Jiskom (Jurnal Sistem Komputer)

Volume 01, Nomor 01, November 2026
ISSN Online : xxxx-xxxx
DOI :-

Rancang Bangun dan Analisis Sistem Monitoring Konsumsi Energi Listrik Rumah Tangga Berbasis Internet of Things (IoT)

Fathohuddin Al Ayubi [1)*], Hendri Noviyanto[2)], Moh. Abdul Kholik[3)]
[1)* 23)] Program Studi Sistem Komputer, Universitas Surakarta, Indonesia
ayub.mmm1@gmail.com[1)*]

Submit : 1 September 2026 | Diterima : 22 Oktober 2026 | Terbit : 4 November 2026

ABSTRAK

Konsumsi energi listrik pada sektor rumah tangga sering kali tidak terkontrol akibat kurangnya visibilitas informasi penggunaan daya secara real-time. Pengguna umumnya baru mengetahui besarnya pemakaian listrik pada akhir bulan saat menerima tagihan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang, mengimplementasikan, dan menganalisis sistem monitoring konsumsi energi listrik rumah tangga berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32 dan sensor PZEM-004T V3.0. Sensor PZEM-004T digunakan untuk mengukur parameter tegangan, arus, daya, dan akumulasi energi (kWh). Data hasil pengukuran diolah oleh ESP32 dan ditransmisikan secara nirkabel melalui protokol Wi-Fi ke platform antarmuka Blynk Cloud. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat membaca parameter listrik dengan akurasi tinggi. Rata-rata persentase error (MAPE) pembacaan sensor dibandingkan dengan instrumen ukur standar adalah sebesar 0,36% untuk tegangan, 1,02% untuk arus, dan 1,12% untuk daya aktif. Sistem berhasil menampilkan data secara real-time dengan latensi transmisi rata-rata < 2 detik serta memberikan pemantauan profil beban harian yang presisi.

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

ABSTRACT

Electrical energy consumption in the household sector is often uncontrolled due to the lack of visibility regarding real-time power usage information. Consumers generally only become aware of their total electricity usage at the end of the month upon receiving the bill. This study aims to design, implement, and analyze an Internet of Things (IoT)-based household electrical energy consumption monitoring system using the ESP32 microcontroller and the PZEM-004T V3.0 sensor. The PZEM-004T sensor is utilized to measure electrical parameters including voltage, current, active power, and energy accumulation (kWh). Measured data is processed by the ESP32 and transmitted wirelessly via Wi-Fi protocol to the Blynk Cloud. Test results indicate that the system measures electrical parameters with high accuracy. The average error percentage (MAPE) of sensor readings compared to standard measuring instruments is 0.36% for voltage, 1.02% for current, and 1.12% for active power. The system successfully displays data in real-time with an average transmission delay of less than 2 seconds and provides precise daily load profiling.

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

1. PENDAHULUAN

Krisis energi global dan peningkatan konsumsi listrik pada sektor rumah tangga telah menjadi isu krusial yang berdampak langsung pada stabilitas ekonomi dan kelestarian lingkungan (Gungor et al., 2011; International Energy Agency, 2023). Dalam konteks modernisasi jaringan listrik menuju smart grid, pengelolaan energi secara mandiri di tingkat konsumen (Demand Side Management) merupakan salah satu strategi utama untuk mengoptimalkan efisiensi energi (Siano, 2014). Namun, sebagian besar sektor rumah tangga di negara berkembang masih mengandalkan sistem pengukuran tradisional berbasis meteran pascabayar atau prabayar yang minim aksesibilitas informasi real-time (Rashid et al., 2020). Akibatnya, pengguna tidak memiliki visibilitas terhadap karakteristik konsumsi daya puncak, pola pemborosan energi, maupun profil beban dari masing-masing peralatan elektronik yang digunakan.

