

Implementasi Smart Energy Meter Untuk Monitoring Konsumsi Listrik Rumah Tangga

Ahmad Muhammad Taqiy Almy*)¹, Yehezkiel Nesta Andyanto², Abdurrakhman Hamid Al-azhari³, Djuniadi⁴

¹²³⁴Program Studi Teknik Komputer/ Jurusan Teknik Elektro/ Universitas Negeri Semarang

*)Corresponding author, email: amta02@students.unnes.ac.id

Abstrak	INFO.
<p>Pemantauan konsumsi energi listrik secara real-time menjadi kebutuhan penting dalam mewujudkan efisiensi energi di sektor rumah tangga. Masalah yang sering terjadi adalah ketidaktahuan pengguna terhadap pola konsumsi listrik harian yang menyebabkan pemborosan energi dan meningkatnya biaya listrik. Tujuan studi ini mengimplementasikan sistem Smart Energy Meter berbasis mikrokontroler yang mampu memantau konsumsi listrik rumah tangga secara otomatis dan akurat. Sistem dirancang menggunakan sensor arus (CT sensor) dan tegangan, yang datanya diproses oleh mikrokontroler dan ditampilkan melalui antarmuka berbasis web. Pengujian dilakukan terhadap beban listrik variatif untuk memverifikasi akurasi pengukuran energi. Hasil menunjukkan bahwa sistem mampu membaca arus dan tegangan secara real-time, menghitung daya, serta merekam total konsumsi energi dengan deviasi kurang dari 5% dibandingkan alat ukur standar. Kesimpulannya, implementasi Smart Energy Meter ini dapat memberikan solusi efektif untuk memantau dan mengontrol konsumsi listrik rumah tangga, serta berpotensi dikembangkan lebih lanjut untuk integrasi dengan sistem energi berbasis Internet of Things (IoT).</p>	<p>Info. Artikel: No. 018 Received July 26, 2025 Revised August, 23, 2025 Accepted August, 26, 2025 Page. 19 – 27</p> <p>Kata kunci:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Smart energy meter ✓ Pemantauan energi listrik ✓ Mikrokontroler ESP32 ✓ Internet of Things (IoT) ✓ Efisiensi energi rumah tangga

Abstract
<p><i>Monitoring electrical energy consumption in real-time plays a vital role in enhancing energy efficiency within the household sector. A common problem is the user's lack of awareness about daily electricity consumption patterns, which can lead to energy waste and increased electricity costs. The objective of this study is to implement a microcontroller-based Smart Energy Meter system capable of automatically and accurately monitoring household electricity consumption. The system is designed using current (CT sensor) and voltage sensors, whose data is processed by a microcontroller and displayed through a web-based interface. Tests were conducted on varied electrical loads to verify the accuracy of energy measurements. Results show that the system can read current and voltage in real-time, calculate power, and record total energy consumption with a deviation of less than 5% compared to standard measuring instruments. In conclusion, implementing this Smart Energy Meter can provide an effective solution for monitoring and controlling household electricity consumption. It has the potential to be further developed for integration with Internet of Things (IoT) based energy systems.</i></p>

PENDAHULUAN

Penggunaan energi listrik di sektor rumah tangga terus meningkat seiring dengan semakin banyaknya perangkat elektronik yang digunakan dalam aktivitas sehari-hari [1][2]. Sayangnya, sebagian besar pengguna tidak memiliki informasi yang cukup mengenai pola konsumsi energi mereka, sehingga menyebabkan pemborosan energi dan meningkatnya biaya tagihan listrik [3]. Di era digital saat ini, kebutuhan akan sistem monitoring energi yang cerdas dan terjangkau menjadi semakin mendesak untuk mendorong efisiensi penggunaan energi di tingkat individu maupun komunitas [4].

