satu bulan, yaitu mulai 6 Agustus hingga 4 September 2026, pada hari operasional sekolah dengan interval pencatatan lima menit. Parameter yang direkam meliputi tegangan, arus, daya aktif, dan faktor daya.

Hasil pengamatan memperlihatkan perbedaan yang jelas antara kondisi beban tidak beroperasi dan kondisi AC aktif. Ketika AC belum digunakan atau berada dalam kondisi siaga, tegangan jaringan tercatat pada kisaran 212,0-230,6 V, sedangkan arus terbaca 0 A dengan daya sekitar 0,4-0,6 W. Ketika AC beroperasi, arus kerja berada pada kisaran 0,90-1,22 A, daya aktif sekitar 178-246 W, dan faktor daya berada pada rentang 0,85-0,95.

Data tersebut memperlihatkan bahwa sistem dapat membedakan perubahan kondisi operasional



AC berdasarkan parameter kelistrikan yang terukur. Sebagai contoh, pada 14 Agustus 2026 pukul 13.00 WIB tercatat tegangan 215,1 V, arus 1,054 A, daya 208,9 W, dan faktor daya 0,92. Pada periode berikutnya daya meningkat dan pada pukul 14.10 WIB tercatat sebesar 246,8 W dengan arus 1,221 A. Variasi tersebut memperlihatkan bahwa perubahan karakteristik beban selama AC bekerja dapat direkam oleh sistem secara berkala.

Hasil pengukuran selama periode pengamatan juga menunjukkan adanya fluktuasi tegangan jaringan. Pada beberapa periode tegangan mengalami penurunan ketika beban beroperasi, sedangkan nilai arus dan daya mengalami perubahan mengikuti kondisi penggunaan AC. Dengan tersedianya data historis tersebut, kondisi beban tidak hanya dapat diketahui pada saat pengukuran berlangsung, tetapi juga dapat ditelusuri kembali melalui rekaman data yang tersimpan.

4. Pengujian Sistem IoT dan Data Logging

Pengujian Blynk IoT menunjukkan bahwa ESP32 berhasil mengirimkan parameter tegangan, arus, daya, dan faktor daya melalui jaringan Wi-Fi untuk ditampilkan pada dashboard secara real-time. Tampilan tersebut memungkinkan pengguna mengamati kondisi kelistrikan tanpa harus berada langsung di dekat perangkat monitoring.

Selain fungsi monitoring, sistem berhasil menjalankan mekanisme data logging melalui Google Apps Script. Paket data dari ESP32 dikirim menggunakan HTTP POST kemudian ditambahkan secara otomatis ke Google Sheets. Selama pengujian, pencatatan berlangsung secara kontinu tanpa ditemukan kehilangan data (packet loss) maupun penolakan koneksi sebagaimana dilaporkan dalam hasil penelitian. Dengan demikian, Google Sheets dapat berfungsi sebagai penyimpanan data historis yang melengkapi monitoring real-time pada Blynk.

5. Stabilitas Jaringan Wi-Fi

Keandalan komunikasi IoT sangat dipengaruhi oleh koneksi jaringan yang digunakan. Hasil pengujian di lokasi penelitian menunjukkan bahwa kecepatan Wi-Fi berada pada kisaran 42-44 Mbps. Kondisi jaringan tersebut mendukung proses pengiriman paket data dari ESP32 menuju layanan cloud. Sinkronisasi data dan pencatatan otomatis setiap lima menit dapat berlangsung tanpa gangguan keterlambatan maupun kehilangan paket data selama pengujian yang dilaporkan dalam skripsi.

Pembahasan

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi ESP32 DevKitC V4, PZEM-004T v4.0, Blynk IoT, Google Apps Script, dan Google Sheets dapat membentuk sistem monitoring energi yang menjalankan fungsi pengukuran, visualisasi, serta pencatatan data secara terintegrasi. Tingkat akurasi tegangan sebesar 99,36% dengan rata-rata galat 0,64%, serta rata-rata galat arus sebesar 2,32%, menunjukkan bahwa sensor dapat digunakan untuk mengamati perubahan parameter kelistrikan pada beban AC dalam penelitian ini.

