



Sistem Monitoring Parameter Listrik AC Satu Fasa Berbasis Wemos D1 dan ThingSpeak

Yusro Amin Majid¹, Sulistyo Widodo^{2*}

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Dian Nusantara, Indonesia

*Penulis Korespondensi: Sulistyo.widodo@undira.ac.id

Abstract. This research develops a single-phase AC electrical parameter monitoring system based on the Wemos D1 microcontroller, PZEM-004T sensor, and ThingSpeak Internet of Things platform. The system monitors voltage, current, active power, electrical energy, frequency, and power factor, and transmits measurement data through Wi-Fi for real-time remote monitoring. The research uses an engineering and experimental approach consisting of hardware and software design, system integration, implementation, and testing under several household load conditions. Tests included a fan, refrigerator, and electric iron, with additional evaluation under low-load and high-load operating periods. The fan test produced approximately 213–218 V, 0.03–0.05 A, 4–6 W, and a power factor of 0.58–0.85. The refrigerator showed approximately 200–208 V with fluctuating current and power according to the compressor cycle and a power factor of 0.60–0.85. The electric iron produced 212–219 V, 0.2–1.5 A, 30–400 W, and a power factor of 0.98–1.00. Frequency remained within 49.9–50 Hz. Measurement data were successfully transmitted and displayed on ThingSpeak in real time. The results indicate that the system can continuously monitor different load characteristics and support remote household electrical monitoring. Accuracy was evaluated from consistency and load-response characteristics because laboratory-standard calibration was not performed.

Keywords: Electrical Energy; IoT; PZEM-004T; ThingSpeak; Wemos D1.

Abstrak. Penelitian ini mengembangkan sistem monitoring parameter listrik AC satu fasa berbasis mikrokontroler Wemos D1, sensor PZEM-004T, dan platform Internet of Things (IoT) ThingSpeak. Sistem digunakan untuk memonitor tegangan, arus, daya aktif, energi listrik (kWh), frekuensi, dan faktor daya serta mengirimkan data hasil pengukuran melalui koneksi Wi-Fi agar dapat dipantau secara real-time. Metode penelitian menggunakan pendekatan rekayasa dan eksperimen yang meliputi perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, integrasi sistem, implementasi, serta pengujian pada beberapa kondisi beban rumah tangga. Pengujian dilakukan pada kipas angin, kulkas, dan setrika dengan karakteristik beban yang berbeda serta mempertimbangkan kondisi jam sepi dan jam sibuk. Pada kipas angin diperoleh tegangan sekitar 213–218 V, arus 0,03–0,05 A, daya 4–6 W, dan faktor daya 0,58–0,85. Pada kulkas diperoleh tegangan sekitar 200–208 V dengan arus dan daya yang berubah mengikuti siklus kerja kompresor serta faktor daya 0,60–0,85. Pada setrika diperoleh tegangan 212–219 V, arus 0,2–1,5 A, daya 30–400 W, dan faktor daya 0,98–1,00. Frekuensi selama pengujian berada pada kisaran 49,9–50 Hz. Data berhasil dikirimkan dan ditampilkan pada ThingSpeak dalam bentuk grafik dan data numerik secara real-time. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu memonitor karakteristik beban yang berbeda secara kontinu dan mendukung pemantauan listrik rumah tangga dari jarak jauh. Evaluasi akurasi dilakukan berdasarkan konsistensi pembacaan dan respons terhadap karakteristik beban karena penelitian belum melakukan kalibrasi menggunakan alat ukur standar laboratorium.

Kata Kunci: Energi Listrik; IoT; PZEM-004T; ThingSpeak; Wemos D1.

