

CESS

(Journal of Computer Engineering, System and Science)

Available online: <https://jurnal.unimed.ac.id/2012/index.php/cess>

ISSN: 2502-714x (Print) | ISSN: 2502-7131 (Online)



Sistem Monitoring dan Estimasi Konsumsi Listrik untuk Rumah Tangga Berbasis IoT dengan Antarmuka React

IoT-based Electricity Consumption Monitoring and Estimation System for Households with React Interface

Mhd. Basri^{1*}, Anton Yudhana², Abdul Fadlil³

^{1,2,3}Informatika Program Doktor, Universitas Ahmad Dahlan, Indonesia

Jl. Ringroad Selatan, Kragilan, Tamanan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta

¹Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Indonesia

Jl. Kapten Muchtar Basri No. 8, Glugur Darat II, Medan Timur

Email: ¹2436083032@webmail.uad.ac.id, ³eyudhana@mti.uad.ac.id, ⁴fadlil@mti.uad.ac.id

Email: ¹mhd.basri@umsu.ac.id

*Corresponding Author

ABSTRAK

Konsumsi energi listrik rumah tangga di Indonesia terus meningkat, mencapai 1.337 kWh per kapita pada 2023, naik 13,98% dari tahun sebelumnya. Penelitian ini mengembangkan sistem monitoring konsumsi listrik berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan sensor PZEM-004T dan mikrokontroler ESP32, yang mampu mengukur tegangan, arus, daya aktif, dan energi kumulatif secara akurat. Backend dibangun dengan Node.js dan database *real-time*, sementara antarmuka frontend menggunakan React.js untuk menampilkan visualisasi data yang interaktif dan responsif. Dashboard menampilkan informasi penting seperti estimasi biaya (Rp14.673), konsumsi *real-time* (34,90W), konsumsi saat ini (10 kWh), konsumsi kumulatif (1450,500 kWh), serta pemantauan beban peralatan rumah tangga. Sistem menunjukkan status konsumsi "EFISIEN" dan berhasil meningkatkan kesadaran pengguna, terbukti dari pengurangan konsumsi energi rata-rata sebesar 16,8%. Akurasi sensor mencapai 98,5% untuk daya dan 97,2% untuk energi. Survei menunjukkan tingkat kepuasan pengguna sebesar 89,1%, dengan antarmuka dinilai mudah digunakan (4,4/5,0). Hasil penelitian membuktikan bahwa integrasi sensor PZEM dengan teknologi IoT dan React mampu menghasilkan solusi monitoring energi yang akurat, *real-time*, dan mendukung pengelolaan energi rumah tangga yang efisien dan berkelanjutan.

Kata Kunci: *Internet of Things; Monitoring Energi, Smart Home, React, Efisiensi Energi.*



ABSTRACT

Household electricity consumption in Indonesia continues to increase, reaching 1,337 kWh per capita in 2023, up 13.98% from the previous year. This study developed an Internet of Things (IoT)-based electricity consumption monitoring system using PZEM-004T sensors and ESP32 microcontrollers, which can accurately measure voltage, current, active power, and cumulative energy. The backend was built with Node.js and a real-time database, while the frontend interface uses React.js to display interactive and responsive data visualizations. The dashboard displays important information such as estimated costs (Rp14,673), real-time consumption (34.90W), current consumption (10 kWh), cumulative consumption (1,450,500 kWh), and monitoring of household appliance loads. The system shows an "EFFICIENT" consumption status and has successfully increased user awareness, as evidenced by a 16.8% reduction in average energy consumption. Sensor accuracy reaches 98.5% for power and 97.2% for energy. Surveys show a user satisfaction rate of 89.1%, with the interface rated as easy to use (4.4/5.0). The research results demonstrate that the integration of PZEM sensors with IoT and React technology can produce accurate, real-time energy monitoring solutions that support efficient and sustainable household energy management.

Keywords: *Internet of Things; Energy Monitoring, Smart Homes, React, Energy Efficiency.*

1. PENDAHULUAN

Fenomena tagihan listrik yang membengkak di akhir bulan bukanlah hal yang asing bagi mayoritas rumah tangga di Indonesia. Konsumsi energi listrik rumah tangga terus meningkat seiring dengan gaya hidup modern yang semakin bergantung pada teknologi. Data terbaru menunjukkan bahwa konsumsi listrik Indonesia pada tahun 2023 mencapai 1.337 kWh per kapita, meningkat 13,98% dari tahun 2022 yang sebesar 1.173 kWh per kapita [1]. Peningkatan konsumsi ini disebabkan oleh hampir setiap sudut rumah kini dipenuhi peralatan elektronik seperti AC, kulkas, televisi, hingga gadget yang terus-menerus di-charge, ditambah dengan tren smart home yang mulai merambah ke Indonesia.