Berbagai penelitian telah mengusulkan penerapan *Smart Energy Meter* berbasis mikrokontroler sebagai solusi untuk pemantauan energi secara *real-time* [5][6]. Sistem ini mampu mengukur parameter listrik seperti arus, tegangan, daya, dan energi dengan tingkat akurasi yang tinggi, serta dapat menampilkan data melalui antarmuka pengguna seperti aplikasi web atau perangkat seluler [7]. Meski demikian, beberapa sistem yang ada memiliki keterbatasan dalam hal keterjangkauan biaya, kompleksitas instalasi, atau kurangnya integrasi dengan teknologi IoT, yang membatasi implementasinya di rumah tangga biasa [8][9].

Penelitian ini bertujuan untuk membuat dan menerapkan sistem Smart Energy Meter yang ekonomis, praktis, serta mampu memberikan pemantauan konsumsi listrik rumah secara langsung dengan tingkat akurasi yang baik. Sistem ini menggunakan sensor arus jenis Current Transformer (CT) dan sensor tegangan, yang datanya diproses oleh mikrokontroler dan ditampilkan melalui antarmuka berbasis web. Inovasi utama dari penelitian ini terletak pada rancangan sistem pemantauan yang dapat diterapkan secara luas di lingkungan rumah tangga, dengan karakteristik instalasi yang mudah, biaya yang efisien, akurasi tinggi, serta potensi pengembangan untuk integrasi dengan ekosistem Internet of Things (IoT) di masa mendatang [10]. Selain itu, sistem pemantauan energi rumah tangga berpotensi besar diwujudkan dengan dukungan smart grid dan integrasi Internet of Things (IoT) [11], [12], [13].

METODE PENELITIAN

Merancang dan membangun sistem Smart Energy Meter berbasis mikrokontroler yang mampu memantau konsumsi energi listrik rumah tangga secara waktu nyata dengan akurasi tinggi. Metodologi penelitian mencakup perancangan sistem, pengembangan perangkat keras dan lunak, serta proses pengujian dan analisis data.

Desain Penelitian

Menggunakan desain eksperimental kuantitatif dengan pendekatan studi laboratorium guna mengembangkan dan menguji sistem Smart Energy Meter berbasis mikrokontroler ESP32. Sistem ini dikembangkan dengan mengintegrasikan sensor arus ACS712 dan sensor tegangan ZMPT101B, yang didukung oleh perangkat lunak untuk pemrosesan data serta antarmuka web yang menampilkan hasil pemantauan secara real-time.

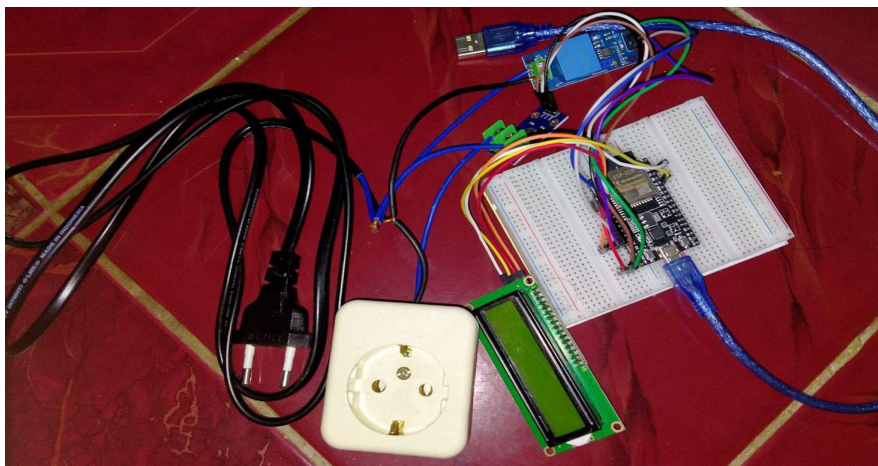
Eksperimen dilakukan melalui tahapan desain sistem, instalasi perangkat keras dan lunak, serta pengujian ketepatan pengukuran terhadap beragam beban listrik di lingkungan rumah tangga. Validasi sistem dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran dari sistem dengan data yang diperoleh menggunakan multimeter digital sebagai alat ukur standar, dan tingkat akurasi dievaluasi menggunakan metode deviasi persentase.