1. LATAR BELAKANG

Kebutuhan energi listrik yang terus meningkat menjadikan pemantauan konsumsi energi sebagai salah satu aspek penting dalam pengelolaan penggunaan listrik. Pengukuran parameter listrik secara manual memiliki keterbatasan karena pengguna tidak dapat memperoleh informasi kondisi listrik secara kontinu dan dari jarak jauh. Pemanfaatan Internet of Things (IoT) memberikan peluang untuk mengembangkan sistem monitoring yang mampu mengirimkan data pengukuran melalui jaringan internet sehingga informasi kelistrikan dapat dipantau secara real-time.

Pada praktiknya, alat ukur konvensional seperti kWh meter lebih berfokus pada energi kumulatif dan belum memberikan informasi terperinci mengenai daya sesaat, arus, profil tegangan, faktor daya, dan frekuensi. Kondisi tersebut membatasi kemampuan pengguna dalam menganalisis pola konsumsi energi, mengenali perubahan beban, dan mengevaluasi potensi pemborosan. Sistem monitoring berbasis IoT dapat mengatasi keterbatasan tersebut dengan menggabungkan sensor, mikrokontroler, komunikasi jaringan, dan platform cloud.

Penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem monitoring daya listrik berbasis IoT dengan berbagai mikrokontroler dan sensor. Penelitian ini memanfaatkan integrasi PZEM-004T, komunikasi RS485/Modbus RTU, Wemos D1 berbasis ESP8266, dan ThingSpeak untuk memonitor enam parameter kelistrikan, yaitu tegangan, arus, daya aktif, energi listrik, frekuensi, dan faktor daya pada beberapa karakteristik beban rumah tangga.

Tujuan penelitian ini adalah merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring parameter listrik AC satu fasa berbasis IoT serta menguji kemampuan sistem dalam membaca parameter listrik dan mengirimkan hasil pengukuran ke ThingSpeak secara real-time. Sistem juga dievaluasi berdasarkan kestabilan pembacaan, respons terhadap variasi beban, serta keberhasilan visualisasi data secara daring.

2. KAJIAN TEORITIS

Sistem monitoring listrik digunakan untuk memperoleh informasi kondisi kelistrikan berdasarkan parameter hasil pengukuran. Parameter penelitian meliputi tegangan, arus, daya aktif, energi listrik, frekuensi, dan faktor daya. Tegangan dan arus menunjukkan kondisi suplai dan besarnya beban, daya menunjukkan laju konsumsi energi, energi menunjukkan akumulasi konsumsi selama waktu tertentu, faktor daya menunjukkan karakteristik pemanfaatan daya aktif terhadap daya semu, sedangkan frekuensi menunjukkan kestabilan sistem AC.

PZEM-004T digunakan sebagai sensor pengukuran parameter listrik AC dan berkomunikasi melalui antarmuka RS485 dengan protokol Modbus RTU. Modul MAX485 digunakan sebagai konverter RS485–TTL agar data dapat dibaca oleh Wemos D1. Pada komunikasi Modbus RTU, Wemos D1 bertindak sebagai master yang meminta data, sedangkan PZEM-004T bertindak sebagai slave yang memberikan data parameter kelistrikan.