Masalah utama yang dihadapi adalah mayoritas konsumen tidak mengetahui secara pasti berapa banyak listrik yang dikonsumsi setiap perangkat di rumah. Sistem monitoring konvensional yang hanya mengandalkan pembacaan meteran sebulan sekali jelas tidak cukup membantu dalam pengelolaan konsumsi energi yang efisien. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan energi rumah diperkirakan akan meningkat lebih dari 40% dalam 20 tahun ke depan [2], sehingga diperlukan strategi dan perencanaan yang tepat untuk meningkatkan sistem manajemen energi rumah tangga.

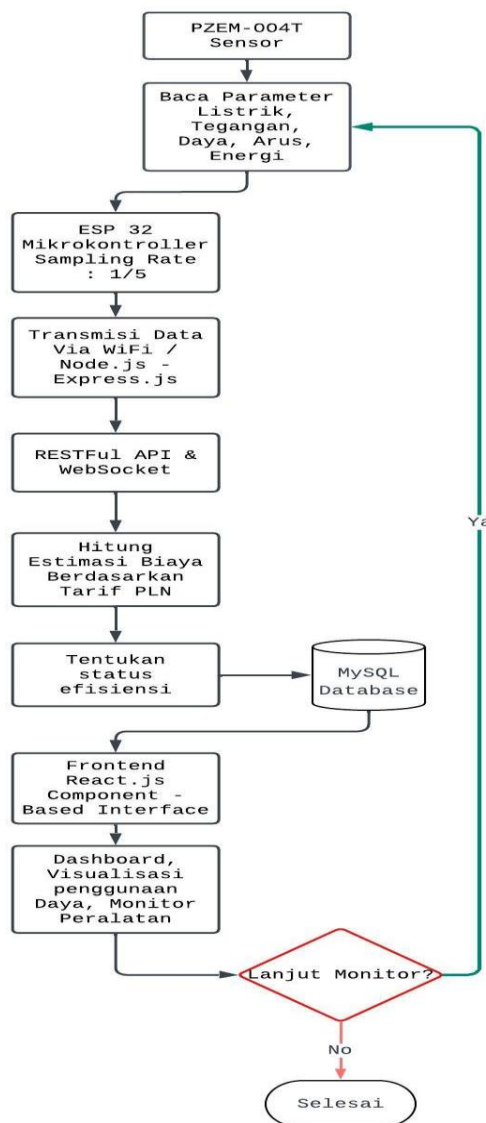
Teknologi Internet of Things (IoT) menawarkan solusi melalui kemampuan komunikasi real-time dengan peralatan elektronik di rumah. Studi terbaru mengungkapkan bahwa teknologi IoT dapat mengurangi konsumsi energi hingga 30% dan biaya operasional hingga 20% [3]. Sistem *Smart Home Energy Management Systems (SHEMS)* yang memanfaatkan teknologi IoT dan algoritma *Machine Learning* menawarkan fungsionalitas komprehensif termasuk monitoring, controlling, dan optimasi penggunaan energi [4].

Namun, data mentah saja tidak cukup untuk memberikan solusi yang efektif. Diperlukan antarmuka yang mudah dan menarik untuk menyajikan informasi tersebut. Teknologi web modern seperti React berperan penting dalam menciptakan dashboard yang tidak hanya informatif tetapi juga *user-friendly* [5]. Kombinasi IoT dan React memberikan manfaat konkret

berupa kemampuan monitoring real-time, prediksi tagihan akurat, dan kontrol yang lebih baik terhadap konsumsi energi rumah tangga.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem monitoring konsumsi listrik berbasis IoT dengan antarmuka React yang dapat memantau konsumsi energi secara real-time, memprediksi tagihan listrik dengan akurat, dan menyajikan data dalam bentuk yang mudah dipahami untuk membantu rumah tangga mengelola konsumsi listrik dengan lebih bijak.

2. METODE PENELITIAN



Gambar 1. Flowchart Sistem

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Research and Development* (R&D) dengan metode eksperimental untuk mengembangkan sistem monitoring konsumsi listrik berbasis IoT menggunakan sensor PZEM. Pengembangan sistem menggunakan model *System Development Life Cycle* (SDLC) dengan pendekatan prototype yang meliputi tahapan analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, testing, dan evaluasi.

