

## SISTEM MONITORING KONSUMSI ENERGI LISTRIK BANGUNAN BERTINGKAT TIGA FASA BERBASIS *INTERNET OF THINGS*

Muhamad Johan<sup>1</sup>, Junaidi Akbar<sup>2\*</sup>

<sup>1,2</sup> Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Buddhi Dharma

\*Corresponding Author, email: [junaedi.akbar@ubd.ac.id](mailto:junaedi.akbar@ubd.ac.id)

### ABSTRAK

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) memungkinkan pengembangan sistem *monitoring* energi listrik yang efektif dan *real-time*. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring energi listrik tiga fasa berbasis IoT menggunakan sensor PZEM-004T, *microcontroller* ESP32, dan *platform* web aplikasi untuk memvisualisasikan parameter listrik secara *komprensif*. Metode penelitian meliputi perancangan perangkat keras dengan sensor PZEM-004T untuk setiap fasa, pemrograman ESP32 melalui Arduino IDE, dan pengujian sistem di salah satu ruangan Hemodialisa Gedung Rumah Sakit Karang Tengah Medika. Hasil pengujian menunjukkan sistem berhasil melakukan *monitoring* secara *real-time* dengan tingkat akurasi 99,55% dan margin *error* 0,45%. Sistem mampu mendeteksi ketidakseimbangan beban mencapai 79,31% pada kondisi Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) dan 28,39% pada Waktu Beban Puncak (WBP), serta faktor daya berkisar 0,97-0,99. Implementasi ini memberikan kemudahan dalam pengawasan konsumsi energi melalui *dashboard* yang dapat diakses secara *remote*, memungkinkan deteksi dini terhadap anomali kelistrikan, dan menyediakan data secara akurat sebagai analisis pola konsumsi. Dengan demikian sistem *monitoring* ini terbukti efektif untuk pemantauan parameter kelistrikan secara akurat dan dapat menjadi dasar pengelolaan energi yang lebih efisien sebagai sarana penting dalam memenuhi kebutuhan konsumsi tenaga listrik fasilitas kesehatan sesuai dengan Peraturan Menteri Kesehatan (Permenkes) Nomor 2306/Menkes/Per/XI/2011 tentang Persyaratan Teknis Prasarana Instalasi Listrik Rumah Sakit. Aspek utama dalam peraturan tersebut mendorong fasilitas kesehatan untuk melakukan efisiensi dalam rangka manajemen sarana dan prasarana, yang secara umum diatur dalam kebijakan efisiensi energi nasional.

**Kata kunci:** Energi, Listrik, *Internet of Things*, *Monitoring*, Tiga Fasa

### I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang pesat telah mendorong terciptanya perangkat kelistrikan yang lebih efektif dan efisien dalam mendukung aktivitas manusia. Kemampuan *monitoring* konsumsi energi secara *real-time* menjadi kebutuhan penting, terutama pada bangunan bertingkat dengan beban listrik besar dan kompleks (Fajri et al., 2021). Konsumsi energi pada gedung bertingkat merupakan aspek utama dalam manajemen energi karena penggunaan listrik yang tidak terkontrol berdampak pada meningkatnya biaya operasional (Ikhsan et al., 2025).

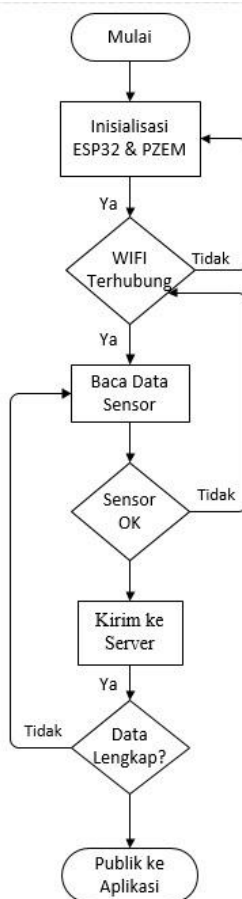
Teknologi *internet of things* (IoT) memberikan solusi andal dalam mengintegrasikan sensor, *microcontroller*, dan *platform* digital untuk menghasilkan sistem monitoring energi yang mampu menyajikan data secara cepat dan mudah diakses (Azizi & Arinal, 2023). IoT terbukti mampu memberikan pemantauan parameter listrik seperti tegangan, arus, daya aktif, daya reaktif, serta faktor daya secara *real-time* (Aditya et al., 2023). Penelitian terkait monitoring energi berbasis IoT telah banyak dilakukan (Yuniarto et al., 2023) merancang sistem *monitoring* dan kontrol energi berbasis IoT yang mampu menganalisis kondisi beban tiga fasa secara *real-time* (Zaim & Ranolat, 2025). Mengembangkan sistem *monitoring* energi listrik tiga fasa menggunakan ESP32 dan *Firebase* dengan tingkat keberhasilan pengiriman data mencapai 100% (Prasetyo et al., 2024).