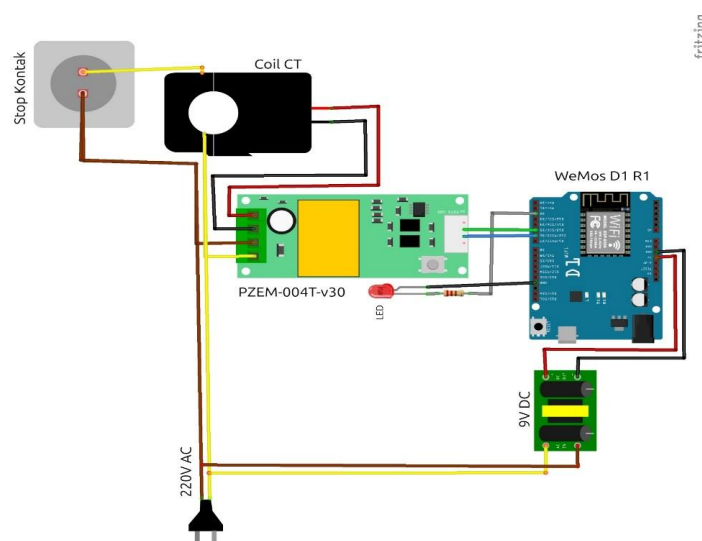
Wemos D1 berbasis ESP8266 berfungsi sebagai mikrokontroler sekaligus perangkat komunikasi Wi-Fi. Data dari PZEM-004T diproses dan dikirimkan ke ThingSpeak untuk penyimpanan dan visualisasi data. ThingSpeak berfungsi sebagai platform cloud yang menyediakan channel dan field untuk menampung data parameter listrik serta menampilkannya dalam bentuk grafik dan data numerik.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan pendekatan rekayasa dan eksperimen yang terdiri atas tahap identifikasi masalah, penetapan spesifikasi, studi literatur, perancangan, pembuatan, integrasi, implementasi, pengujian, analisis data, dan penarikan kesimpulan. Sistem dirancang untuk instalasi listrik AC satu fasa dengan sumber nominal 220 V.

Perancangan dan Integrasi Sistem

Perangkat utama terdiri atas sumber listrik AC, sensor PZEM-004T, CT clamp, modul MAX485, Wemos D1, koneksi Wi-Fi, dan platform ThingSpeak. Sumber AC 220 V terhubung ke beban dan terminal pengukuran tegangan PZEM-004T, sedangkan arus beban diukur menggunakan CT clamp pada salah satu jalur fasa. PZEM-004T mengukur tegangan, arus, daya aktif, energi, faktor daya, dan frekuensi. Data dikirim melalui RS485, dikonversi menjadi TTL oleh MAX485, lalu dibaca oleh Wemos D1 melalui komunikasi serial. Wemos D1 selanjutnya mengirimkan data ke ThingSpeak melalui Wi-Fi.



Gambar 1. Rancangan Monitoring daya.

Program pada Wemos D1 melakukan inisialisasi komunikasi serial/Modbus RTU, koneksi Wi-Fi, dan konfigurasi API ThingSpeak. Setelah koneksi tersedia, sistem membaca keenam parameter dari PZEM-004T, memvalidasi data, memformat nilai, dan mengirimkannya ke ThingSpeak. Jika pengiriman gagal, sistem melakukan pengecekan koneksi dan percobaan ulang. Interval pengiriman dirancang sekitar 15 detik.

Instrumen dan Skenario Pengujian

Instrumen penelitian meliputi Wemos D1, PZEM-004T, CT clamp, MAX485, catu daya, kabel dan terminal listrik, serta perangkat lunak Arduino IDE dan browser untuk mengakses ThingSpeak. Pengujian direncanakan pada router Wi-Fi, kipas angin, kulkas, dan

setrika. Namun, pembahasan hasil pada artikel difokuskan pada tiga beban yang memiliki data hasil pengukuran lengkap, yaitu kipas angin, kulkas, dan setrika.

Tabel 1. Karakteristik Beban Listrik dan Parameter Pengujian.

No.	Beban	Perkiraan daya	Lama pengujian	Parameter
1	Router Wi-Fi	$\pm 10\text{--}20\text{ W}$	30 menit	V, A, W, kWh, PF, Hz
2	Kipas angin	$\pm 45\text{--}75\text{ W}$	30 menit	V, A, W, kWh, PF, Hz
3	Kulkas	$\pm 100\text{--}200\text{ W}$	60 menit	V, A, W, kWh, PF, Hz
4	Setrika	$\pm 300\text{--}400\text{ W}$	30 menit	V, A, W, kWh, PF, Hz

Pengujian juga mempertimbangkan kondisi jam sepi (09.00–11.00) yang merepresentasikan beban rendah dan jam sibuk (18.00–21.00) yang merepresentasikan banyak peralatan aktif secara bersamaan. Data dianalisis secara deskriptif kuantitatif untuk menilai kestabilan pembacaan, perubahan parameter terhadap karakteristik beban, interval pengiriman, keberhasilan transmisi, dan konsistensi tampilan grafik ThingSpeak.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Implementasi Sistem