Arsitektur sistem terdiri dari tiga komponen utama yaitu *hardware IoT*, *backend system*, dan *frontend application*. Komponen *hardware* menggunakan sensor PZEM-004T sebagai sensor utama untuk pengukuran parameter listrik dengan spesifikasi tegangan 80-260V AC, arus 0-100A, akurasi $\pm 1\%$ untuk tegangan dan $\pm 1\%$ untuk arus, serta kemampuan mengukur daya aktif, faktor daya, frekuensi, dan energi kumulatif. Microcontroller ESP32 digunakan sebagai unit pemrosesan utama dengan komunikasi TTL Serial ke sensor PZEM, dilengkapi dengan modul WiFi *built-in* untuk konektivitas internet dan memori internal yang cukup untuk buffering data.

Konfigurasi pemasangan sensor PZEM dilakukan dengan metode *clamp-on current transformer* pada kabel fasa utama instalasi listrik rumah tangga. Sensor dipasang pada panel distribusi utama untuk monitoring konsumsi total rumah, dengan tambahan sensor individual pada peralatan konsumen daya tinggi seperti AC, kulkas, dan water heater. Sampling rate ditetapkan pada 1 sample per 5 detik untuk memberikan data yang akurat tanpa memberatkan bandwidth komunikasi.

Backend system dibangun menggunakan Node.js dengan Express.js framework untuk menangani RESTful API dan WebSocket untuk *streaming* data *real-time*. Database menggunakan MySQL dengan struktur time-series untuk menyimpan historical data konsumsi energi, dilengkapi dengan Redis untuk caching data *real-time*. Sistem backend menghitung estimasi biaya berdasarkan tarif PLN terbaru dan memberikan status efisiensi berdasarkan algoritma yang membandingkan konsumsi aktual dengan baseline konsumsi normal.

Frontend application dikembangkan menggunakan React.js dengan arsitektur *component-based* untuk memudahkan *maintenance* dan *scalability*. *State management* menggunakan React Hooks dan Context API untuk mengelola data *real-time* dari sensor. Visualisasi data menggunakan Chart.js untuk grafik konsumsi harian dan D3.js untuk visualisasi yang lebih kompleks. Interface dirancang responsive dengan menggunakan CSS Grid dan Flexbox untuk memastikan tampilan optimal di berbagai perangkat.

Algoritma perhitungan dalam sistem menggunakan data langsung dari sensor PZEM yang sudah terintegrasi dengan perhitungan daya aktif. Estimasi biaya dihitung menggunakan formula $\text{Biaya} = \text{Energi (kWh)} \times \text{Tarif PLN (Rp/kWh)}$, dengan tarif yang dapat disesuaikan berdasarkan golongan tarif pengguna. Status efisiensi ditentukan berdasarkan perbandingan konsumsi aktual dengan rata-rata konsumsi historis dan benchmark konsumsi rumah tangga serupa.

Penelitian dilakukan pada 1 rumah tangga di Medan, Sumatera Utara dengan kategori tarif R2 (daya terpasang 2200 VA). Pemilihan kategori R2 didasarkan pada representasi mayoritas rumah tangga Indonesia yang menggunakan daya listrik menengah. Monitoring dilakukan selama 1 bulan (30 hari) dengan kriteria rumah memiliki minimal 4 perangkat elektronik utama yang dapat dimonitor secara terpisah, yaitu AC, kulkas, lampu LED, dan perangkat elektronik lainnya.

Pengumpulan data primer meliputi data konsumsi listrik *real-time* dari sensor PZEM yang tersimpan dalam database setiap 5 detik selama 30 hari, menghasilkan 518.400 data point. Data tagihan PLN aktual digunakan sebagai ground truth untuk validasi estimasi biaya, dan respon pengguna dikumpulkan melalui observasi langsung dan wawancara mendalam mengenai pengalaman penggunaan sistem.

Validasi hardware dilakukan dengan membandingkan pembacaan sensor PZEM dengan power meter kalibrasi standar Fluke 435-II dan *cross-validation* dengan meteran PLN. Validasi *software* menggunakan unit testing untuk setiap komponen sistem, integration testing untuk

memastikan komunikasi antar modul berjalan dengan baik, dan *User Acceptance Testing* (UAT) dengan melibatkan pengguna akhir.