Merancang sistem *monitoring* kualitas daya tiga fasa dengan akurasi *error* kurang dari 5% (Hercog et al., 2023). Perangkat IoT digunakan sebagai pendukung efisiensi energi dan berkelanjutan (Muslihi, 2025). Banyak penelitian menegaskan bahwa ketidakseimbangan beban (*unbalanced load*) merupakan salah satu penyebab utama menurunnya efisiensi sistem tenaga listrik (Zhang et al., 2022).

Rumah Sakit Karang Tengah Medika sebagai fasilitas vital yang beroperasi 24 Jam memiliki banyak peralatan listrik dengan karakteristik beban sensitif. Sistem *monitoring* konvensional yang ada hanya memberikan data periodik dan tidak *real-time*, sehingga analisis konsumsi energi sering terlambat. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem *monitoring* energi listrik tiga fasa berbasis IoT yang mampu memberikan data *real-time*, mendeteksi anomali lebih cepat, serta mendukung efisiensi penggunaan energi.

## II. METODOLOGI

Proses perancangan model ini menggunakan metode eksperimen dengan tahapan perancangan perangkat keras dan perangkat lunak. Lokasi penelitian di Gedung Laboratorium Hemodialisa Rumah Sakit Karang Tengah Medika, Tangerang, dilaksanakan pada Oktober 2024.



**Gambar 1. Flowchart Penelitian**

Sistem terdiri dari tiga sensor PZEM-004T yang dipasang pada masing-masing fasa (R, S, T) untuk mengukur parameter listrik meliputi tegangan (V), arus (A), daya aktif (W), frekuensi (Hz), dan faktor daya ( $\cos \phi$ ). Sensor PZEM-004T memiliki spesifikasi rentang pengukuran tegangan 80-260 VAC, arus 0-100 A, daya aktif 0-23 kW dengan resolusi dan akurasi 0.5%. *Microcontroller* ESP32 berfungsi sebagai pengolah data dari sensor dan pengirim data ke *server* melalui koneksi *Wi-Fi*. ESP32 dipilih karena memiliki *dual-core processor* hingga 240 MHz, memori SRAM 520 KiB, serta konektivitas *Wi-Fi* dan *Bluetooth* terintegrasi. Sistem catu daya menggunakan *power supply* AC 220V ke DC 12V yang diturunkan melalui modul LM2596 untuk menyediakan tegangan stabil bagi ESP32 dan LCD *monitor* TFT 1.8 SPI.

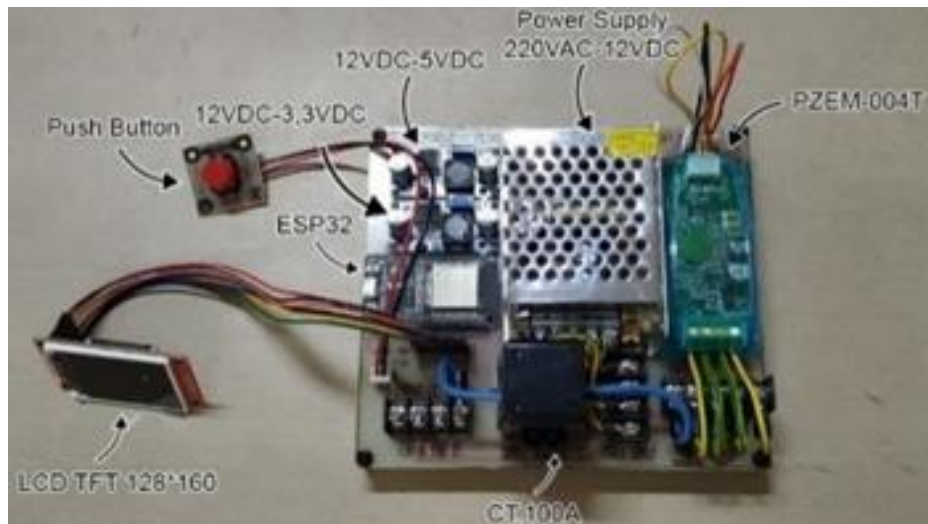
Pengujian dilakukan pada dua kondisi: Luar Waktu Beban Puncak (LWBP) dan Waktu Beban Puncak (WBP). Parameter yang diukur meliputi akurasi sensor dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur acuan (tang