Sistem monitoring direalisasikan dengan mengintegrasikan PZEM-004T, CT clamp, MAX485, Wemos D1, sumber AC 220 V, dan jaringan Wi-Fi. PZEM-004T berfungsi sebagai perangkat akuisisi data, MAX485 sebagai antarmuka komunikasi RS485–TTL, Wemos D1 sebagai pengolah dan pengirim data, sedangkan ThingSpeak sebagai penyimpanan dan visualisasi data. Struktur tersebut memungkinkan data parameter listrik dipantau dari perangkat berbasis web maupun smartphone selama tersedia koneksi internet.

Pada sisi perangkat lunak, Wemos D1 menjalankan proses inisialisasi, pembacaan data Modbus RTU, validasi data, pemrosesan nilai, dan pengiriman melalui HTTP ke ThingSpeak. Setiap parameter ditempatkan pada field yang berbeda sehingga pengguna dapat melihat perubahan tegangan, arus, daya, energi, frekuensi, dan faktor daya dari waktu ke waktu. Hasil implementasi menunjukkan bahwa data dapat dikirim secara kontinu dan ditampilkan dalam bentuk grafik serta data numerik secara real-time tanpa gangguan komunikasi yang signifikan selama pengujian.

Hasil Pengujian Parameter Kelistrikan

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem membaca parameter listrik pada beberapa karakteristik beban rumah tangga. Kipas angin digunakan sebagai

representasi beban induktif ringan, kulkas sebagai beban dinamis dengan motor kompresor, dan setrika sebagai beban resistif berdaya lebih besar.

Pengujian Tegangan

Pada kipas angin, tegangan berada pada kisaran ± 213 – 218 V dan relatif stabil. Pada setrika, tegangan berada pada kisaran ± 212 – 219 V dengan fluktuasi kecil. Pada kulkas, tegangan berada pada kisaran ± 200 – 208 V dan cenderung lebih rendah terutama ketika kompresor mulai bekerja. Perbedaan pola tersebut menunjukkan bahwa sistem dapat menangkap perubahan tegangan yang berkaitan dengan karakteristik beban.

Pengujian Arus

Arus pada kipas angin relatif kecil dan stabil, sedangkan pada setrika meningkat secara signifikan ketika elemen pemanas aktif. Pada kulkas, arus berubah-ubah mengikuti siklus kerja kompresor dan dapat mengalami lonjakan ketika kompresor mulai aktif. Dengan demikian, sistem mampu merespons perubahan arus pada beban ringan, besar, dan dinamis.

Pengujian Daya

Daya pada kipas angin relatif kecil dan stabil pada sekitar 4–6 W. Setrika menghasilkan daya tertinggi, sekitar 30–400 W, sedangkan daya kulkas berubah-ubah mengikuti kerja kompresor. Pola tersebut menunjukkan bahwa pembacaan daya dapat digunakan untuk membedakan tingkat dan dinamika konsumsi beban.

Pengujian Energi

Energi listrik pada kipas angin meningkat secara perlahan karena daya yang digunakan rendah. Pada setrika, energi meningkat lebih cepat karena daya lebih besar. Pada kulkas, energi bertambah secara bertahap dan tidak sepenuhnya linier karena kompresor bekerja secara periodik. Hasil tersebut sesuai dengan hubungan antara daya, waktu operasi, dan energi.

Pengujian Frekuensi

Frekuensi pada seluruh kondisi pengujian berada pada kisaran 49,9–50 Hz. Meskipun terdapat fluktuasi kecil pada beberapa titik, nilai frekuensi tetap berada di sekitar nilai nominal 50 Hz. Hal ini menunjukkan pembacaan frekuensi relatif stabil dan konsisten selama pengujian.