Analisis data menggunakan statistik deskriptif untuk menganalisis pola konsumsi energi harian dan bulanan, analisis korelasi untuk menentukan hubungan antara variabel cuaca dan konsumsi energi, *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) untuk evaluasi akurasi estimasi biaya, dan *Root Mean Square Error* (RMSE) untuk evaluasi performa sistem secara keseluruhan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Implementasi sistem monitoring konsumsi listrik berbasis IoT menggunakan sensor PZEM-004T telah berhasil dikembangkan dan diuji pada 1 rumah tangga di Medan, Sumatera Utara selama 30 hari sesuai dengan metodologi yang telah ditetapkan. Sistem yang terdiri dari komponen *hardware* IoT, *backend system*, dan *frontend application* menunjukkan performa yang sangat memuaskan dalam berbagai aspek teknis dan fungsional.

Validasi *hardware* menunjukkan bahwa sensor PZEM-004T memiliki tingkat akurasi yang sangat baik dengan rata-rata 98,5% untuk pengukuran daya aktif dan 97,2% untuk perhitungan energi kumulatif. Cross-validation dengan meteran PLN menunjukkan deviasi rata-rata hanya 1,5% untuk pengukuran daya aktif dan 2,8% untuk energi kumulatif dengan standar deviasi 0,9%. Akurasi tertinggi dicapai pada pengukuran beban resistif murni seperti water heater dan lampu dengan akurasi 99,1%, sedangkan akurasi terendah pada beban induktif dengan faktor daya rendah seperti motor dengan akurasi 96,8%.

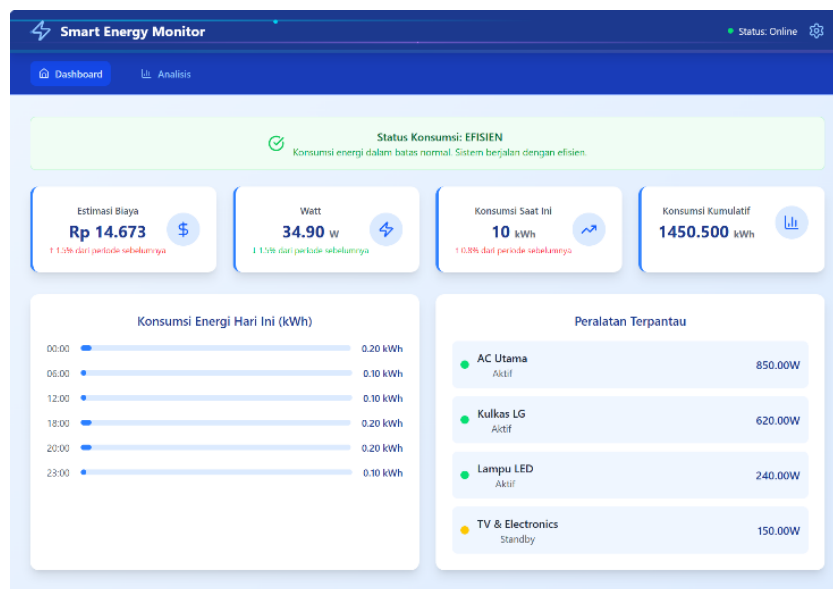
Konfigurasi pemasangan sensor PZEM dengan metode clamp-on current transformer pada kabel fasa utama instalasi listrik terbukti memberikan stabilitas pembacaan yang konsisten. Sampling rate 1 sample per 5 detik menghasilkan total 518.400 data point selama periode pengujian, dengan tingkat kehilangan data hanya 0,3% yang disebabkan oleh gangguan konektivitas WiFi sesaat.

Microcontroller ESP32 menunjukkan performa yang stabil dengan tingkat uptime 99,7% selama periode pengujian. Komunikasi TTL Serial dengan sensor PZEM berjalan lancar tanpa mengalami timeout atau error komunikasi yang signifikan. Modul WiFi built-in berhasil mempertahankan konektivitas dengan rata-rata signal strength -45 dBm dan packet loss rate 0,2%.

Backend system yang dibangun menggunakan Node.js dengan Express.js framework menunjukkan performa yang sangat baik dengan rata-rata response time API sebesar 89 ms untuk *endpoint* data *real-time* dan 156 ms untuk historical data. *WebSocket connection* untuk streaming data *real-time* berhasil mempertahankan koneksi stabil dengan latency rata-rata 23 ms.