Desain ini ditujukan untuk menghasilkan sistem monitoring energi listrik rumah tangga yang bersifat low-cost, akurat, mudah diimplementasikan, serta mendukung perluasan menuju integrasi sistem berbasis Internet of Things (IoT).

Prosedur Penelitian

Alat dan Bahan:

1. PC.
2. Software Arduino IDE.
3. Library ESP32 Dev Board pada Software Arduino IDE.
4. ACS712.
5. ZMPT101B (sensor tegangan AC).
6. Breadboard.
7. kabel jumper.
8. OLED display (opsional).
9. Stop kontak.
10. Lampu LED.

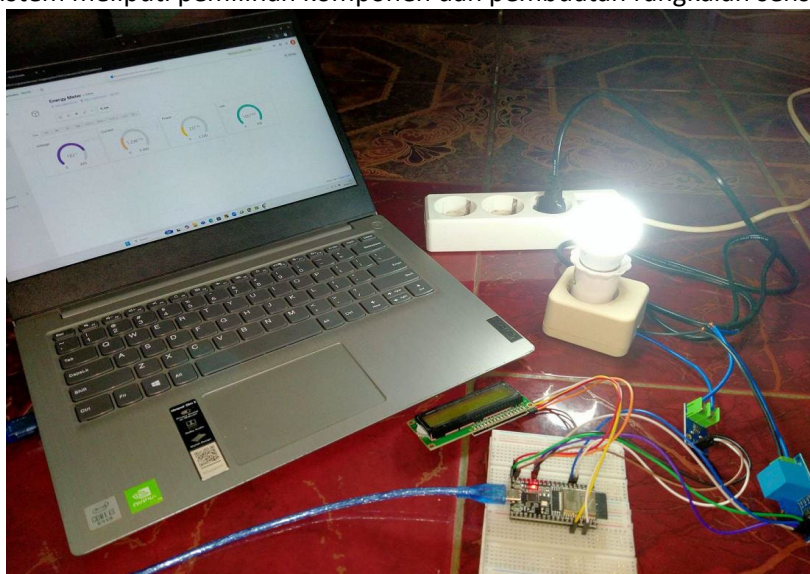


Gambar 1. Alat dan Bahan Rangkaian Sensor

Gambar 1 memperlihatkan alat dan bahan utama yang digunakan dalam penyusunan sistem Smart Energy Meter, seperti mikrokontroler ESP32, sensor pengukur arus ACS712, dan sensor pendeteksi tegangan ZMPT101B, breadboard, kabel jumper, serta perangkat listrik seperti lampu LED dan stop kontak sebagai beban uji. Gambar ini memberikan visualisasi awal atas komponen-komponen fisik yang akan dirakit dan berperan penting dalam akuisisi data energi listrik rumah tangga.

Proses penelitian ini dilakukan melalui tahapan-tahapan sebagai berikut:

1. Perancangan sistem meliputi pemilihan komponen dan pembuatan rangkaian sensor.

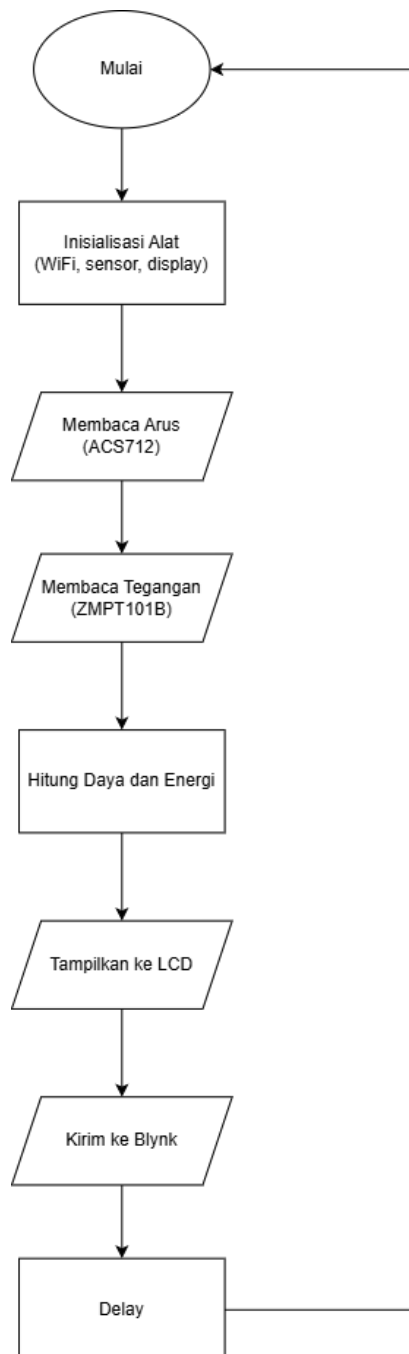


Gambar 2. Rangkaian Sensor

Gambar 2 memperlihatkan rangkaian sensor yang menjadi komponen utama dalam sistem pengukuran energi listrik. Dalam gambar tersebut ditunjukkan bagaimana sensor arus ACS712 dan sensor tegangan ZMPT101B terhubung ke mikrokontroler ESP32. Rangkaian ini berfungsi untuk mengukur parameter listrik utama, yaitu arus dan tegangan dari beban rumah tangga. Sensor arus ACS712 akan membaca aliran arus dalam satuan ampere, sementara sensor ZMPT101B mengukur tegangan AC secara akurat. Keduanya terhubung melalui breadboard dengan bantuan kabel jumper, dan hasil bacaannya akan dikirimkan ke mikrokontroler untuk diproses. Gambar ini penting karena menunjukkan tata letak dan koneksi fisik antar komponen, yang menjadi dasar dalam proses akuisisi data listrik secara real-time. Desain rangkaian ini juga mencerminkan prinsip kerja sistem monitoring energi yang bersifat sederhana, efisien, dan mudah untuk direalisasikan di lingkungan rumah tangga.

2. Pemrograman mikrokontroler untuk membaca data arus dan tegangan, menghitung daya dan energi.
3. Pengembangan antar muka web untuk menampilkan data pemantauan secara real-time.
4. Pengujian sistem pada berbagai jenis beban listrik untuk mengukur akurasi dibandingkan alat ukur standar.
5. Analisis data hasil pengujian menggunakan deviasi persentase.

Alur Program



Gambar 3. Flowchart Program

Gambar 3 menggambarkan flowchart atau diagram alur program yang dijalankan oleh mikrokontroler dalam sistem Smart Energy Meter. Diagram ini menjelaskan secara berurutan langkah-langkah utama dalam proses pemantauan energi: dimulai dari inisialisasi sensor dan koneksi WiFi, pembacaan tegangan dan arus, perhitungan daya ($P = V \times I$), serta akumulasi energi berdasarkan waktu ($E = \sum P \times \Delta t$). Setelah itu, data dikirimkan dan ditampilkan ke antarmuka web secara real-time, serta disimpan sementara untuk pengolahan lebih lanjut. Flowchart ini membantu memvisualisasikan struktur logika program, sehingga memudahkan pemahaman alur sistem monitoring energi dari awal hingga akhir.

Pseudocode Sistem

```

Start
Inisialisasi sensor dan koneksi WiFi
Loop:
    Baca tegangan (V)
    Baca arus (I)
    Hitung daya ( $P = V * I$ )
    Hitung energi ( $E = \sum P \times \Delta t$ )
    Kirim dan tampilkan data ke antarmuka web
    Simpan data sementara
End Loop
    
```