Pemantauan jangka panjang juga memperlihatkan bahwa sistem mampu mengidentifikasi perbedaan karakteristik ketika AC tidak beroperasi dan ketika beban aktif. Pada kondisi operasi,



perubahan arus, daya, dan faktor daya dapat terekam secara berkala, sedangkan saat beban tidak aktif nilai arus turun hingga 0 A. Kemampuan tersebut memberikan informasi yang lebih rinci dibandingkan sistem pencatatan konsumsi listrik yang hanya mengandalkan tagihan bulanan, karena pengelola dapat melihat kondisi penggunaan beban berdasarkan waktu dan parameter listrik yang terukur.

Integrasi dengan Blynk dan Google Sheets memberikan dua fungsi yang saling melengkapi. Blynk digunakan untuk melihat kondisi sistem secara real-time, sedangkan Google Sheets menyediakan rekaman historis yang dapat digunakan untuk meninjau kembali pola penggunaan energi. Dengan interval penyimpanan lima menit dan koneksi Wi-Fi yang tercatat stabil pada kisaran 42-44 Mbps, proses pertukaran data antara perangkat, cloud, dan media penyimpanan dapat berjalan secara berkesinambungan. Berdasarkan hasil tersebut, sistem yang dikembangkan telah memenuhi fungsi utama penelitian, yaitu menyediakan monitoring parameter kelistrikan beban AC secara real-time sekaligus mendokumentasikan hasil pengukuran secara otomatis.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dan Saran: Berdasarkan hasil penelitian, sistem monitoring energi listrik berbasis Internet of Things (IoT) yang mengintegrasikan ESP32 DevKitC V4, sensor PZEM-004T v4.0, Blynk IoT, dan Google Sheets berhasil dirancang dan diimplementasikan untuk memantau parameter kelistrikan pada beban AC. Sistem mampu mengukur tegangan, arus, daya, dan faktor daya serta mengirimkan hasil pengukuran secara real-time melalui jaringan Wi-Fi. Pengujian menunjukkan bahwa sensor memiliki akurasi pengukuran tegangan sebesar 99,36% dengan rata-rata galat 0,64%, sedangkan rata-rata galat pengukuran arus sebesar 2,32%. Selama pengamatan, sistem mampu merekam perubahan kondisi operasional AC serta melakukan pencatatan data secara otomatis setiap lima menit. Integrasi dengan Blynk IoT memberikan kemudahan dalam pemantauan secara real-time, sementara Google Sheets berfungsi sebagai penyimpanan data historis. Dukungan jaringan Wi-Fi dengan kecepatan sekitar 42-44 Mbps juga memungkinkan proses pengiriman dan sinkronisasi data berjalan stabil. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan telah memenuhi fungsi utama penelitian sebagai sarana pemantauan parameter kelistrikan dan pencatatan penggunaan energi AC secara terintegrasi berbasis IoT.

Pengembangan selanjutnya dapat diarahkan pada peningkatan ketelitian pembacaan arus, khususnya ketika beban berada pada nilai yang rendah, serta penyempurnaan sistem agar dapat digunakan pada jumlah beban yang lebih banyak. Sistem juga dapat dikembangkan dengan menambahkan fitur analisis konsumsi energi, perhitungan biaya listrik secara otomatis, serta mekanisme pemberitahuan ketika terjadi penggunaan daya yang tidak normal. Selain itu, kestabilan koneksi internet dan pemeliharaan perangkat perlu diperhatikan secara berkala agar proses monitoring dan penyimpanan data tetap berjalan dengan baik dalam penggunaan jangka panjang.

5. DAFTAR PUSTAKA

Al-Obaidi, M. A., Hossain, M., Alduais, N. A. M., Al-Duais, H. S., Omrany, H., & Ghaffarianhoseini, A. (2022). A review of using IoT for energy efficient buildings and cities: A built environment perspective. *Energies*, 15(16), 5991.



