

Sistem Monitoring dan Pengendalian Beban Listrik Rumah Tangga Berbasis IoT

Alisha Gita Gumilang^{1*}, Desi Yulinar², Moh. Wahyu Aminullah³, Yasin Ardaisi⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Elektro, Universitas Tridinanti, Indonesia

e-mail : *alisha@univ-tridinanti.com

ABSTRAK

Peningkatan penggunaan energi listrik rumah tangga menuntut sistem monitoring dan pengendalian yang efektif guna mencegah pemborosan energi serta meningkatkan keamanan instalasi listrik. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem pengendali dan monitoring beban listrik rumah tangga berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu memantau tegangan, arus, dan daya secara real-time serta dapat dikontrol melalui smartphone menggunakan aplikasi Telegram. Sistem dirancang menggunakan mikrokontroler yang terintegrasi dengan modul WiFi Wemos D1 R1, sensor PZEM-004T sebagai pendeteksi tegangan, arus, dan daya, serta relay sebagai aktuatur untuk pengendalian beban. Data hasil pembacaan sensor diproses oleh mikrokontroler, kemudian dikirim melalui Wemos D1 R1 ke aplikasi Telegram dengan akun "Monitor_IoT". Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor dapat bekerja pada tegangan input minimal 80 V. Selisih pengukuran terbesar antara sensor dan alat ukur terjadi pada 80 V dengan pembacaan 81,26 V (selisih 1,26 V), sedangkan selisih terkecil terjadi pada 220 V dengan pembacaan 220,06 V (selisih 0,06 V). Sistem monitoring arus dan kontrol beban listrik melalui Telegram dapat berfungsi dengan baik sesuai perancangan. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan mampu melakukan monitoring dan pengendalian beban listrik rumah tangga secara efektif dan real-time berbasis IoT.

Kata Kunci: IoT, monitoring listrik, PZEM-004T, Wemos D1 R1, kontrol beban

IoT-Based System for Monitoring and Controlling Household Electricity Load

ABSTRACT

The increasing use of household electrical energy requires an effective monitoring and control system to prevent energy waste and improve electrical safety. This study aims to design and develop an Internet of Things (IoT)-based household electrical load monitoring and control system capable of monitoring voltage, current, and power consumption in real time and controlling loads via a smartphone using the Telegram application. The system employs a microcontroller integrated with a Wemos D1 R1 WiFi module, a PZEM-004T sensor to measure voltage, current, and power, and a relay as an actuator for load control. Sensor data are processed by the microcontroller and transmitted through the Wemos D1 R1 to a Telegram account named "Monitor_IoT". Testing results show that the sensor operates at a minimum input voltage of 80 V. The largest measurement deviation occurred at 80 V with a sensor reading of 81.26 V (difference of 1.26 V), while the smallest deviation occurred at 220 V with a reading of 220.06 V (difference of 0.06 V). The monitoring and load control system functioned properly during testing via Telegram. Therefore, the developed system effectively performs real-time monitoring and control of household electrical loads based on IoT technology.

Keywords: IoT, electrical monitoring, PZEM-004T, Wemos D1 R1, load control

PENDAHULUAN

Pemantauan dan pengendalian beban listrik rumah tangga menjadi aspek penting dalam manajemen energi modern. Peningkatan konsumsi energi listrik yang tidak diimbangi dengan sistem pemantauan yang baik dapat menyebabkan penggunaan energi yang tidak efisien serta pemborosan [1]. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem yang mampu memberikan informasi penggunaan listrik secara real-time, akurat, dan dapat diakses dari jarak jauh. Teknologi Internet of Things (IoT) telah berkembang pesat dan

banyak diterapkan dalam berbagai bidang seperti smart city, industri, dan sistem monitoring cerdas [2]–[4]

Penerapan IoT dalam monitoring energi listrik memungkinkan integrasi antara sensor, mikrokontroler, dan platform berbasis internet sehingga data konsumsi listrik dapat dipantau secara langsung dan berkelanjutan. Penggunaan modul PZEM-004T yang dikombinasikan dengan ESP32 terbukti mampu mengukur parameter listrik seperti tegangan, arus, dan daya secara akurat serta menampilkan hasilnya secara real-time [5]. Selain itu, sistem monitoring juga dapat dimanfaatkan untuk analisis konsumsi energi guna meningkatkan efisiensi penggunaan listrik [6].

Pengembangan lebih lanjut menunjukkan bahwa sistem tidak hanya berfungsi untuk monitoring, tetapi juga dapat dilengkapi dengan metode cerdas. Pendekatan fuzzy Tsukamoto dapat digunakan untuk pengendalian penggunaan energi secara otomatis [7], sedangkan metode Long Short-Term Memory (LSTM) mampu melakukan prediksi konsumsi energi listrik di masa mendatang sehingga membantu dalam pengambilan keputusan yang lebih optimal [8].

Pengembangan sistem monitoring energi juga didukung oleh teknologi komunikasi dan jaringan IoT yang memungkinkan pengiriman data secara efisien dan real-time. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa teknologi IoT memiliki keunggulan dalam hal konektivitas, efisiensi energi, serta skalabilitas sistem [9]–[11]. Selain itu, pengembangan sistem monitoring energi listrik berbasis IoT dengan antarmuka berbasis React mampu meningkatkan visualisasi data dan interaksi pengguna sehingga informasi konsumsi listrik menjadi lebih mudah dipahami [12].