Pseudocode 1. Inisialisasi Sensor dan Koneksi WiFi

Pada pseudocode 1, sistem menggambarkan alur logika dasar dari program yang dijalankan oleh mikrokontroler dalam sistem Smart Energy Meter. Program dimulai dengan proses inisialisasi, di mana sensor arus dan tegangan serta koneksi WiFi dikonfigurasi agar siap digunakan. Selanjutnya, dalam loop utama, sistem secara terus-menerus membaca nilai tegangan (V) dan arus (I) dari sensor yang terhubung. Berdasarkan dua parameter ini, sistem menghitung daya listrik menggunakan rumus $P = V \times I$. Untuk menghitung energi listrik (E), program menjumlahkan nilai daya yang dikalikan dengan selang waktu tertentu (Δt), sehingga menghasilkan akumulasi konsumsi energi dari waktu ke waktu. Setelah proses perhitungan, data dikirim dan ditampilkan ke antarmuka web, yang memungkinkan pengguna memantau konsumsi listrik secara real-time. Selain itu, data juga dapat disimpan sementara untuk keperluan pengolahan lebih lanjut. Pseudocode ini memberikan gambaran ringkas namun jelas mengenai bagaimana perangkat lunak pada mikrokontroler mengelola data dan mengendalikan sistem monitoring energi secara efisien.

Akuisisi Data dan Pengujian

Pengujian dilakukan pada beragam perangkat listrik rumah tangga, seperti lampu, kipas angin, dan charger. Data diambil dengan mencatat nilai arus, tegangan, dan daya menggunakan sistem yang telah dirancang, lalu hasil pengukuran tersebut dibandingkan dengan data dari multimeter digital sebagai alat ukur pembandingan.

Hasil pengukuran dari kedua alat dianalisis untuk menentukan akurasi sistem menggunakan persamaan deviasi:

$$Deviasi (\%) = \left| \frac{Hasil\ sistem - Hasil\ standar}{Hasil\ standar} \right| \times 100\%$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian sistem dilakukan pada beberapa jenis beban listrik dengan hasil sebagai berikut:

Tabel 1. Perbandingan Hasil Pengukuran Sistem dan Alat Standar

No	Jenis Beban	Arus Sistem (A)	Arus Standar (A)	Deviasi Arus (%)	Daya Sistem (W)	Daya Standar (W)	Deviasi Daya (%)
1	Lampu 20W	0.09	0.088	2.27	19.8	20.0	1.00
2	Kipas 40W	0.17	0.165	3.03	38.2	40.0	4.50
3	Charger HP	0.11	0.108	1.85	22.0	22.5	2.22