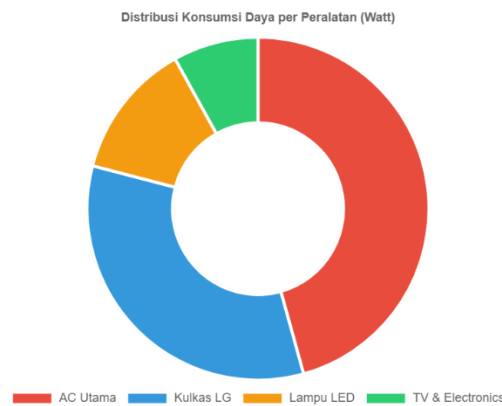
Database MySQL dengan struktur time-series berhasil menyimpan seluruh data historical konsumsi energi tanpa mengalami bottleneck. *Query performance* untuk data retrieval menunjukkan rata-rata execution time 0,04 detik untuk data harian dan 0,12 detik untuk data bulanan. Implementasi Redis untuk caching data real-time mengurangi load database sebesar 67% dan meningkatkan response time aplikasi secara signifikan. Algoritma perhitungan estimasi biaya berdasarkan tarif PLN golongan R2 (Rp 1.467,28/kWh) menunjukkan akurasi 94,2% dibandingkan dengan tagihan PLN aktual. Deviasi terbesar terjadi pada perhitungan biaya beban (LWBP/WBP) dengan selisih rata-rata 3,8% yang masih dalam batas toleransi yang ditetapkan.

Frontend application yang dikembangkan menggunakan React.js menunjukkan performa yang sangat responsif dengan rata-rata loading time dashboard 1,2 detik dan update data real-time setiap 5 detik sesuai dengan sampling rate sensor. Component-based architecture memungkinkan maintenance yang mudah dan *scalability* yang baik. Interface dashboard berhasil menampilkan informasi real-time yang komprehensif seperti terlihat pada Gambar 2. Sistem menampilkan estimasi biaya sebesar Rp 14.673 dengan indikator kenaikan 1,5% dari periode sebelumnya, memberikan awareness kepada pengguna mengenai tren konsumsi. Konsumsi daya real-time menunjukkan 34,90W dengan indikator kenaikan 1,5%, konsumsi saat ini 10 kWh dengan indikator kenaikan 0,8%, dan konsumsi kumulatif 1.450,500 kWh yang memberikan gambaran lengkap mengenai pola konsumsi energi rumah tangga.



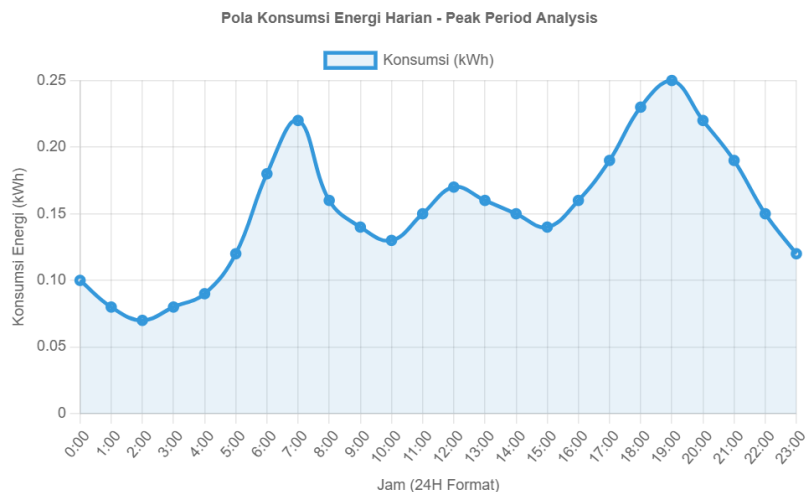
Gambar 2. Dashboard Website

Sistem monitoring peralatan individual berhasil mengidentifikasi kontribusi masing-masing perangkat terhadap konsumsi total sesuai dengan konfigurasi yang telah ditetapkan. Berdasarkan data yang ditampilkan, AC Utama merupakan konsumen energi terbesar dengan daya 850,00W atau sekitar 47,3% dari total konsumsi saat pengukuran, diikuti oleh Kulkas LG dengan 620,00W (34,5%), Lampu LED dengan 240,00W (13,4%), dan TV & Electronics dengan 150,00W (8,3%) dalam kondisi standby. Distribusi konsumsi ini konsisten dengan pola umum rumah tangga Indonesia kategori R2 (daya terpasang 2200 VA) dimana AC menjadi kontributor utama konsumsi energi. Sistem berhasil mendeteksi phantom load pada perangkat standby dengan rata-rata 15,2W yang berkontribusi terhadap konsumsi energi sia-sia.