Penelitian lain juga menunjukkan bahwa pemanfaatan sensor PZEM-004T yang dikombinasikan dengan mikrokontroler seperti ESP8266 dapat menghasilkan sistem monitoring konsumsi daya listrik dengan tingkat akurasi yang baik [13]. Implementasi sistem monitoring daya listrik satu fasa berbasis IoT pada rumah tangga juga telah dilakukan untuk memantau penggunaan energi secara lebih terstruktur [14]. Selain itu, integrasi sistem monitoring dan pengendalian beban pada kWh meter Prabayar berbasis IoT memungkinkan pengguna untuk mengontrol serta mengoptimalkan penggunaan energi listrik secara lebih efektif [15].

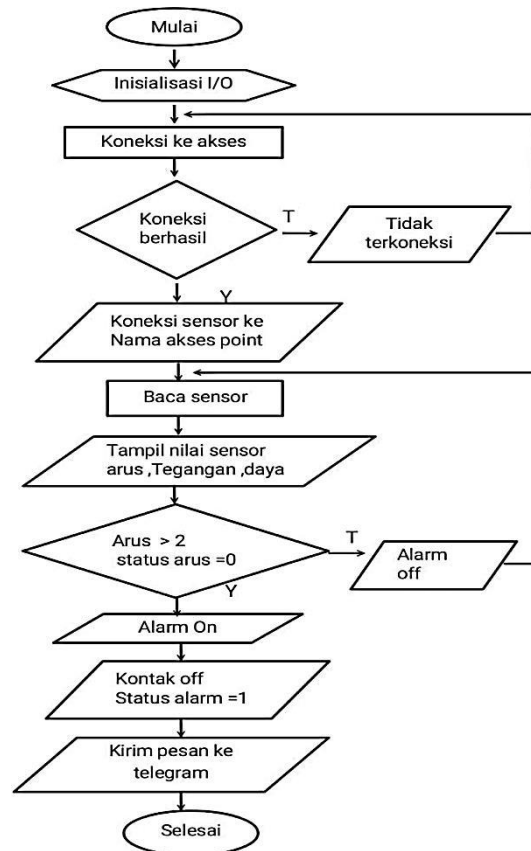
Berdasarkan berbagai penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring energi listrik berbasis IoT memiliki potensi yang besar dalam meningkatkan efisiensi penggunaan energi, baik dari sisi pemantauan, pengendalian, maupun visualisasi data secara real-time. Meskipun berbagai penelitian tersebut telah menunjukkan keberhasilan dalam pemantauan dan analisis konsumsi energi listrik, sebagian besar sistem masih berfokus pada fungsi monitoring atau menggunakan platform tertentu seperti aplikasi Blynk maupun antarmuka berbasis web. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan sistem monitoring dan pengendalian beban listrik rumah tangga berbasis IoT dengan integrasi aplikasi Telegram sebagai media monitoring dan kendali yang lebih ringan, fleksibel, dan mudah diakses tanpa memerlukan aplikasi tambahan khusus. Pendekatan ini diharapkan dapat memberikan solusi yang lebih praktis dalam pengelolaan energi listrik rumah tangga secara real-time. Kontribusi utama dan kebaruan penelitian ini terletak pada penggabungan tiga fungsi sekaligus dalam satu sistem berbiaya rendah, yaitu monitoring parameter listrik secara real-time, proteksi beban lebih (overload) otomatis berbasis ambang arus melalui pemutusan relay, serta kendali dua arah jarak jauh melalui Telegram tanpa aplikasi tambahan, yang sebagian besar belum dibahas secara terpadu pada penelitian sejenis.

METODE PENELITIAN

Perancangan sistem monitoring dan pengendalian beban listrik rumah tangga berbasis IoT ini dilakukan melalui pendekatan perancangan dan pengujian sistem (design and experimental method). Metode ini diawali dengan perancangan perangkat keras (hardware), dilanjutkan dengan pengembangan perangkat lunak (software), kemudian integrasi sistem, dan diakhiri dengan pengujian kinerja alat secara langsung. Alur kerja sistem dirancang berdasarkan blok diagram untuk memastikan setiap proses berjalan secara sistematis dan terstruktur, diagram blok penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1

Berdasarkan blok diagram pada Gambar 2, sistem diawali dengan proses inisialisasi input/output (I/O) pada mikrokontroler dan modul komunikasi. Selanjutnya, perangkat melakukan koneksi ke jaringan akses (WiFi). Apabila koneksi gagal, sistem akan mengulang proses hingga berhasil terhubung. Setelah koneksi berhasil, sensor PZEM-004T diaktifkan untuk membaca parameter listrik berupa tegangan, arus, dan daya.