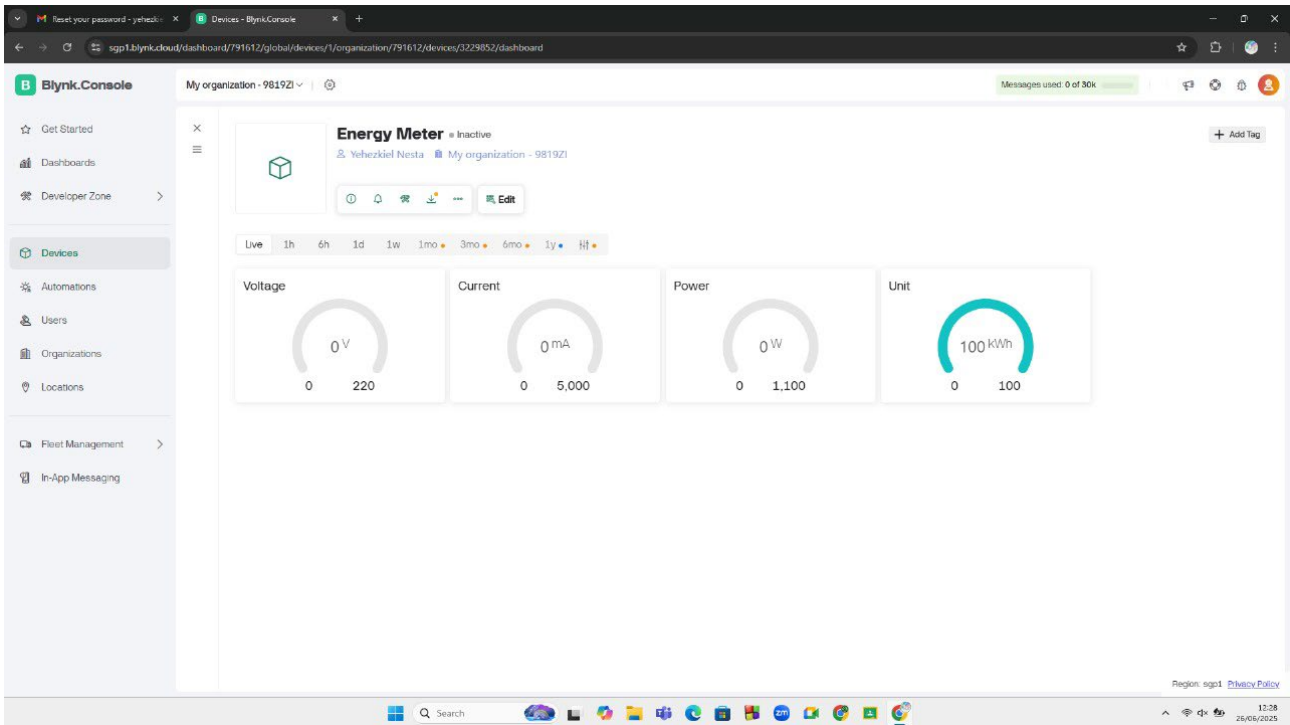
Tabel 1 berisi hasil pengujian sistem terhadap tiga jenis beban listrik, yaitu lampu 20W, kipas 40W, dan charger HP. Perbandingan dilakukan antara hasil pengukuran sistem dengan alat ukur standar (multimeter), yang menunjukkan deviasi di bawah 5% baik untuk parameter arus maupun daya. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem memiliki akurasi yang baik dan layak digunakan dalam skala rumah tangga untuk keperluan pemantauan konsumsi energi.

Analisis Akurasi Sistem

Data menunjukkan bahwa sistem mampu membaca parameter listrik dengan deviasi kurang dari 5%. Hal ini menunjukkan bahwa sistem cukup akurat untuk digunakan di lingkungan rumah tangga. Akurasi pengukuran tersebut berhasil mengimplementasikan sistem energy meter berbasis Arduino dengan tingkat kesalahan rendah dalam pengukuran daya listrik. Penggunaan mikrokontroler dalam sistem pemantauan energi berbasis IoT mampu memberikan akurasi pengukuran yang mendekati alat ukur standar, selama proses kalibrasi sensor dilakukan dengan tepat. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini berada dalam kisaran akurasi yang dapat diterima dan sesuai dengan tren implementasi teknologi serupa dalam bidang smart energy metering.