amper dan multimeter digital), kesesuaian hasil pengukuran, dan efisiensi penggunaan energi listrik. Data dianalisis untuk menghitung tingkat *error* menggunakan rumus:

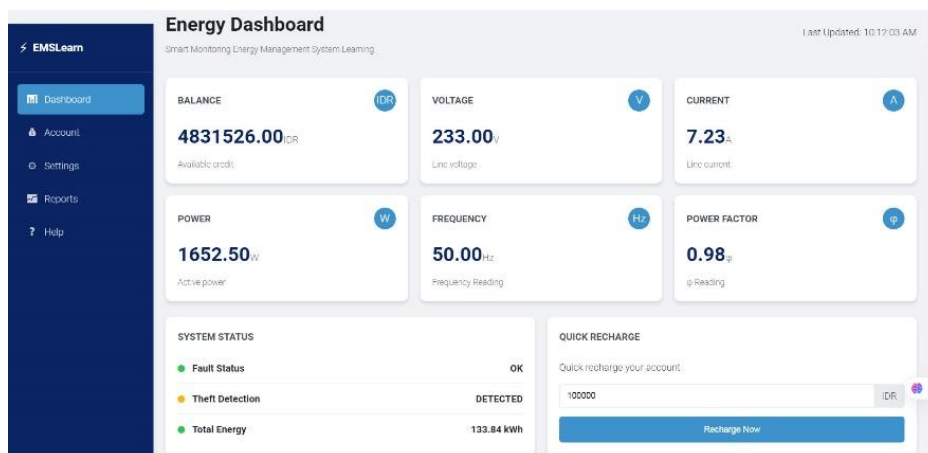
$$\text{Error \%} = \frac{\text{Nilai Sensor} - \text{Nilai Pembanding}}{\text{Nilai Pembanding}} \times 100\%$$

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Hasil Perancangan Perangkat Keras dan Dashboard IoT



Gambar 2. Hasil Perancangan Perangkat Keras



Gambar 3. Tampilan Pada Dashboard IoT

Pada pengukuran tegangan menunjukkan kestabilan tinggi pada rentang 230-233 Volt dengan tingkat *error* sangat rendah (0-0,30%). Pada kondisi LWBP, Fasa

R tercatat 231,2 Volt (*error* 0,30%), Fasa S 232,4Volt (*error* 0,17%), dan Fasa T 231,0 Volt (*error* 0%). Pada kondisi WBP, tegangan tetap stabil dengan *error* maksimal adalah 0,04% pada Fasa R. Stabilitas tegangan terjaga dengan baik saat arus tinggi maupun rendah, menunjukkan *sensor* mampu merekam tegangan dengan akurat dan dapat diandalkan untuk pemantauan *real-time*.

### 3.2 Hasil Pengukuran Arus

Pengukuran arus menunjukkan perbedaan signifikan antara kondisi LWBP dan WBP. Pada LWBP, arus tercatat rendah dengan Fasa R 1,34 Amper, Fasa S 1,47 Amper dan Fasa T 4,16 Amper, menghasilkan *error* berkisar 0,95-3,08%. Pada WBP, arus meningkat drastis dengan Fasa R 18,00 Amper, Fasa S 7,23 Amper, dan Fasa T 16,84 Amper, dengan *error* 0,41- 0,94%. Akurasi sensor arus sangat baik dengan seluruh *error* dibawah 4%. Analisis ketidakseimbangan arus menunjukkan kondisi ekstrim pada LWBP mencapai 79,31% karena arus tinggi pada Fasa T, sedangkan pada WBP ketidakseimbangan sebesar 28,39% akibat Fasa S memiliki beban jauh lebih rendah dibandingkan dengan Fasa R dan T. Ketidakseimbangan diatas 10% berpotensi menimbulkan pemanasan berlebih pada konduktor, meningkatkan rugi-rugi daya, serta menurunkan efisiensi transformator.