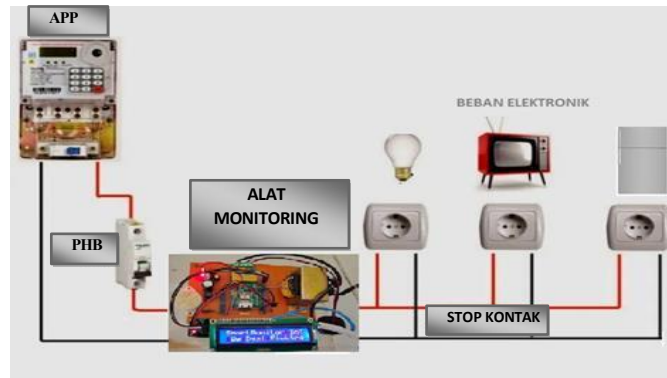
Gambar 1. Diagram Alir Rancang Bangun Sistem

Data hasil pembacaan sensor kemudian ditampilkan dan diproses oleh mikrokontroler. Sistem melakukan pengecekan kondisi arus, di mana apabila nilai arus melebihi batas yang telah ditentukan ($\text{ arus } > 2 \text{ A}$ dan $\text{ status arus } = 0$), maka alarm akan aktif dan relay (kontak) akan memutus beban listrik sebagai bentuk pengamanan. Selain itu, sistem akan mengirimkan notifikasi peringatan melalui aplikasi Telegram. Sebaliknya, apabila kondisi arus normal, alarm tetap dalam keadaan tidak aktif dan sistem terus melakukan monitoring secara berulang.

Ambang arus 2 A ditetapkan berdasarkan arus pengenalan MCB 2 A pada sambungan listrik PLN satu fasa golongan daya terkecil 450 VA, yang diperoleh dari perhitungan $I = S/V = 450\text{VA} / 220 \text{ V} \approx 2,05 \text{ A} \approx 2 \text{ A}$, sehingga konsisten dengan rating MCB rumah tangga [16][17]. Nilai ambang ini berfungsi sebagai proteksi dini berbasis perangkat lunak sebelum MCB fisik bekerja, dan bersifat dapat dikonfigurasi sesuai daya langganan pengguna (misalnya 4 A untuk 900 VA dan 6 A untuk 1300 VA)[18]. Untuk beban induktif dengan arus awal (*inrush current*) yang tinggi, ambang dapat dilengkapi dengan waktu tunda (*time delay*) singkat, sehingga lonjakan arus sesaat tidak memicu pemutusan beban yang tidak diinginkan. Selanjutnya dilakukan perancangan atau desain perangkat keras berdasarkan blok diagram yang diilustrasikan pada Gambar 2.

Diagram pengawatan pada gambar tersebut menunjukkan sistem distribusi listrik satu fasa yang dimonitor dan dikendalikan menggunakan alat IoT. Sumber listrik berasal dari APP (Alat Pengukur dan Pembatas/kWh meter) yang terhubung ke PHB (Panel Hubung Bagi) sebagai pengaman dan pembagi daya. Dari PHB, jalur fasa (ditandai warna merah) dan netral (warna hitam) dialirkan menuju alat IoT yang berfungsi sebagai pemantau sekaligus pengendali beban. Setelah melewati alat IoT, listrik didistribusikan ke beberapa stop kontak yang terhubung paralel. Beban elektronik seperti lampu, televisi, dan kulkas dipasang pada stop kontak tersebut. Karena rangkaianannya paralel, setiap beban mendapatkan tegangan yang sama dan dapat bekerja secara independen. Alat IoT pada sistem ini berperan untuk

memantau parameter listrik seperti arus, tegangan, atau daya, serta memungkinkan pengendalian beban secara jarak jauh atau otomatis sesuai kebutuhan



Gambar 2. Diagram Pengawatan Beban Listrik Rumah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Implementasi Perangkat Keras

Pembuatan perangkat keras pada Sistem Monitoring dan Pengendalian Beban Listrik Rumah Tangga Berbasis IoT menggunakan mikrokontroler Wemos D1 R1 sebagai pusat kendali sistem yang telah terintegrasi modul WiFi ESP8266. Pengukuran parameter kelistrikan, meliputi tegangan, arus, daya, dan energi (kWh), dilakukan menggunakan sensor PZEM-004T, dimana pemasangan dilakukan pada jalur beban dengan CT (Current Transformer) untuk pembacaan arus. Data hasil pengukuran dikirim ke Wemos D1 R1 melalui komunikasi serial (UART) untuk diproses. Modul relay ditambahkan sebagai saklar elektronik yang dikendalikan melalui pin digital mikrokontroler untuk memutus atau menghubungkan beban listrik.

Pada perancangan perangkat lunak, sistem diprogram untuk membaca data PZEM-004T secara berkala, mengolah nilai parameter listrik, serta menerapkan logika pengendalian berdasarkan batas daya yang telah ditentukan. Melalui koneksi WiFi pada Wemos D1 R1, data monitoring dikirim ke platform IoT sehingga pengguna dapat memantau konsumsi listrik dan mengendalikan beban secara real-time melalui perangkat smartphone atau web. Integrasi ini memungkinkan sistem bekerja secara otomatis, efisien, dan mendukung konsep pengelolaan energi listrik berbasis smart home. Setelah rangkaian alat kendali dan monitoring beban listrik berbasis IoT berbasis Telegram selesai dirancang, sistem kemudian dioperasikan untuk menghasilkan output sesuai dengan perencanaan. Tahap selanjutnya adalah melakukan pengujian alat guna memastikan bahwa seluruh komponen dapat bekerja dengan baik dan sesuai fungsi. Salah satu pengujian yang dilakukan adalah pengujian tegangan AC untuk memastikan sensor mampu membaca nilai tegangan secara akurat.