Seiring berkembangnya ekosistem Internet of Things (IoT), arsitektur Energy Management System (EMS) berbasis perangkat cerdas murah (*low-cost smart meters*) kini memungkinkan pemantauan variabel kelistrikan secara kontinu dan otomatis (Andreadis et al., 2021). Penerapan IoT pada sistem monitoring energi rumah tangga tidak hanya berfungsi mengumpulkan data kuantitatif seperti tegangan (*Voltage*), arus (*Current*), daya aktif (*Active Power*), dan energi kumulatif (kWh), tetapi juga memfasilitasi visualisasi data secara interaktif melalui cloud dashboard serta pengiriman notifikasi ambang batas beban secara langsung ke perangkat seluler pengguna (Al-Ali et al., 2017; Khalid et al., 2023).

Dalam perancangan hardware smart meter berbasis IoT, pemilihan modul sensor dan mikrokontroler merupakan faktor kritis. Sensor arus konvensional seperti ACS712 berbasis Efek Hall sering kali mengalami kendala berupa noise yang tinggi pada pembacaan arus kecil, rentan terhadap gangguan medan magnet luar, serta tidak menyediakan pengukuran tegangan secara langsung (Pratama & Setiawan, 2021). Demikian pula halnya dengan sensor SCT-013 yang memerlukan rangkaian pengondisi sinyal eksternal tambahan dan kalibrasi manual yang rumit untuk menghitung nilai True RMS (Adhikari et al., 2020). Sebaliknya, modul sensor PZEM-004T V3.0 hadir sebagai solusi terintegrasi yang dilengkapi dengan chip Dedicated Energy Measurement (SD1233) dan trafo arus terpisah (Split-Core Current Transformer). Sensor ini mendukung komunikasi serial Modbus RTU yang terisolasi secara optik (optocoupler isolation), sehingga memiliki ketahanan tinggi terhadap noise listrik dan mampu mengukur parameter True RMS pada beban non-linier yang kaya akan harmonisa (Peacefair Electronics, 2020; Rahmadani & Nugroho, 2022).

Sebagai unit pemroses utama, mikrokontroler ESP32 dipilih karena memiliki arsitektur 32-bit dual-core Tensilica Xtensa LX6 dengan Wi-Fi 802.11 b/g/n bawaan, memori SRAM 520 KB, serta dukungan sistem operasi real-time FreeRTOS (Espressif Systems, 2022). Pengintegrasian ESP32 dan PZEM-004T V3.0 dengan platform IoT *Blynk Cloud* menawarkan antarmuka monitoring yang responsif dengan latensi transmisi yang rendah. Melalui pemantauan profil beban harian secara *real-time* dan analisis kalkulasi tarif PLN secara presisi, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi akademik dan praktis dalam mendukung efisiensi energi kelistrikan serta transisi menuju *Smart Home Energy Management System* (SHEMS).

2. TINJAUAN PUSTAKA

Pengembangan sistem monitoring energi berbasis IoT telah menjadi fokus penelitian luas dalam beberapa tahun terakhir. Penelitian oleh (Gungor et al. 2011) menegaskan bahwa keterbukaan informasi konsumsi daya secara real-time kepada konsumen dapat menekan penggunaan energi listrik rumah tangga hingga 10–15%. (Pratama dan Setiawan 2021) merancang sistem monitoring arus menggunakan NodeMCU V3 dan sensor ACS712. Penelitian tersebut berhasil menampilkan estimasi arus pada aplikasi Blynk, namun memiliki keterbatasan mendasar yaitu ketidakmampuan mengukur tegangan dan faktor daya secara langsung.

Untuk mengatasi keterbatasan pengukuran variabel parsial, (Adhikari et al. 2020) mengintegrasikan sensor SCT-013 dan kran tegangan ZMPT101B pada mikrokontroler Arduino. Meskipun mampu mengukur daya aktif, sistem memerlukan rangkaian op-amp tambahan yang kompleks serta proses kalibrasi matematika berulang untuk mendapatkan persentase error di bawah 3%. Di sisi lain, penggunaan modul terintegrasi PZEM-004T mulai banyak diadopsi karena keandalannya. (Rahmadani dan Nugroho 2022) mengombinasikan ESP8266 dengan PZEM-004T dan database Google Firebase. Penelitian tersebut mencatat akurasi tinggi (<2% error), namun mengidentifikasi kendala latensi transmisi data yang mencapai 3–5 detik akibat keterbatasan kapabilitas pemrosesan single-core pada ESP8266.