Pengujian Faktor Daya

Setrika menunjukkan faktor daya 0,98–1,00 yang mendekati satu dan mencerminkan karakteristik beban resistif. Kipas angin dan kulkas menunjukkan faktor daya lebih rendah, masing-masing sekitar 0,58–0,85 dan 0,60–0,85, serta cenderung berfluktuasi karena adanya komponen motor yang bersifat induktif. Perbedaan ini menunjukkan bahwa sistem dapat mengidentifikasi karakteristik beban berdasarkan faktor daya.

Ringkasan Hasil Pengujian

Tabel 2. Hasil Pengukuran Parameter Listrik Berdasarkan Jenis Beban.

Beban	Tegangan	Arus	Daya	Energi	Frekuensi	PF
Kipas angin	213–218 V	0,03–0,05 A	4–6 W	Bertahap, lambat	49,9–50 Hz	0,58–0,85
Kulkas	200–208 V	Fluktuatif	Fluktuatif	Bertahap, tidak linier	49,9–50 Hz	0,60–0,85
Setrika	212–219 V	0,2–1,5 A	30–400 W	Bertahap, cepat	49,9–50 Hz	0,98–1,00

Secara komparatif, kipas angin memiliki konsumsi daya rendah dan relatif stabil, kulkas menunjukkan perilaku dinamis akibat siklus kompresor, sedangkan setrika memiliki konsumsi daya paling tinggi dan faktor daya mendekati satu. Pola tersebut konsisten dengan karakteristik beban yang diuji.

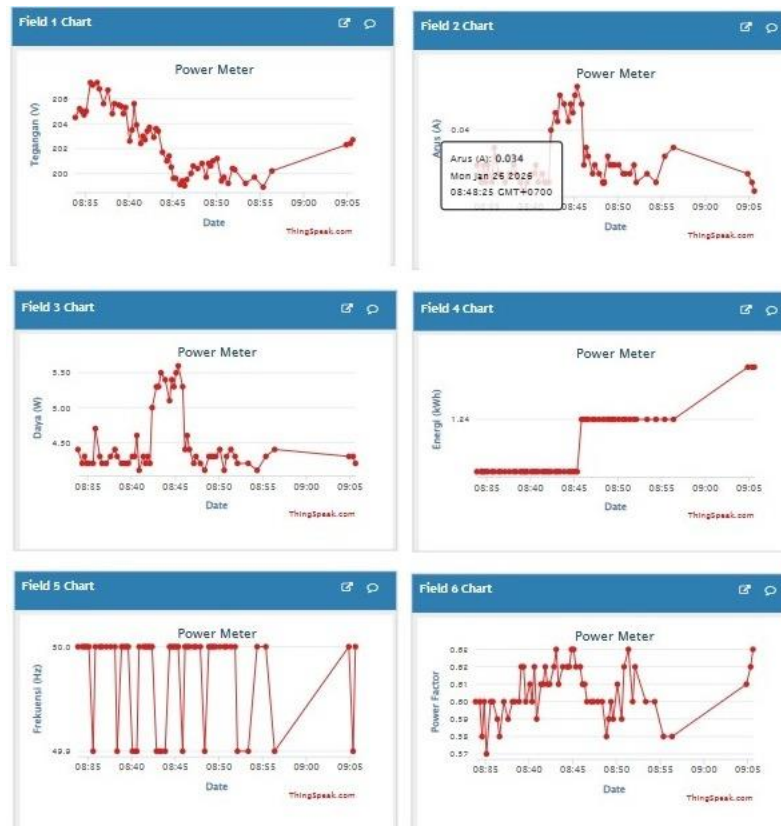
Visualisasi Hasil Pengukuran pada ThingSpeak

Data hasil pengukuran keenam parameter kelistrikan divisualisasikan pada channel ThingSpeak dalam bentuk grafik deret waktu. Setiap field menampilkan tegangan, arus, daya aktif, energi, frekuensi, dan faktor daya sehingga perubahan kondisi beban dapat diamati secara bersamaan. Screenshot hasil pengujian juga memperlihatkan bahwa data tersimpan sebagai histori pengukuran dan dapat digunakan untuk menelusuri perubahan parameter pada saat beban mulai aktif, berada pada kondisi operasi, maupun mengalami perubahan siklus kerja.