Tegangan dari PLN sebesar 220 V AC terlebih dahulu dikondisikan dan dikonversi menjadi tegangan DC agar sesuai dengan kebutuhan mikrokontroler Wemos D1 R1 yang beroperasi pada rentang 5–12 V DC. Setelah proses pengujian dilakukan, langkah berikutnya adalah menganalisis hasil pengukuran untuk mengetahui tingkat akurasi sistem serta mengidentifikasi kelebihan dan kelemahan alat yang telah dirancang.

B. Hasil Pengujian Rangkaian dan Sensor

Selanjutnya dilakukan pengujian pada beberapa titik rangkaian, yaitu keluaran trafo, setelah diode bridge, dan setelah regulator. Hasil pengukuran tersebut disajikan dalam tabel hasil pengujian power supply untuk memastikan tegangan yang dihasilkan sesuai dengan perencanaan dan sistem dapat bekerja dengan baik. Hasil pengujian rangkaian power supply ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Rangkaian *Power Supply*

Catu Daya	Pengujian Ke-	Vout nameplate (volt)	Vout alat ukur (volt)	Selisih (volt)
Power regulator 5V	1	5V	5V	0
	2	5V	5V	0
	3	5V	5V	0
	4	5V	5V	0
	5	5V	5V	0

Hasil pengujian power supply ditampilkan pada Tabel 1, yang membandingkan nilai tegangan keluaran dengan nilai tegangan yang diharapkan. Dari hasil pengukuran diatas dapat disimpulkan bahwa tegangan yang dihasilkan sangat stabil dan sesuai kriteria yang diinginkan yaitu pada range 4,5 – 5,5 Volt DC dengan nilai rata-rata tegangan Output sebesar 5 Volt DC . *Output DC* dari rangkaian *Power Supply* digunakan sebagai input untuk LCD, Sensor PZEM-004T dan Mikrokontroler Wemos D1 RI . Sedangkan untuk type tegangan 220V AC, digunakan untuk inputan awal dari *Power Supply* dan sebagai pembacaan inputan tegangan dari sensor PZEM-004T.

Kemudian dilakukan pengujian pembacaan sensor tegangan dilakukan secara variasi dengan range inputan tegangan dari 60 V – 240 V AC type 1 phase. Tegangan yang diukur ditampilkan pada display lcd dan dibandingkan menggunakan alat ukur multimeter digital. Hasil pengujian dari pembacaan sensor tegangan ditunjukkan pada Tabel 2. dan pengujian tegangan terhadap beban ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor Tegangan

Dengan Alat Ukur Voltmeter	Sensor Tegangan
60	Error
80	81,26
110	111,01
120	120,92
140	140,75
160	160,58
180	180,40
200	200,23
220	220,06
240	240,89

Tabel 3. Pengujian Arus dan Tegangan Terhadap Beban

Beban	Hasil Pengujian IoT			Hasil Pengujian Protipe
	Tegangan (V)	Arus(A)	Daya	
Lampu 10W	230V	0,04A	10W	231V
Kipas Angin 60W	230V	0,26A	61,30W	231V
Magic Com 85W	223V	0,40A	89,50W	223V

Selanjutnya dilakukan pengujian pembacaan sensor arus dengan memberikan beban berupa peralatan rumah tangga pada stop kontak yang telah disiapkan. Peralatan yang digunakan meliputi lampu, kipas angin, magic com, setrika, kulkas, mesin cuci, dan televisi, yang masing-masing memiliki variasi daya listrik berbeda. Setiap beban dioperasikan secara bergantian untuk memperoleh nilai arus yang terukur pada masing-masing perangkat. Adapun hasil pengujian pembacaan arus dari setiap beban tersebut disajikan pada Tabel 4, menunjukkan hasil pengujian arus terhadap beban.

Tabel 4. Hasil Pengujian Sensor Arus

Beban	Arus pada Amper Meter	Arus pada Sensor Pzem
Lampu 10 W	0,06	0,04
Lampu 100W	0,40	0,41
Kipas Angin 60 W	0,27	0,27
Magic Com 85 W	0,38	0,40
Setrika 300 W	1,33	1,32
TV 60 W	0,36	0,34
Kulkas 100 W	0,39	0,42
Mesin Cuci 330 W	1,44	1,41

Pengujian daya dilakukan pada berbagai beban elektronik dengan variasi kapasitas daya yang berbeda untuk mengetahui tingkat keakuratan hasil pengukuran sistem. Beban yang digunakan merupakan peralatan elektronik rumah tangga, seperti lampu, kipas angin, televisi, dan perangkat lainnya. Hasil pengambilan data pembacaan daya pada masing-masing beban tersebut kemudian disajikan dalam bentuk Tabel 5. Berdasarkan hasil pengukuran didapatkan daya pada masing-masing beban yang terukur sangat bervariasi. Hasil nilai daya pada beban dan daya yang terukur oleh sensor beberapa beban cukup jauh perbandingannya. Hal ini dikarenakan umumnya nilai yang tertulis pada beban merupakan nilai pembulatan pabrik.