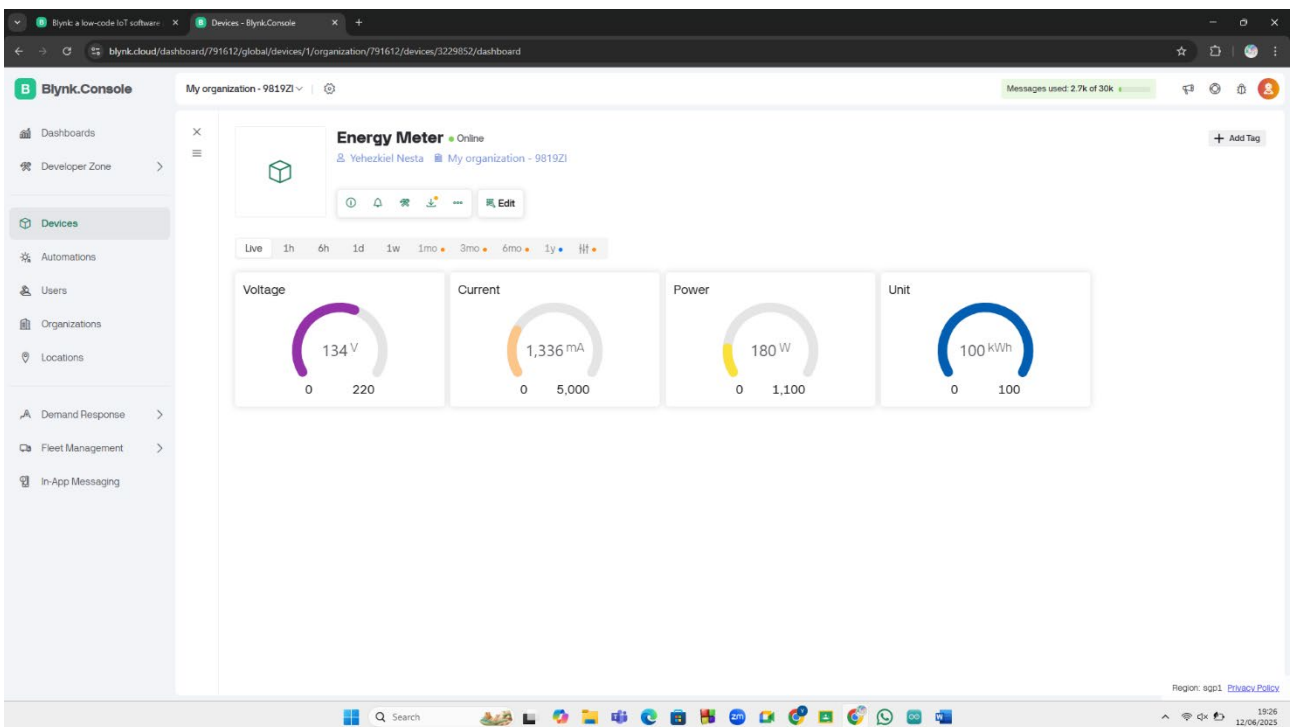
Tampilan Monitoring Real-Time

Sistem berhasil menampilkan data arus, tegangan, daya, dan total energi dalam antarmuka web. Monitoring secara langsung ini memberikan manfaat besar bagi pengguna dalam mengontrol penggunaan listrik harian.



Gambar 4. Antarmuka Web Monitoring Konsumsi Energi (Sebelum Rangkaian Sensor Diaktifkan)

Gambar 4 menunjukkan tampilan antarmuka web monitoring konsumsi energi **sebelum** rangkaian sensor diaktifkan. Pada tahap ini, halaman antarmuka belum menampilkan data karena sensor belum mulai membaca input dari beban listrik. Tampilan ini menggambarkan kondisi awal sistem sebelum proses akuisisi data dimulai.



Gambar 5. Antarmuka Web Monitoring Konsumsi Energi (Sesudah Rangkaian Sensor Diaktifkan)

Gambar 5 memperlihatkan antarmuka web **setelah** rangkaian sensor diaktifkan. Dalam kondisi ini, sistem berhasil menampilkan parameter seperti arus, tegangan, daya, dan total energi yang digunakan secara real-

time. Tampilan ini membuktikan bahwa integrasi antara perangkat keras dan antarmuka pengguna berjalan dengan baik, sehingga pengguna dapat memantau konsumsi listrik secara langsung dan efisien.

Diskusi Sistem dan Keterbatasannya

Keunggulan sistem:

1. Live monitoring
2. Deviasi pengukuran kecil (<5%)
3. Biaya implementasi rendah

Meski sangat potensial, adopsi smart energy meter juga menghadapi berbagai tantangan dalam aspek teknis, infrastruktur, dan sosialisasi pengguna [14], [15].