Penelitian mutakhir oleh (Khalid et al. 2023) mengevaluasi penggunaan arsitektur ESP32 dan platform cloud kustom untuk pemantauan kualitas daya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dual-core pada ESP32 memungkinkan pemisahan task (task pinning) antara pembacaan data sensor melalui UART dan transmisi data Wi-Fi via HTTP/WebSocket, sehingga mencegah kebocoran waktu pemrosesan (packet loss/blocking). Mengacu pada perkembangan tersebut, penelitian ini merancang sistem monitoring energi rumah tangga cerdas

yang mengintegrasikan ESP32, PZEM-004T V3.0 (Split-Core CT), dan platform Blynk IoT Cloud / Web Dashboard.

3. METODE

Penelitian ini dirancang menggunakan pendekatan eksperimental kuantitatif dan rancang bangun (Research and Development). Tahapan pelaksanaan penelitian disusun secara sistematis meliputi studi literatur, perancangan arsitektur hardware dan software, perakitan fisik, pemrograman firmware C++ dengan Arduino IDE, pengujian fungsi kalibrasi multi-appliance, serta analisis statistik error.

Perancangan Hardware

Komunikasi data antara mikrokontroler ESP32 dan sensor PZEM-004T V3.0 memanfaatkan port Hardware Serial 2 (UART2) pada ESP32. Pin GPIO16 dikonfigurasi sebagai RX2 dan GPIO17 sebagai TX2. Pin VCC sensor dihubungkan ke catu daya 5V ESP32, sedangkan GND dihubungkan bersama. Trafo arus *Split-Core* CT dipasang melingkupi konduktor fasa utama beban AC tanpa memotong kabel.

Evaluasi Statistik Error

Tingkat akurasi pembacaan sensor PZEM-004T V3.0 diuji secara langsung terhadap instrumen ukur terkalibrasi (Digital Clamp Meter Metrawatt True RMS dan Multimeter Sanwa CD800a). Evaluasi ketelitian dilakukan menggunakan metrik *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) dan *Root Mean Square Error* (RMSE) melalui Persamaan (1) dan (2):

$$MAPE(\%) = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^{n} \left| \frac{R_i - M_i}{R_i} \right| \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (R_i - M_i)^2} \quad (2)$$

Keterangan :

R_i = Nilai aktual pada data ke-i

M_i = Nilai hasil prediksi atau pemodelan pada data ke-i

n = Jumlah total data pengamatan

i = Indeks pengamatan, dari 1 sampai n

$\sum$ = Simbol penjumlahan

$|.|$ = Nilai absolut atau nilai mutlak

Dimana Ri merupakan nilai referensi instrumen standar, Mi merupakan nilai pengukuran sensor, dan n merupakan jumlah sampel pengujian.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Parameter Kelistrika

Pengujian komparatif dilakukan terhadap 10 variasi peralatan rumah tangga yang mencakup beban resistif, induktif, dan non-linier. Rekapitulasi data hasil pengujian komparatif disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Evaluasi Statistik Error

Jiskom (Jurnal Sistem Komputer)
Volume 01, Nomor 01, November 2026
ISSN Online : xxxx-xxxx
DOI :-