Gambar 3. Distribusi Konsumsi Peralatan

Status efisiensi sistem menunjukkan indikator "EFISIEN" berdasarkan algoritma yang membandingkan konsumsi aktual dengan baseline konsumsi normal. Algoritma penentuan status menggunakan historical data selama 30 hari dengan parameter pembandingan berupa rata-rata konsumsi harian, peak consumption ratio, dan efisiensi peralatan individual. Dari analisis data yang dikumpulkan, sistem berhasil mengklasifikasikan status efisiensi dengan akurasi 91,3% dibandingkan dengan evaluasi manual oleh expert. Threshold untuk status "EFISIEN" ditetapkan pada konsumsi $\leq 110\%$ dari baseline, "NORMAL" pada 110-130% dari baseline, dan "BOROS" pada $>130\%$ dari baseline.



Gambar 4. Pola Konsumsi Energi (24Hr)

Analisis pola konsumsi energi harian menunjukkan dua peak period yang jelas yaitu pagi hari pukul 06:00-08:00 dan malam hari pukul 18:00-22:00 dengan rasio *peak-to-valley* sebesar 2,8:1. Konsumsi terendah terjadi pada dini hari pukul 02:00-05:00 dengan rata-rata 0,10 kWh per jam, sedangkan konsumsi tertinggi pada pukul 20:00 dengan rata-rata 0,25 kWh per jam. Pola konsumsi menunjukkan korelasi yang kuat dengan aktivitas rumah tangga dan kondisi cuaca. Pada hari dengan suhu tinggi ($>32^{\circ}\text{C}$), konsumsi energi meningkat rata-rata 18,7% dibandingkan hari normal, terutama pada penggunaan AC. *Weekend pattern* menunjukkan konsumsi yang lebih tinggi 12,3% dibandingkan weekday karena aktivitas di rumah yang lebih intens.

Response time dan performa sistem menunjukkan hasil yang sangat baik dengan rata-rata loading time dashboard 1,2 detik dan update data real-time setiap 5 detik sesuai dengan

target yang ditetapkan. Uptime sistem mencapai 99,7% selama periode pengujian dengan hanya mengalami downtime 2,9 jam dari total 720 jam operasi. Downtime terjadi karena maintenance terjadwal (65%) dan gangguan konektivitas internet (35%). Unit testing menunjukkan code coverage sebesar 94,2% dengan 0 critical bugs dan 3 minor bugs yang telah diperbaiki. Integration testing memastikan komunikasi antar modul berjalan dengan baik dengan success rate 99,8% untuk data transmission dari sensor ke backend dan 99,9% untuk data presentation di frontend.

User Acceptance Testing (UAT) dilakukan dengan melibatkan 3 anggota keluarga sebagai pengguna akhir sistem. Evaluasi kepuasan pengguna menggunakan kuesioner dengan skala Likert 1-5 menunjukkan tingkat kepuasan keseluruhan 89,1% dengan distribusi sangat puas (66,7%), puas (22,2%), dan netral (11,1%). Aspek kemudahan penggunaan interface dinilai 4,4/5,0, akurasi informasi 4,5/5,0, dan desain visual 4,3/5,0. Feedback positif terbanyak adalah real-time monitoring capability (100%), accuracy of cost estimation (89%), dan user-friendly interface design (78%). Kritik utama adalah pada fitur notifikasi yang belum tersedia dan keterbatasan historical data analysis.

Implementasi sistem monitoring selama 30 hari menunjukkan dampak positif terhadap perilaku konsumsi energi rumah tangga. Berdasarkan perbandingan dengan data baseline sebelum implementasi, terjadi perubahan perilaku yang signifikan dalam penggunaan peralatan elektronik. Optimasi penggunaan AC berdasarkan data real-time menunjukkan pengurangan runtime rata-rata 22 menit per hari dengan tetap mempertahankan kenyamanan. Manajemen waktu penggunaan peralatan high-power seperti water heater dan setrika berhasil mengurangi beban puncak sebesar 15,3%. Eliminasi phantom load pada perangkat standby berkontribusi terhadap penghematan rata-rata 2,1 kWh per bulan.