### 3.3 Hasil Pengukuran Daya Aktif

Daya aktif pada LWBP tercatat rendah dengan Fasa R 309,5Watt dan Fasa S 341,6 Watt, dan Fasa T 360,9 Watt. Pada WBP konsumsi meningkat signifikan dengan Fasa R mencapai 4155,8 Watt (peningkatan 60,75%). Tingkat *error* pengukuran daya aktif berkisar 0,03-0,45%, dengan *error* tertinggi pada Fasa R kondisi WBP. Ketidakseimbangan daya aktif pada WBP mencapai 28,12% dengan selisih antara daya tertinggi (Fasa R: 4155,8) dan terendah (Fasa S: 1694,5Watt) sebesar 2471,3Watt. Kondisi ini perlu diminimalkan untuk meningkatkan efisiensi sistem dan mencegah pemanasan berlebih pada fasa dengan beban lebih besar.

### 3.4 Hasil Pengukuran Frekuensi Dan Faktor Daya

Frekuensi pada sistem konsisten pada standar 50Hz dengan *error* mendekati 0% menunjukkan kestabilan pasokan listrik dari PLN. Faktor daya menunjukkan nilai

sangat baik berkisar 0,97-0,99 mengindikasikan sistem memiliki penarikan daya reaktif minim. Pada LWBP, faktor daya tercatat 0,99 pada semua Fasa dengan *error* maksimal 0,01%. Pada WBP, faktor daya sedikit menurun dengan nilai terendah 0,97 pada Fasa T, namun masih diatas batas minimum 0,85-0,90 yang ditetapkan PLN, perhitungan daya aktif menunjukkan Fasa R memiliki daya reaktif tinggi pada Fasa R dan T menunjukkan kedua Fasa dipenuhi beban induktif dominan yang memaksa sistem menyediakan energi tambahan.

### 3.5 Estimasi Konsumsi Biaya

Perhitungan estimasi biaya berdasarkan pada hasil pengukuran masing-masing Fasa.

**Tabel 1. Hasil Perhitungan Biaya dan Konsumsi Energi**

| Fasa         | Consumption Rate (Rp) | Konsumsi Energi (kWh) | Analisis Fasa  |
|--------------|-----------------------|-----------------------|--|
| R            | Rp 1.067.076,96       | 957,75 kWh            | Menjadi penyumbang biaya terbesar, hampir setengah dari total pengeluaran. Hal ini disebabkan oleh nilai arus (A) dan daya (W) yang paling tinggi, sehingga menunjukkan adanya beban yang sangat berat pada fasa ini.      |
| S            | Rp 400.478,68         | 359,45 kWh            | Merupakan fasa dengan beban teringan dan biaya paling rendah. Meskipun memiliki faktor daya sangat baik (0,98), konsumsi dayanya rendah sehingga pemanfaatan bebannya tidak seoptimal fasa lain ( <i>load imbalance</i> ). |
| T            | Rp 689.592,52         | 618,95 kWh            | Termasuk beban menengah. Konsumsinya cukup tinggi tetapi masih jauh di bawah fasa R.   |
| <b>TOTAL</b> | Rp 2.157.148,16       | 1936,15 kWh           | Total biaya dan total konsumsi energi selama periode pengamatan.   |

Total konsumsi energi selama periode November 2024 tercatat 1936,15 kWh dengan estimasi biaya Rp 2.157.148 menggunakan tarif Rp 1.114,14 per kWh. Fasa R menyumbang biaya terbesar (Rp 1.067.076 atau 957,75 kWh), hampir setengah dari total pengeluaran akibat arus dan daya tertinggi. Fasa S memiliki beban

teringan (Rp 400.478 atau 359,45 kWh), sedangkan Fasa T termasuk beban menengah (Rp 689.592 atau 618,95 kWh).

#### IV. SIMPULAN

Sistem monitoring konsumsi energi listrik tiga fasa berbasis IoT menggunakan sensor PZEM-004T dan ESP32 berhasil diimplementasikan dengan akurasi tinggi. Pengukuran tegangan menunjukkan *error* sangat rendah (0-0,30%), arus *error* 0,41-3,08%, dan daya aktif *error* 0,03-0,45%. Sistem mampu melakukan monitoring *real-time* dengan komunikasi data stabil dalam jaringan lokal.