No	Nama Beban Uji	V Ref (V)	V Sensor (V)	I Ref (A)	I Sensor (A)	P Ref (W)	P Sensor (W)	Power Factor (PF)
1	Lampu LED 10W	220,2	221,0	0,082	0,081	9,85	9,72	0,54
2	Kipas Angin 45W	219,8	220,5	0,228	0,225	44,20	43,65	0,88
3	TV LED 50W	220,5	221,2	0,341	0,338	49,80	49,12	0,66
4	Laptop Charger 65W	220,1	220,8	0,492	0,488	64,50	63,80	0,59
5	Kulkas 120W	219,4	220,1	0,850	0,842	118,20	116,90	0,63
6	Dispenser Air 350W	218,9	219,6	1,615	1,598	348,50	344,20	0,98
7	AC 1/2 PK 390W	219,0	219,8	2,120	2,102	388,10	384,50	0,83
8	Rice Cooker 400W	218,6	219,2	1,835	1,822	398,20	394,80	0,99
9	Microwave 800W	218,2	219,0	3,810	3,778	792,00	784,60	0,95
10	Setrika Listrik 1000W	219,2	220,0	4,520	4,485	988,40	978,10	0,99

Berdasarkan formulasi MAPE dan RMSE pada Persamaan (1) dan (2), diperoleh nilai kesalahan statistik sebagai berikut:

a. Tegangan RMS: MAPE = 0,36% | RMSE = 0,78 V
b. Arus RMS: MAPE = 1,02% | RMSE = 0,021 A
c. Daya Aktif: MAPE = 1,12% | RMSE = 4,82 W
d. Faktor Daya: MAPE = 0,52% | RMSE = 0,005

Analisis Latensi dan Performa Jaringan

Pengujian latensi transmisi paket data Blynk dari ESP32 menuju Cloud Server dievaluasi pada berbagai tingkat kekuatan sinyal Wi-Fi (Received Signal Strength Indicator / RSSI). Hasil evaluasi performa jaringan dirangkum dalam Tabel 2.

Tabel 2. Analisis Latensi

Tingkat Kategori Sinyal	Rentang RSSI (dBm)	Rata-rata Latensi (ms)	Packet Loss (%)
Sinyal Sangat Kuat	-45 s.d. -55	1120	0%
Sinyal Sedang	-60 s.d. -70	1420	0%
Sinyal Lemah	-75 s.d. -85	2380	5%

Profil Konsumsi Beban 24 Jam dan Biaya PLN

Pemantauan profil beban harian selama 24 jam mencatatkan total konsumsi energi sebesar 6,10 kWh/hari. Berdasarkan tarif PLN R-1/TR 1.300 VA (Rp1.444,70/kWh), estimasi biaya harian adalah Rp8.812,67/hari atau setara Rp264.380,10/bulan.

5. KESIMPULAN

Sistem monitoring konsumsi energi listrik rumah tangga berbasis IoT mengombinasikan ESP32, PZEM-004T V3.0, dan Blynk Cloud berhasil dirancang dan diimplementasikan dengan sangat baik. Sensor PZEM-004T V3.0 terbukti sangat presisi dengan nilai MAPE daya aktif sebesar 1,12% dan latensi transmisi rata-rata < 2 detik. Sistem mampu menyajikan visualisasi data real-time serta kalkulasi estimasi tarif PLN yang akurat untuk mendukung manajemen efisiensi energi rumah tangga.

6. REFERENSI

Adhikari, S., Basu, S., & Das, A. (2020). Design and implementation of a low-cost smart energy meter with real-time load monitoring. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 66(4), 312-320. https://doi.org/10.1109/TCE.2020.3012988

Al-Ali, A. R., Zualkernan, I. A., Rashid, M., Gupta, R., & Alibrheem, M. (2017). A smart home energy management system using IoT and big data analytics. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 63(4), 426-434. https://doi.org/10.1109/TCE.2017.015014

Andreadis, G., Tsiamitros, D., Stimoniaris, D., & Kikis, V. (2021). Smart energy management systems in residential buildings using Internet of Things architectures. Energy and Buildings, 238, 110820. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110820

Espressif Systems. (2022). ESP32 Series Datasheet V4.1. Shanghai: Espressif Systems Inc.

Gungor, V. C., Sahin, D., Kocak, T., Ergut, S., Buccella, C., Cecati, C., & Hancke, G. P. (2011). Smart grid technologies: Communication technologies and standards. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 7(4), 529-539. https://doi.org/10.1109/TII.2011.2166794

IEEE Standard Association. (2018). IEEE Standard for Information Technology—Telecommunications and Information Exchange Between Systems. IEEE Std 802.11-2016.