- Ardiansyah, M. (2025). Sistem monitoring energi listrik dengan ESP32 dan sensor PZEM004T berbasis Node-RED. Universitas Duta Bangsa Surakarta.
- Arfa, A. F., & Sukandar. (2023). Implementasi Building Management System (BMS) berbasis IoT untuk optimalisasi penggunaan energi pada gedung perkuliahan. *TATAL*, 3(1).
- Cavalcanti, G. O., & Pimenta, H. C. D. (2023). Electric energy management in buildings based on the Internet of Things: A systematic review. *Energies*, 16(15), 5753.
- Dutta, P. K., El-Kenawy, S. M., Ali, G., & Dhoska, K. (2023). An energy consumption monitoring and control system in buildings using Internet of Things. *Babylonian Journal of Internet of Things*, 38-47.
- Hidayat, K. M. W., & Al-Faris, M. G. (2025). IoT-based electrical power consumption monitoring system in households using ESP32 and PZEM-004T. *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, 5(2).
- Himeur, Y., et al. (2022). Recent trends of smart nonintrusive load monitoring in buildings: A review, open challenges, and future directions. *International Journal of Intelligent Systems*.
- Magfirah, F., & Widhiantoro, D. (2024). Sistem monitoring biaya konsumsi listrik rumah tangga berbasis IoT. *Spektral*, 5(1), 232-238.
- Firdaus, M. A., Isdawimah, & Wagya, A. (2024). Kinerja sensor PZEM-004T pada sistem monitoring penggunaan energi listrik berbasis IoT. *Seminar Nasional Teknik Elektro*.
- Mubina, F. F., & Firasanto, G. (2023). Pemantauan dan pengendalian pemakaian energi listrik berbasis IoT. *EPIC Journal of Electrical Power Instrumentation and Control*.
- Nursalim, Galla, W. F., Tena, S., & Meok, N. J. (2024). Perancangan dan implementasi smart kWh meter berbasis ESP32 untuk manajemen energi pada pelanggan rumah tangga 1300 VA. *Jurnal Media Elektro*.
- Redlein, A., & Thrainer, L. (2022). IoT-based architecture for efficient energy monitoring in existing building structures. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1122.
- Sajonia, S. B., Balamad, A. D., & Dellosa, J. (2024). Design and implementation of an IoT-based building energy monitoring with automation system. *2024 3rd International Conference for Advancement in Technology (ICONAT)*.
- Selvaraj, R., Kuthadi, V. M., & Baskar, S. (2023). Smart building energy management and monitoring system based on artificial intelligence in smart city. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 56, 103090.
- Siahaan, J. M., Indrianto, I., & Prayitno, B. (2024). Rancang bangun alat monitoring penggunaan daya listrik berbasis Internet of Things menggunakan ESP32. *ITPLN*.
- Sundawa, B. V., Batubara, F. A., Nasution, T. A. T., & Benar. (2025). Sistem monitoring arus tegangan dan daya berbasis sensor PZEM-004T. *Jurnal Teknologi Rekayasa Jaringan Telekomunikasi*, 5(2).
- Wisaksono, A., Purwanti, Y., Ariyanti, N., & Masruchin. (2022). Design of monitoring and control of energy use in multi-storey buildings based on IoT. *JEEE-U*.
- Wongwut, K., & Angamnuaysiri, D. (2024). The development of real-time energy monitoring system using IoT base. *Journal of Applied Research on Science and Technology*.
- Yani, R. D. (2023). Analisis konsumsi energi listrik pada sistem pendingin ruangan (Air Conditioning) di Gedung Direktorat Politeknik Negeri Pontianak. *ELKHA: Jurnal Teknik Elektro*, 9(1), 13-18.



- Yasa, K. A., Purbhawa, I. M., Yasa, I. M. S., Teresna, I. W., Nugroho, A., & Winardi, S. (2023). Prototype pemantauan konsumsi energi listrik pada Firebase menggunakan PZEM-004T. *Jurnal Eksplora Informatika*, 12(2).
- Yuan, F. (2025). Sistem pemantauan daya listrik 1 fase real-time berbasis Internet of Things. *Universitas Bangka Belitung*.
- Zaidi, M. A. A., Bahari, A., & Abdul Wahab, Z. (2024). Development of energy consumption measurement and monitoring system for household applications. *Progress in Engineering Application and Technology*, 5(1), 66-78.