Tabel 5. Hasil Pengujian Daya

Beban	Daya pada Beban	Daya pada Sensor
Lampu	10 W	10,10
Lampu	100 W	98,40
Kipas Angin	60 W	62,20
Magic Com	85 W	89,50
Setrika	300 W	296,50
TV	60 W	61,60
Kulkas	100 W	97,60
Mesin cuci	330 W	317,00

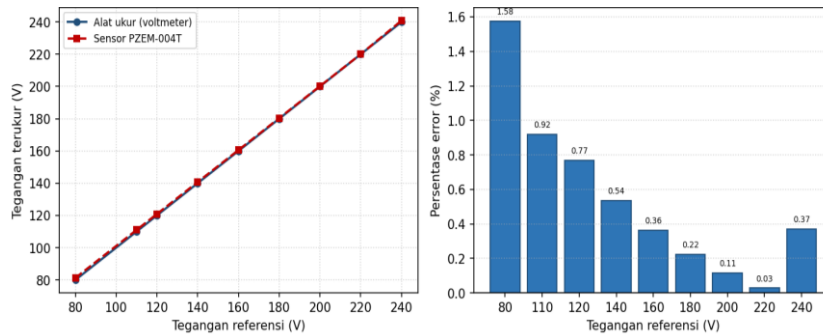
Analisis Deviasi Pengukuran, Faktor Daya, dan Karakteristik Beban

(a) Sumber error dan pola deviasi tegangan.

Deviasi pembacaan sensor tidak bersifat acak, melainkan mengikuti pola yang dapat dijelaskan. Pada pengujian sensor tegangan pada Tabel 2, selisih terhadap alat ukur mengecil seiring tegangan mendekati nilai nominal jaringan, yaitu dari +1,58% pada 80 V menjadi hanya +0,03% pada 220 V, kemudian meningkat kembali menjadi +0,37% pada 240 V. Pola ini menunjukkan bahwa sensor PZEM-004T terkalibrasi optimal di sekitar tegangan kerja nominal 220–230 V, sehingga akurasi tertinggi diperoleh pada rentang tersebut dan menurun di kedua ujung rentang ukur. Pada 60 V sensor tidak mampu membaca (*error*) karena berada di bawah tegangan kerja minimumnya ± 80 V.

Secara kuantitatif, rata-rata error absolut pembacaan sensor tegangan terhadap alat ukur sebesar 0,68 V atau setara dengan rata-rata persentase error sebesar 0,54%, sedangkan pada pengujian arus (Tabel 4) rata-rata error absolutnya sebesar 0,018 A. Pada pengukuran arus, galat persentase rata-rata (MAPE) tercatat 7,15%; namun nilai ini didominasi oleh beban berarus sangat kecil (lampu 10 W), dan apabila beban terkecil tersebut dikecualikan MAPE turun menjadi 3,41%, sehingga akurasi sensor membaik pada arus yang lebih besar. Rekapitulasi galat pengukuran tegangan dan arus selengkapnya disajikan pada Tabel 7 dan Tabel 8. Nilai error yang kecil ini menegaskan bahwa sensor memiliki tingkat akurasi yang baik pada rentang ukurnya. Perbandingan pembacaan sensor tegangan terhadap alat ukur beserta persentase error-nya secara grafis ditunjukkan pada Gambar 3.





Gambar 3. (a) Perbandingan pembacaan tegangan sensor PZEM-004T terhadap alat ukur dan (b) persentase error tegangan

(b) Deviasi arus pada beban kecil

Pada pengujian arus yang ditunjukkan pada Tabel 4, deviasi relatif terbesar justru terjadi pada beban berarus sangat kecil, yaitu pada lampu 10 W (0,06 A pada amperemeter terhadap 0,04 A pada sensor). Hal ini disebabkan keterbatasan resolusi dan linearitas *current transformer* pada ujung bawah rentang ukurnya, meskipun selisih absolutnya kecil yaitu 0,02 A, secara persentase menjadi besar. Pada beban berarus lebih besar seperti setrika (1,33/1,32 A) dan mesin cuci (1,44/1,41 A), deviasi relatifnya kecil di bawah 3%, yang menegaskan bahwa akurasi sensor membaik pada arus yang lebih tinggi.

(c) Pengaruh faktor daya

Perbedaan antara daya tertera (*nameplate*) dan daya terukur pada Tabel 5 dipengaruhi oleh faktor daya beban. Sensor PZEM-004T mengukur daya nyata $P = VI \cos \varphi$, bukan sekadar daya semu. Pada beban resistif/pemanas seperti lampu dan setrika yang memiliki faktor daya mendekati satu, daya terukur sangat dekat dengan nilai nameplate dengan deviasi 1–1,6%. Sebaliknya, pada beban yang faktor dayanya lebih rendah atau memiliki mode kerja berbeda, hubungan antara arus dan daya tidak lagi linear sederhana sehingga deviasinya membesar.