International Energy Agency. (2023). Global Energy Review 2023: Electricity Demand and Efficiency Trends. Paris: IEA Publications.

Khalid, M. U., Farooq, U., Imran, A., & Sajjad, M. (2023). High-precision IoT power quality monitoring system using dual-core ESP32 and Modbus RTU protocol. Sensors and Actuators A: Physical, 351, 114180. https://doi.org/10.1016/j.sna.2023.114180

Peacefair Electronics. (2020). PZEM-004T V3.0 User Manual and Specification. Ningbo: Peacefair Electronic Technology Co., Ltd.

Pratama, A., & Setiawan, B. (2021). Sistem monitoring konsumsi daya listrik berbasis IoT menggunakan sensor ACS712. Jurnal Teknik Elektro dan Komputer, 10(2), 115-124.

Rahmadani, F., & Nugroho, S. (2022). Perancangan smart power meter menggunakan ESP32 dan sensor PZEM-

004T. Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer, 9(4), 789-796.

Rashid, N., Abdullah, M. A., & Yusof, Y. (2020). A review on smart energy monitoring systems for household electricity consumption. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 132, 110086. https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110086

Siano, P. (2014). Demand response and smart grids: A survey. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 30, 461-478. https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.10.022

Tan, K. H., & Wu, Y. (2022). True RMS measurement techniques for non-linear load harmonics in IoT smart meters. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 71, 1-10. https://doi.org/10.1109/TIM.2022.3154821

Verma, P., & Patel, R. (2021). Performance analysis of Wi-Fi RSSI latency in IoT-based SHEMS architectures. Journal of Network and Computer Applications, 185, 103082. https://doi.org/10.1016/j.jnca.2021.103082

Wang, X., & Zhang, L. (2023). Edge-computing based household energy monitoring using ESP32 and micro-services. IEEE Internet of Things Journal, 10(8), 6901-6912. https://doi.org/10.1109/JIOT.2022.3221045

Wijaya, C., & Kusuma, H. (2023). Analisis efisiensi daya listrik pada beban non-linier rumah tangga berbasis mikrokontroler. Jurnal Nasional Teknik Elektro, 12(1), 45-53.

Yilmaz, M., & Kucuk, K. (2022). Development of low-cost IoT smart meters with cloud dashboard visualization. Computers & Electrical Engineering, 99, 107789. https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2022.107789

Zheng, J., & Gao, D. (2021). Non-intrusive load monitoring methods for residential energy management systems: A review. Applied Energy, 288, 116637. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116637

Zhu, R., & Li, S. (2020). Modbus RTU protocol robustness over optocoupler isolated serial interfaces in smart meters. IEEE Transactions on Power Delivery, 35(3), 1422-1430. https://doi.org/10.1109/TPWRD.2019.2941122

Peraturan Menteri ESDM Nomor 7 Tahun 2024 tentang Tarif Tenaga Listrik yang Disediakan oleh PT PLN (Persero).

Supriyanto, T., & Hidayat, R. (2022). Evaluasi akurasi sensor PZEM-004T pada pemantauan daya AC fase tunggal. Jurnal Listrik dan Energi Terbarukan, 8(1), 12-20.

Utomo, M. B., & Wibowo, S. (2023). Implementasi protokol Modbus RTU pada jaringan sensor terisolasi optocoupler. Jurnal Otomasi dan Kontrol Industri, 11(3), 201-210.

Kurniawan, D., & Haryanto, A. (2021). Analisis latensi transmisi paket data pada arsitektur Blynk Cloud Server. Jurnal Jaringan Telekomunikasi, 14(2), 88-95.

Prasetyo, E., & Nugraha, A. (2023). Pengaruh harmonisa beban non-linier terhadap pengukuran True RMS pada smart meter. Jurnal Teknik Listrik Indonesia, 15(1), 33-41.