Gambar 2. Visualisasi parameter listrik beban kipas angin pada ThingSpeak.

Pada pengujian kipas angin, grafik ThingSpeak memperlihatkan perubahan parameter selama periode pengamatan. Tegangan tetap berada pada rentang kerja sumber AC, sedangkan perubahan arus dan daya tampak ketika kondisi beban berubah. Grafik energi menunjukkan nilai kumulatif yang meningkat terhadap waktu, sementara frekuensi berada di sekitar 50 Hz dan faktor daya memperlihatkan karakteristik beban bermotor.



Gambar 3. Visualisasi parameter listrik beban kulkas pada *ThingSpeak*.

Pada pengujian kulkas, grafik menunjukkan pola yang lebih dinamis. Arus, daya, dan faktor daya berubah mengikuti kondisi operasi beban, sedangkan tegangan juga mengalami variasi selama periode pengukuran. Pola ini mendukung pembahasan bahwa beban dengan kompresor tidak selalu bekerja pada kondisi konstan. Energi tetap bertambah secara kumulatif sesuai durasi dan kondisi operasi.



Gambar 4. Visualisasi parameter listrik beban setrika pada *ThingSpeak*.

Pada pengujian setrika, perubahan arus dan daya terlihat jelas ketika elemen pemanas aktif. Faktor daya pada sebagian besar periode operasi berada mendekati satu, sesuai karakteristik beban resistif. Grafik energi meningkat lebih cepat ketika daya tinggi digunakan, sedangkan frekuensi tetap berada di sekitar nilai nominal sistem AC.

Secara keseluruhan, visualisasi pada ThingSpeak memperkuat hasil pengujian bahwa sistem mampu mengirim dan menampilkan enam parameter kelistrikan secara kontinu. Perbedaan bentuk grafik antar beban juga menunjukkan bahwa dashboard dapat digunakan tidak hanya untuk melihat nilai sesaat, tetapi juga untuk mengamati pola operasi dan perubahan karakteristik beban dari waktu ke waktu.

Analisis Kinerja Sistem

Konsistensi Pembacaan dan Respons terhadap Beban

Evaluasi kinerja dilakukan berdasarkan konsistensi pola pembacaan terhadap karakteristik masing-masing beban. Beban resistif seperti setrika menghasilkan daya dan faktor daya tinggi serta relatif stabil karena energi listrik terutama dikonversi menjadi panas. Beban induktif seperti kipas angin dan kulkas menghasilkan faktor daya lebih rendah dan cenderung berfluktuasi. Pada kulkas, perubahan arus dan daya lebih dinamis karena kompresor secara

periodik berada pada kondisi aktif dan nonaktif. Ketika kompresor mulai bekerja, arus awal meningkat dan dapat menyebabkan penurunan tegangan sesaat.

Frekuensi tetap pada kisaran 49,9–50 Hz, sedangkan tegangan menunjukkan sedikit penurunan ketika beban besar atau dinamis digunakan. Kesesuaian pola pembacaan dengan karakteristik beban menunjukkan bahwa PZEM-004T bekerja secara konsisten untuk tujuan monitoring fungsional dan real-time.

Perbandingan Jam Senggang dan Jam Sibuk

Jam senggang merepresentasikan kondisi beban rendah, sedangkan jam sibuk merepresentasikan kondisi banyak peralatan listrik aktif secara bersamaan. Pada jam sibuk, peningkatan arus dan daya terlihat lebih signifikan dibandingkan kondisi jam senggang, disertai sedikit penurunan tegangan. Pada jam senggang, tegangan cenderung lebih stabil, arus total relatif kecil, serta laju kenaikan daya dan energi lebih rendah. Respons tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu mengikuti perubahan beban total pada jaringan rumah tangga.