(d) Pengaruh karakteristik beban induktif

Karakteristik beban induktif menjelaskan deviasi yang lebih besar pada kipas angin, kulkas, dan mesin cuci. Beban bermotor menarik arus magnetisasi (komponen reaktif) sehingga faktor dayanya kurang dari satu, dan daya nyatanya berubah-ubah mengikuti beban mekanis serta siklus kerja kompresor (khususnya kulkas dan mesin cuci). Akibatnya, daya yang terukur pada satu titik waktu dapat berbeda dari nilai nameplate; deviasi terbesar di antara beban bermotor tercatat pada mesin cuci yaitu –3,94%. Adapun magic com yang memiliki dua mode kerja (memasak dan menghangatkan) menunjukkan deviasi positif sebesar +5,29%, karena daya aktual saat pengujian berbeda dari daya nominal mode hangat. Secara keseluruhan, rata-rata deviasi pengukuran daya sebesar $\pm 2,72\%$ ditunjukkan pada Tabel 6, masih berada dalam rentang akurasi tipikal sensor PZEM-004T, sehingga sistem dinilai cukup akurat untuk keperluan monitoring rumah tangga

Tabel 6. Persentase Deviasi Pengukuran Daya terhadap Nilai Nameplate

Beban	Daya Nameplate (W)	Daya Sensor (W)	Deviasi (%)
Lampu	10	10,10	+1,00
Lampu	100	98,40	–1,60
Kipas Angin	60	62,20	+3,67
Magic Com	85	89,50	+5,29
Setrika	300	296,50	–1,17
TV	60	61,60	+2,67
Kulkas	100	97,60	–2,40
Mesin Cuci	330	317,00	–3,94
Rata-rata deviasi			2,72

Tabel 7. Galat Pengukuran Tegangan (berdasarkan Tabel 2)

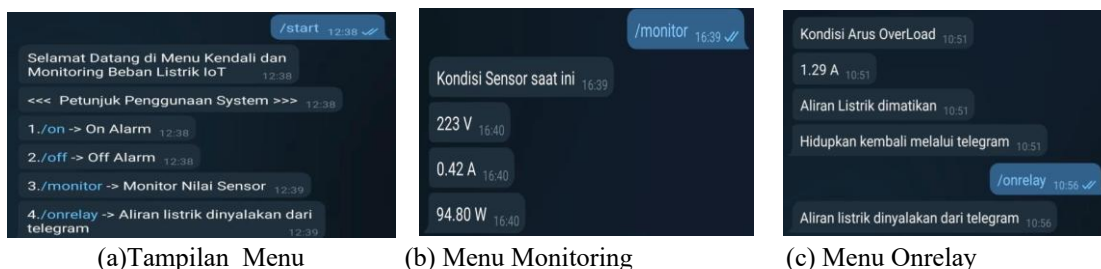
Voltmeter (V)	Sensor (V)	Galat absolut (V)	Galat (%)
80	81,26	1,26	+1,58
110	111,01	1,01	+0,92
120	120,92	0,92	+0,77
140	140,75	0,75	+0,54
160	160,58	0,58	+0,36
180	180,40	0,40	+0,22
200	200,23	0,23	+0,12
220	220,06	0,06	+0,03
240	240,89	0,89	+0,37
Rata-rata (MAE / MAPE)		0,68	0,54

Tabel 8. Galat Pengukuran Arus (berdasarkan Tabel 4)

Beban	Amperemeter (A)	Sensor (A)	Galat absolut (A)	Galat (%)
Lampu 10 W	0,06	0,04	0,02	33,33
Lampu 100 W	0,40	0,41	0,01	2,50
Kipas Angin 60 W	0,27	0,27	0,00	0,00
Magic Com 85 W	0,38	0,40	0,02	5,26
Setrika 300 W	1,33	1,32	0,01	0,75
TV 60 W	0,36	0,34	0,02	5,56
Kulkas 100 W	0,39	0,42	0,03	7,69
Mesin Cuci 330 W	1,44	1,41	0,03	2,08
Rata-rata (MAE / MAPE)			0,018	7,15

C. Pengujian IoT

Pengujian sistem monitoring dan kendali pemakaian listrik rumah tangga berbasis IoT dilakukan menggunakan smartphone melalui aplikasi Telegram. Prototipe terlebih dahulu dihubungkan ke sumber tegangan AC dan dikoneksikan ke jaringan WiFi dengan mengatur SSID serta password sesuai akses point. Setelah terhubung, beban elektronik pada stop kontak dapat diaktifkan untuk dilakukan proses monitoring dan pengendalian. Pengguna kemudian membuka Telegram dan mencari channel atau bot “Monitor_IoT”, lalu menekan *Start*. Sistem akan secara otomatis menampilkan menu perintah untuk monitoring dan kendali beban secara real-time. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 4 berupa menu pada tampilan di screen telegram. Pada menu berisikan 4 perintah, berupa /on untuk menyalakan alarm, /off untuk mematikan alarm monitor untuk memantau beban listrik berupa lampu 100 Watt, /onrelay untuk menghidupkan kembali aliran listrik,