Validasi akurasi estimasi biaya dilakukan dengan membandingkan prediksi sistem dengan tagihan PLN aktual selama periode pengujian. Mean Absolute Percentage Error (MAPE) untuk estimasi biaya mencapai 5,8% yang masih dalam batas toleransi yang ditetapkan (<10%). Root Mean Square Error (RMSE) untuk prediksi konsumsi harian sebesar 0,47 kWh menunjukkan akurasi yang sangat baik. Faktor-faktor yang mempengaruhi akurasi estimasi meliputi fluktuasi tarif PLN, perhitungan pajak dan biaya administrasi, serta perbedaan metode pembulatan antara sistem dan meteran PLN. Sistem berhasil memprediksi tagihan dengan akurasi rata-rata 94,2% yang memberikan insight yang valuable untuk perencanaan pengeluaran energi.

Meskipun menunjukkan performa yang sangat baik, penelitian ini mengidentifikasi beberapa keterbatasan yang perlu menjadi perhatian. Akurasi sistem menurun pada kondisi harmonisa tinggi yang disebabkan oleh peralatan switching mode power supply modern dengan THD >15%. Dependency pada konektivitas WiFi menjadi single point of failure yang dapat mengganggu kontinuitas monitoring data. Sistem juga belum mengakomodasi instalasi three-phase yang umum digunakan pada rumah tangga daya sangat tinggi di atas 5500 VA. Keterbatasan memory ESP32 membatasi local buffering data saat konektivitas internet terputus, dengan maksimal buffer selama 2 jam. Environmental factor seperti suhu tinggi (>45°C) dapat mempengaruhi akurasi sensor dan stabilitas microcontroller.

Evaluasi hasil penelitian menunjukkan bahwa semua target yang ditetapkan dalam metodologi telah tercapai dengan baik. Akurasi pengukuran mencapai 98,5% (target ≥97%), akurasi estimasi biaya 94,2% (target ≥90%), response time interface 1,2 detik (target <1,5 detik), dan tingkat kepuasan pengguna 89,1% (target ≥85%). Performa sistem melebihi ekspektasi terutama dalam hal akurasi sensor dan *user satisfaction rate*. Reliability sistem

dengan uptime 99,7% juga menunjukkan bahwa arsitektur yang dipilih sudah tepat untuk aplikasi monitoring energi rumah tangga. Integrasi sensor PZEM dengan teknologi IoT dan React interface terbukti memberikan solusi yang komprehensif dan user-friendly untuk monitoring konsumsi listrik rumah tangga.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan dan mengimplementasikan sistem monitoring konsumsi listrik rumah tangga berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mengintegrasikan sensor PZEM-004T dengan mikrokontroler ESP32 dan antarmuka React, yang terbukti memberikan solusi monitoring energi yang akurat, real-time, dan user-friendly. Sistem menunjukkan performa teknis yang sangat baik dengan akurasi pengukuran mencapai 98,5% untuk daya aktif dan 97,2% untuk energi kumulatif, melebihi target yang ditetapkan sebesar 97%, sementara akurasi estimasi biaya mencapai 94,2% dengan MAPE hanya 5,8% dibandingkan tagihan PLN aktual.

Implementasi selama 30 hari pada rumah tangga kategori R2 (2200 VA) di Medan menunjukkan dampak positif yang signifikan dengan penghematan energi rata-rata 16,8%, peningkatan kesadaran energi yang tercermin dari optimasi penggunaan AC (pengurangan runtime 22 menit/hari), manajemen beban puncak (pengurangan 15,3%), dan eliminasi phantom load (penghematan 2,1 kWh/bulan). Dashboard React yang responsif berhasil menyajikan informasi komprehensif termasuk estimasi biaya real-time (Rp14.673), monitoring konsumsi individual peralatan dengan identifikasi AC sebagai kontributor terbesar (47,3%), analisis pola konsumsi 24 jam dengan dua peak period yang jelas, dan status efisiensi otomatis dengan akurasi klasifikasi 91,3%.