Selama pengujian, seluruh parameter dapat ditampilkan melalui ThingSpeak secara real-time dan sistem tetap bekerja secara kontinu pada sumber 220 V AC. Pengguna dapat memantau data dari jarak jauh melalui perangkat berbasis web atau smartphone selama terhubung ke internet.

Pembahasan

Hasil implementasi dan pengujian menunjukkan bahwa integrasi PZEM-004T, MAX485, Wemos D1, dan ThingSpeak telah berjalan sesuai rancangan. Sistem mampu membaca enam parameter kelistrikan dan mengirimkannya ke platform cloud. Keunggulan utama sistem adalah kemampuan monitoring jarak jauh, penyimpanan data historis pada cloud, visualisasi grafik, dan kemudahan pengembangan karena Wemos D1 telah memiliki konektivitas Wi-Fi.

Dari sisi karakteristik beban, sistem berhasil memperlihatkan perbedaan antara beban resistif dan induktif. Setrika menghasilkan daya hingga sekitar 400 W dengan faktor daya 0,98–1,00. Kipas angin menghasilkan daya 4–6 W dengan faktor daya 0,58–0,85, sedangkan kulkas memiliki perilaku dinamis dengan tegangan 200–208 V dan faktor daya 0,60–0,85. Kenaikan energi juga mengikuti besar daya dan lama operasi: lambat pada kipas, lebih cepat pada setrika, dan tidak linier pada kulkas.

Implementasi IoT juga memenuhi tujuan penelitian karena data hasil pembacaan dapat dikirimkan secara otomatis dan ditampilkan pada ThingSpeak dalam bentuk grafik maupun numerik. Namun, penelitian belum melakukan kalibrasi dan perbandingan kuantitatif dengan

alat ukur standar laboratorium. Oleh karena itu, istilah 'akurat' dalam penelitian ini perlu dipahami sebagai konsisten dan sesuai pola karakteristik beban, bukan sebagai nilai akurasi metrologi absolut. Selain itu, pengiriman data bergantung pada kestabilan koneksi internet.

Secara keseluruhan, sistem layak digunakan sebagai prototipe monitoring parameter listrik rumah tangga berbasis IoT dan berpotensi diterapkan pada ruang kelas, laboratorium, perkantoran, maupun industri skala kecil, dengan pengembangan lebih lanjut pada aspek kalibrasi, kontrol, notifikasi, dan pencatatan lokal.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Sistem monitoring parameter listrik AC satu fasa berhasil dirancang dan diimplementasikan menggunakan sensor PZEM-004T dan mikrokontroler Wemos D1 yang terintegrasi dengan ThingSpeak. Sistem mampu membaca tegangan, arus, daya aktif, energi listrik (kWh), frekuensi, dan faktor daya serta mengirimkan data secara real-time melalui Wi-Fi.

Hasil pengujian menunjukkan tegangan sekitar 200–219 V dan frekuensi 49,9–50 Hz. Kipas angin menghasilkan daya 4–6 W dengan faktor daya 0,58–0,85, kulkas menunjukkan arus dan daya fluktuatif akibat siklus kompresor dengan faktor daya 0,60–0,85, sedangkan setrika menghasilkan daya hingga sekitar 400 W dengan faktor daya 0,98–1,00. Sistem dapat membedakan karakteristik beban resistif dan induktif berdasarkan pola daya, energi, arus, dan faktor daya.

Pengiriman data ke ThingSpeak berhasil dilakukan secara kontinu dan data dapat dipantau melalui perangkat yang terhubung internet. Evaluasi kinerja menunjukkan sistem stabil dan responsif untuk monitoring fungsional rumah tangga. Namun, tingkat akurasi absolut belum dapat ditetapkan karena kalibrasi dan perbandingan dengan alat ukur standar laboratorium belum dilakukan.