Analisis beban menunjukkan ketidakseimbangan signifikan mencapai 79.31% pada LWBP, mengindikasikan distribusi beban tidak merata yang perlu dievaluasi. Faktor daya sangat baik (0,97-0,99), menandakan efisiensi tinggi dengan penarikan daya reaktif minimal. Total konsumsi energi tercatat 1936,15 kWh dengan estimasi biaya Rp 2.157.148 perbulan.

Untuk pengembangan lebih lanjut, disarankan implementasi IP publik atau layanan *Cloud* IoT untuk akses global, peningkatan keamanan data melalui enkripsi, penambahan database untuk menyimpan riwayat data, serta pengembangan fitur analisis dan notifikasi otomatis untuk mendeteksi anomali. Sehingga sistem ini dapat menjadi dasar pengelolaan energi listrik yang lebih efisien dan pemanfaatan data energi di masa depan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, A. W., Alham, N. R., Utomo, R. M., Elektro, J. R., Balikpapan, P. N., Teknik, F., Mulawarman, U., Energi, K., & Pemantauan, S. (2023). *Sistem Pemantauan Konsumsi Energi Listrik Berbasis Web Sebagai Upaya Konservasi Energi*. 22(1), 36–44.
- Azizi, D., & Arinal, V. (2023). Sistem Monitoring Daya Listrik Menggunakan Internet of Thing (Iot) Berbasis Mobile. *Jurnal Indonesia : Manajemen Informatika Dan Komunikasi*, 4(3), 1808–1813. <https://doi.org/10.35870/jimik.v4i3.409>
- Dharmawan, A. D., Subiyanto, L., & Nugraha, A. T. (2022). Implementasi Sistem Monitoring pada Panel Listrik. *Elektriase: Jurnal Sains Dan Teknologi*

- Elektro*, 12(02), 82–91. <https://doi.org/10.47709/elektriase.v12i02.1852>
- Fajri, A. F., Suhendi, A., & Fathonah, I. W. (2021). Rancang Bangun Website Untuk Monitoring Penggunaan Daya Listrik Tiga Fasa Berbasis Power Meter Di Gedung Deli Universitas Telkom. *E-Proceeding of Engineering*, 8(2), 1905. <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/viewFile/14600/14379>
- Hercog, D., Lerher, T., & Trunti, M. (2023). *Design and Implementation of ESP32-Based IoT Devices. 1.*
- Ikhsan, M. U., Achmad, A., Sahibu, S., & Von-lind, N. (2025). *Smart Office Implementation System for Electrical Energy Consumption Efficiency Using IoT-Based Fuzzy Algorithm. 4(1), 1–11.*
- Jokanan, J. W., Widodo, A., Kholis, N., & Rakhmawati, L. (2022). Rancang Bangun Alat Monitoring Daya Listrik Berbasis IoT Menggunakan Firebase dan Aplikasi. *Jurnal Teknik Elektro*, 11(1), 47–55. <https://doi.org/10.26740/jte.v11n1.p47-55>
- Muslihi, M. T. (2025). *Pengembangan dan Evaluasi Sistem Monitoring Konsumsi Daya Listrik Berbasis IoT dengan Sensor PZEM-004T dan ESP8266. 15(1), 77–83.*
- Prasetyo, H., Sugiarto, Y., Raharja, A. B., & Oksean, A. (2024). *Design of IoT Enabled Three Phase Power Quality Monitoring Unit Based on EmonLibCM Library. 4(2), 1–14.*
- Yuniarto, W., Diponegoro, M., Studi, P., Elektro, T., Pontianak, P. N., & Barat, K. (2023). *Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Kontrol Energi Listrik pada Beban 3 Fasa Menggunakan ESP32 Berbasis Internet of Things (IoT). 22(1), 30–38.*
- Zaim, M. Z., & Ranolat, S. (2025). *Sistem Monitoring Energi Listrik 3 Fase Berbasis IoT dan Firebase. 12(2), 2–7.*
- Zhang, C., Zhu, C., Li, Y., Liang, Z., Zhang, K., & Dong, T. (2022). Research on energy saving and loss reduction method of three-phase unbalanced power grid based on stochastic fuzzy power flow. *Journal of Electric Power Science and Technology*, 37(6), 212–218. <https://doi.org/10.19781/j.issn.1673-9140.2022.06.025>