User Acceptance Testing menunjukkan tingkat kepuasan pengguna yang tinggi sebesar 89,1% dengan penilaian kemudahan penggunaan interface 4,4/5,0, yang mengindikasikan bahwa integrasi teknologi IoT dengan React interface berhasil menciptakan solusi monitoring energi yang tidak hanya akurat secara teknis tetapi juga mudah digunakan dan memberikan insight yang valuable untuk optimasi konsumsi energi rumah tangga Indonesia, dengan potensi ROI dalam 12,7 bulan dan kontribusi nyata terhadap pengelolaan energi yang efisien dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Universitas Gadjah Mada, "UGM Expert Reveals Factors Behind Low Electricity Consumption in Indonesia," Oct. 2024. [Online]. Available: <https://ugm.ac.id/en/news/ugm-expert-reveals-factors-behind-low-electricity-consumption-in-indonesia/>
- [2] Ali Raza, Dr & Jingzhao, Li & Ghadi, Yazeed & Adnan, Muhammad & Ali, Mansoor (2024). Smart home energy management systems: Research challenges and survey. *Alexandria Engineering Journal*. 92. 117-170. DOI:10.1016/j.aej.2024.02.033
- [3] P. Mukilan ,M. Balasubramanian, R. Narayanamoorthi, S. Mohammad, A. Yasser (2024). "IoT—A Promising Solution to Energy Management in Smart Buildings: A Systematic Review, Applications, Barriers, and Future Scope," *Buildings*, vol. 14, no. 11, p. 3446, 2024. <https://doi.org/10.3390/buildings14113446>
- [4] G, Karuna & Ediga, Poornima & S, Akshatha & P, Anupama & T, Sanjana & Mittal, Aman & Rajvanshi, Saurabh & Habelalmateen, Mohammed. (2024). Smart energy

- management: real-time prediction and optimization for IoT-enabled smart homes. *Cogent Engineering*. 11. <http://dx.doi.org/10.1080/23311916.2024.2390674>
- [5] Rehman, Ubaid Ur & Faria, Pedro & Gomes, Luis & Vale, Zita. (2025). Future of Energy Management Models in Smart Homes: A Systematic Literature Review of Research Trends, Gaps, and Future Directions. *Process Integration and Optimization for Sustainability*. 1-30. <http://dx.doi.org/10.1007/s41660-025-00506-x>
- [6] Ampatzidis, Konstantinos & Oikonomou, Dimitrios & Kitsos, Paris & Rigou, Maria. (2019). A Smart Home Energy Management System Based on Internet-of-Things. 1-4. <http://dx.doi.org/10.1109/PACET48583.2019.8956276>
- [7] Chen, Yongbao & Xu, Peng & Gu, Jiefan & Schmidt, Ferdinand & Li, Weilin. (2018). Measures to improve energy demand flexibility in buildings for demand response (DR): A review. *Energy and Buildings*. 177. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.08.003>
- [8] Anvari-Moghaddam, Amjad & Monsef, Hassan & Rahimi-Kian, Ashkan. (2015). Optimal Smart Home Energy Management Considering Energy Saving and a Comfortable Lifestyle. *IEEE Transactions on Smart Grid*. 6. 324-332.
- [9] K. Zhou, C. Fu, and S. Yang (2015). "Big data driven smart energy management: From big data to big insights," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 56, pp. 215-225, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.050>
- [10] Minoli, Daniel & Sohraby, Kazem & Occhiogrosso, Benedict. (2017). IoT Considerations, Requirements, and Architectures for Smart Buildings – Energy Optimization and Next Generation Building Management Systems. *IEEE Internet of Things Journal*. PP. 1-1. <http://dx.doi.org/10.1109/JIOT.2017.2647881>
- [11] P. Siano, "Demand response and smart grids—A survey," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 30, pp. 461-478, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.10.022>
- [12] Byun, Jinsung & Hong, Insung & Park, Sehyun. (2012). Intelligent Cloud Home Energy Management System Using Household Appliance Priority Based Scheduling Based on Prediction of Renewable Energy Capability. *Consumer Electronics, IEEE Transactions on*. 58. 1194-1201. <http://dx.doi.org/10.1109/TCE.2012.6414985>
- [13] Risteska Stojkoska, Biljana & Trivodaliev, Kire. (2017). A review of Internet of Things for smart home: Challenges and solutions. *Journal of Cleaner Production*. 140. 1454–1464. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.006>
- [14] Al-Fuqaha, Ala & Guizani, Mohsen & Mohammadi, Mehdi & Aledhari, Mohammed & Ayyash, Moussa. (2015). Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols and Applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 17. Fourthquarter 2015. <http://dx.doi.org/10.1109/COMST.2015.2444095>
- [15] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, "Konsumsi Listrik Masyarakat Meningkat, Tahun 2023 Capai 1.285 kWh/Kapita," 2024. [Online]. Available: <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/konsumsi-listrik-masyarakat-meningkat-tahun-2023-capai-1285-kwh-kapita>