Saran

Penelitian selanjutnya dapat melakukan kalibrasi dan perbandingan pembacaan PZEM-004T dengan alat ukur standar untuk memperoleh nilai error dan tingkat akurasi secara kuantitatif. Sistem dapat dikembangkan dengan fitur kontrol otomatis, notifikasi melalui aplikasi atau pesan instan, dukungan jaringan listrik tiga fasa, dashboard mandiri, serta penyimpanan lokal menggunakan microSD agar data tetap tersedia ketika koneksi internet terganggu. Pengembangan lain yang relevan adalah penambahan analisis konsumsi energi dan estimasi biaya listrik otomatis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Dian Nusantara serta dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan dukungan selama pelaksanaan penelitian.

DAFTAR REFERENSI

- Adi, B., & Hariyanto, A. (2022). Monitoring online arus bocor kabel power trafo tenaga berbasis mikrokontroler Wemos-D1 dengan database via ThingSpeak. *Jurnal Teknik Elektro*, 14(2), 101–108.
- Al-Ali, A., Zualkernan, I., & Aloul, F. (2010). A mobile GPRS-sensors array for air pollution monitoring. *IEEE Sensors Journal*, 10(10), 1666–1671.
- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787–2805.
- Dugan, R. C., et al. (2012). *Electrical power systems quality* (3rd ed.). McGraw-Hill.
- Espressif Systems. (2020). ESP8266EX Datasheet.
- Fang, X., Misra, S., Xue, G., & Yang, D. (2012). Smart Grid—The new and improved power grid: A survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 14(4), 944–980.
- Farhan, F. M., Rosdiana, E., Fathonah, I. W., & Salam, R. A. (2022). Sistem pemantauan dan pengendalian daya listrik secara real time berbasis mikrokontroler. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 10(2), 87–95.
- Hudan, S. (2023). Rancang bangun sistem monitoring daya listrik pada kamar kos berbasis Internet of Things (IoT). *Jurnal Teknologi Elektro*, 11(1), 34–41.
- IEEE Standards Association. (2010). IEEE Std 1459-2010: IEEE standard definitions for the measurement of electric power quantities.
- IEEE Standards Association. (2019). IEEE Std 1159-2019: IEEE recommended practice for monitoring electric power quality.
- Irawan, M. R. A. S., et al. (2020). Design of IoT-based electrical energy monitoring system using PZEM-004T sensor. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 10(5), 5123–5131.
- MathWorks. (2022). ThingSpeak IoT Analytics Platform Documentation.
- Modbus Organization. (2012). Modbus Application Protocol Specification V1.1b3.
- Muzakir, A. (2022). Sistem monitoring daya listrik berbasis IoT. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 6(3), 75–82.
- Rizki, M. (2020). Monitoring daya listrik berbasis Internet of Things (IoT). *Jurnal Teknologi Informasi dan Elektro*, 5(2), 60–67.
- Pipattanasomporn, M., Kuzlu, M., & Rahman, S. (2012). An algorithm for intelligent home energy management and demand response analysis. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 3(4), 2166–2173.
- Putra, I. W. P. A., Piarsa, I. N., & Wibawa, K. S. (2022). Rancang bangun wireless relay dengan monitoring daya listrik berbasis Internet of Things. *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*, 11(4), 233–241.

- Putra, S. E., Nisworo, S., & Setyowati, I. (2021). Perancangan sistem monitoring tegangan, arus, daya, faktor daya, dan frekuensi pada listrik AC satu phasa berbasis IoT. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 9(2), 120–128.
- Saadat, H. (2010). *Power system analysis*. McGraw-Hill.
- Sendra, S., Lloret, J., Garcia, M., & Toledo, J. F. (2011). Power saving and energy optimization techniques for wireless sensor networks. *Journal of Communications*.