Gambar 4. Tampilan system monitoring berbasis Telegram: (a) Tampilan Menu, (b) Menu Monitoring, dan (c) Menu Onrelay

Selain pengujian tampilan menu, diamati pula respons sistem dan kestabilan komunikasi antara perangkat dengan aplikasi Telegram selama pengujian berlangsung. Setiap perintah yang dikirim melalui

Telegram (/monitor, /onrelay, dan /off) direspons oleh sistem secara real-time, yaitu relay berubah keadaan dan notifikasi balasan diterima dalam waktu singkat, sehingga proses monitoring dan pengendalian dapat dilakukan tanpa hambatan yang berarti. Selama pengujian, koneksi WiFi relatif stabil; apabila sinyal sempat terganggu, mikrokontroler Wemos D1 R1 melakukan penyambungan ulang (reconnect) secara otomatis sesuai alur pada Gambar 1, sehingga proses monitoring dapat dilanjutkan tanpa intervensi pengguna. Hal ini menunjukkan bahwa pemanfaatan Telegram sebagai antarmuka kendali tidak hanya menampilkan menu, tetapi juga mampu memberikan respons kontrol yang cukup cepat dan komunikasi yang memadai untuk keperluan monitoring dan pengendalian beban listrik rumah tangga secara real-time.

Pengujian dilakukan untuk mendapatkan data dan kemudian data tersebut diolah oleh mikrokontroler Wemos D1 R1 selanjutnya menghasilkan suatu output yang dapat dianalisa. Output dari hasil pengujian dapat ditampilkan pada Display LCD berukuran 2*16 selanjutnya dibandingkan dengan alat ukur berupa multi meter digital, Pengujian ini dimaksudkan untuk memverifikasi kesesuaian kinerja sistem terhadap spesifikasi alat.

Dibandingkan dengan penelitian terdahulu, tingkat akurasi sistem yang dikembangkan setara dengan sistem monitoring energi berbasis sensor PZEM-004T yang telah dilaporkan sebelumnya, yang umumnya menghasilkan galat pengukuran pada kisaran beberapa persen [5],[6],[13], [14]. Perbedaan utama penelitian ini terletak pada penambahan fungsi kendali dan proteksi beban: sebagian besar penelitian terdahulu berfokus pada pemantauan konsumsi daya saja [1],[5],[6],[13], sedangkan sistem pada penelitian ini melengkapinya dengan pemutusan beban otomatis melalui relay ketika arus melampaui ambang, serta antarmuka kendali jarak jauh dua arah melalui Telegram. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memvalidasi keakuratan pengukuran yang sebanding dengan literatur, tetapi juga memberikan kontribusi pada aspek pengamanan instalasi listrik rumah tangga yang belum banyak dibahas pada penelitian sejenis.

Secara spesifik, kontribusi penelitian ini terletak pada tiga aspek yang jarang dipadukan pada satu sistem rumah tangga:

- (1) Proteksi dini berbasis perangkat lunak yang ambang arusnya diturunkan dari rating MCB (2 A untuk 450 VA) dan dapat dikonfigurasi mengikuti daya langganan (mis. 4 A untuk 900 VA, 6 A untuk 1300 VA), sehingga sistem dapat memutus beban sebelum MCB fisik bekerja
- (2) Kendali dua arah (monitoring sekaligus pemutusan/penyambungan relay) melalui Telegram tanpa memerlukan aplikasi atau server khusus, berbeda dengan penelitian terdahulu yang sebagian besar hanya memantau atau bergantung pada platform Blynk/web
- (3) Analisis deviasi pengukuran yang dikaitkan dengan faktor daya dan karakteristik beban, bukan sekadar pelaporan nilai galat. Gabungan ketiga aspek inilah yang membedakan penelitian ini dari sekadar penambahan fitur.

KESIMPULAN

Dari serangkaian pengujian yang dilakukan, diperoleh kesimpulan bahwa sistem monitoring dan pengendalian beban listrik rumah tangga ini mampu menyajikan informasi tegangan, arus, dan daya secara waktu nyata (real-time). Melalui jaringan internet, pengguna dapat melakukan pemantauan dan pengendalian sistem dari jarak jauh dengan memanfaatkan aplikasi Telegram. Sensor PZEM-004T yang digunakan diketahui hanya mampu membaca tegangan input minimal 80 V AC, karena pada saat pengujian di tegangan 60 V sensor tidak dapat melakukan pembacaan (error). Secara keseluruhan, sistem ini berperan penting dalam membantu pengaturan beban listrik serta mengurangi risiko terjadinya beban lebih pada saat puncak pemakaian. Adapun saran untuk pengembangan selanjutnya adalah penambahan database pada sistem agar data hasil monitoring dapat tersimpan meskipun data pada aplikasi terhapus. Selain itu, untuk meningkatkan tingkat akurasi pengukuran, disarankan menggunakan sensor tegangan dan arus dengan spesifikasi yang lebih baik sehingga mampu membaca tegangan di bawah 80 V AC.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Magfirah and D. Widhiantoro, "Sistem Monitoring Biaya Konsumsi Listrik Rumah Tangga Berbasis IoT," *Spektral*, vol. 5, no. 1, pp. 232–238, 2024.
- [2] A. Zanella *et al.*, "Internet of Things for Smart Cities," *IEEE Internet Things J.*, vol. 1, no. 1, pp. 22–32, 2014.
- [3] G. Fortino and P. Trunfio, Eds., *Internet of Things Based on Smart Objects: Technology*,