Keterbatasan:

1. Tidak ada penyimpanan data jangka panjang
2. Kalibrasi sensor masih manual
3. Tidak ada notifikasi jika konsumsi melebihi ambang batas

KESIMPULAN

Sistem Smart Energy Meter yang dirancang dalam penelitian ini berhasil diimplementasikan menggunakan mikrokontroler dan mampu memantau penggunaan listrik rumah tangga secara langsung. Berdasarkan pengujian, sistem memberikan hasil pengukuran yang cukup akurat dengan tingkat deviasi kurang dari 5% dibandingkan alat ukur konvensional. Antarmuka web yang dirancang memungkinkan pengguna untuk melakukan pemantauan konsumsi listrik secara real-time, sehingga berpotensi mendorong perilaku hemat energi. Sistem ini juga memiliki peluang besar untuk dikembangkan lebih lanjut, termasuk integrasi dengan teknologi Internet of Things (IoT) serta penggunaan penyimpanan berbasis cloud guna keperluan analisis data historis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Salomonsson, L. Söder, and A. Sannino, "Protection of Low-Voltage DC Microgrids," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 24, no. 3, pp. 1045–1053, Jul. 2009, doi: 10.1109/TPWRD.2009.2016622.
- [2] S. Chakraborty and M. G. Simoes, "Experimental Evaluation of Active Filtering in a Single-Phase High-Frequency AC Microgrid," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 24, no. 3, pp. 673–682, Sep. 2009, doi: 10.1109/TEC.2009.2015998.
- [3] A. S. Reddy and N. Kumar, "IoT based smart energy meter for efficient energy utilization in smart grids," *2016 IEEE Region 10 Conference (TENCON)*, pp. 1–6, 2016, doi: 10.1109/TENCON.2016.7848602.
- [4] A. A. Abdalla, Y. Zhang, and C. Zhang, "Design and Implementation of Smart Energy Meter with Arduino for Power Consumption Monitoring," *2017 IEEE 2nd International Conference on Power and Renewable Energy (ICPRE)*, pp. 437–441, 2017, doi: 10.1109/ICPRE.2017.8390676.
- [5] M. A. Hannan et al., "A Review of Internet of Energy Based Building Energy Management Systems: Issues and Recommendations," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 38997–39014, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2852811.

- [6] G. Kaur and S. Arora, "Smart Energy Metering and Internet of Things Based Home Automation," *2019 International Conference on Automation, Computational and Technology Management (ICACTM)*, pp. 35–38, 2019, doi: 10.1109/ICACTM.2019.8776710.
- [7] A. Kumar and S. K. Sahoo, "IoT based Smart Energy Meter with Theft Detection using Raspberry Pi," *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 8, no. 6, pp. 424–428, 2019.
- [8] R. Kavitha and B. Babu, "Design and Implementation of Smart Energy Meter with Advanced Billing System," *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, vol. 44, no. 5, pp. 251–256, 2017.
- [9] R. Kaur and S. Singh, "IoT based Smart Energy Meter with Theft Detection," *International Journal of Computer Applications*, vol. 179, no. 18, pp. 26–29, 2018.
- [10] P. S. Shinde and D. S. Mohite, "Smart Energy Meter using Internet of Things (IoT)," *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, vol. 3, no. 5, pp. 1200–1202, May 2016.
- [11] M. S. Hossain, N. A. Madloul, N. A. Rahim, J. Selvaraj, and A. K. Pandey, "Role of smart grid in renewable energy: An overview," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 60, pp. 1168–1184, Dec. 2016.
- [12] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, "Internet of Things (IoT): A Vision, Architectural Elements, and Future Directions," *Future Generation Computer Systems*, vol. 29, no. 7, pp. 1645–1660, Sep. 2013.
- [13] M. S. Hossain, N. A. Madloul, N. A. Rahim, J. Selvaraj, A. K. Pandey, and A. F. Khan, "Role of smart grid in renewable energy: An overview," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 60, p. 1182, 2016.
- [14] S. S. S. R. Depuru, L. Wang, and V. Devabhaktuni, "Smart meters for power grid: Challenges, issues, advantages and status," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, pp. 2736–2742, 2011.
- [15] I. Diahovchenko, M. Kolcun, Z. Čonka, V. Savkiv, and R. Mykhailyshyn, "Progress and challenges in smart grids: Distributed generation, smart metering, energy storage and smart loads," *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Electrical Engineering*, vol. 44, pp. 1319–1333, Feb. 2020.