- Middleware and Applications*, 1st ed. Cham: Springer, 2014. doi: 10.1007/978-3-319-00491-4.
- [4] H. Boyes, B. Hallaq, J. Cunningham, and T. Watson, "The industrial internet of things (IIoT): Analysis framework," *Comput. Ind.*, vol. 101, no. December 2017, pp. 1–12, 2018, doi: 10.1016/j.compind.2018.04.015.
- [5] K. A. Yasa, I. M. Purbhawa, I. M. S. Yasa, I. W. Teresna, A. Nugroho, and S. Winardi, "IoT-based Electrical Power Recording using ESP32 and PZEM-004T Microcontrollers," *J. Comput. Sci. Technol. Stud.*, vol. 5, no. 4, pp. 62–68, 2023, doi: 10.32996/jcsts.
- [6] K. Daya, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Energi Listrik Berbasis IoT Untuk Pemantauan dan Analisis," *JMTE J. Mhs. Tek. Elektro*, vol. 6, no. 2, pp. 76–87, 2025.
- [7] F. . Luthfy and R. Kurniawan, "Implementasi Internet of Things (IoT) untuk monitoring dan kontrol energi listrik rumah tangga menggunakan fuzzy Tsukamoto," *CESS J. Comput. Eng. Syst. Sci.*, vol. 11, no. 1, pp. 178–192, 2026.
- [8] M. . Amir Putra, H. Saputra, and H. Ami, "Sistem Monitoring Dan Prediksi Konsumsi Listrik Menggunakan Metode Long Short-Term Memory (LSTM) Berbasis Internet Of Things (IOT)," *JUPITER J. Penelit. Ilmu dan Teknol. Komput.*, vol. 17, no. 3, pp. 953–964, 2025.
- [9] S. Li, L. Da Xu, and S. Zhao, "The internet of things : a survey," *Inf. Syst. Front.*, vol. 17, no. 2, pp. 243–259, 2014, doi: 10.1007/s10796-014-9492-7.
- [10] A. Augustin, J. Yi, T. Clausen, and W. M. Townsley, "A Study of LoRa : Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things," *Sensors (Basel)*, vol. 16, no. 9, pp. 1–18, 2016, doi: 10.3390/s16091466.
- [11] M. Patel and J. Wang, "Applications, challenges, and prospective in emerging body area networking technologies," *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 1, no. 1, pp. 80–88, 2010.
- [12] M. Basri, A. Yudhana, and A. Fadlil, "Sistem monitoring dan estimasi konsumsi listrik berbasis IoT dengan antarmuka React," *CESS J. Comput. Eng. Syst. Sci.*, vol. 10, no. 2, pp. 530–539, 2025.
- [13] M. T. Muslihi, "Pengembangan dan Evaluasi Sistem Monitoring Konsumsi Daya Listrik Berbasis IoT dengan Sensor PZEM-004T dan ESP8266," *J. Fasilkom*, vol. 15, no. 1, pp. 77–83, 2025.
- [14] A. A. Pradana, P. Yulianto, and S. Indriyanto, "PERANCANGAN SISTEM MONITORING DAYA LISTRIK 1 FASA PADA RUMAH TANGGA BERBASIS INTERNET OF THINGS (IoT)," *J. SINTA Sist. Inf. dan Teknol. Komputasi*, vol. 1, no. 1, pp. 1–9, 2024.
- [15] S. Handayani, Z. Zulfahri, D. Setiawan, and M. Marzuarma, "Analisis pemanfaatan sistem pengendali dan monitoring beban pada KWh meter Prabayar R-1 berbasis IoT," *Multitek Indones. J. Ilm.*, vol. 18, no. 1, pp. 57–71, 2024.
- [16] H. Riva, A. Setiawan, U. Pamulang, and K. T. Selatan, "SISTEM MONITORING DAN PROTEKSI OVERLOAD DENGAN LOAD SHEDDING BERBASIS IOT PADA," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 14, no. 2, pp. 240–252, 2026.
- [17] F. Seda *et al.*, "Penerapan Standar Instalasi Tenaga Listrik Satu Fasa Golongan Tarif R1 pada Rumah Tinggal di Kota Kupang Nusa Tenggara Timur menyalurkan daya listrik dan sebagai memenuhi kebutuhan manusia dalam kehidupannya," *J. Impresi Indones. (JII)*, vol. 5, no. 4, pp. 1657–1672, 2026.
- [18] E. Dongaran, Y. Ananda, and L. A. Srg, "Perancangan Alat Proteksi Arus Lebih Rumah Tinggal Type 36 Dengan Menggunakan Setpoint Waktu Berbasis Mikrokontroler Node MCU," *JTELS Journals Telecommun. Electr. Sci.*, vol. 2, no. 2, 2025, doi: 10.24010/jtels.v2i02.1264.

