

Rancang Bangun Sistem Monitoring Biaya Penggunaan Listrik PLN Pada Rumah Tangga Berbasis IoT

Muhammad Rizky Fahryan¹, Marson Ady Putra², Erry Yadie³

¹²³Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda
marson@polnes.ac.id

Abstrak- Meningkatnya penggunaan energi listrik pada rumah tangga memerlukan sistem monitoring yang mampu menyajikan informasi konsumsi listrik secara real-time dan mudah diakses. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem monitoring biaya penggunaan listrik PLN berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32 dan sensor PZEM-004T. Sensor PZEM-004T digunakan untuk mengukur parameter listrik berupa tegangan, arus, daya, dan energi, sedangkan ESP32 berfungsi memproses data dan mengirimkannya ke platform ThingsBoard serta menampilkannya pada LCD 20×4. Pengujian sistem dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur referensi pada beberapa variasi beban. Hasil pengujian menunjukkan nilai error rata-rata sebesar 1,84% untuk tegangan, 4,32% untuk arus, 5,5% untuk daya, dan untuk energi 4,7%. Selain itu, hasil monitoring selama satu bulan menunjukkan total konsumsi energi listrik sebesar 148,94 kWh dengan biaya penggunaan listrik sebesar Rp201.266. Berdasarkan hasil penelitian, sistem yang dirancang mampu melakukan pengukuran, pencatatan konsumsi energi, serta monitoring biaya listrik secara real-time dengan tingkat akurasi yang baik.

Kata kunci: Sensor, real-time, IoT, biaya listrik

I. PENDAHULUAN

Kualitas suplai listrik merupakan aspek fundamental dalam sistem distribusi tenaga listrik, terutama untuk memastikan keandalan operasional perangkat elektronik dan infrastruktur. Namun, fluktuasi tegangan seperti lonjakan (*over voltage*) atau penurunan (*undervoltage*) sering terjadi secara tiba-tiba pada jaringan distribusi tegangan rendah (220V AC). Dalam standart Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) standar *Undervoltage* yaitu -10% dan *Overvoltage* yaitu +5% (Persyaratan Umum Instalasi Listrik, 2000). Untuk mengatasi gangguan Over Voltage dan Under Voltage dibuatlah alat Prototype Penstabil Tegangan Untuk Mengatasi Gangguan Over/Under Voltage Berbasis Arduino UNO.

Gangguan ini tidak hanya mengganggu kinerja peralatan listrik tetapi juga berpotensi merusak sistem secara permanen jika melebihi batas toleransi tegangan nominal. Meskipun *recloser* (pemutus otomatis) telah digunakan sebagai proteksi standar pada tiang distribusi, sistem ini belum mampu memberikan respons spesifik berbasis data real-time, sehingga pemantauan masih terpusat di gardu kontrol dan respons seringkali tertunda. Penelitian ini merancang sistem *Over/Under Voltage Time Lag Relay* 1 Fase berbasis Arduino Uno, yang

mengintegrasikan sensor PZEM- 004T untuk pengukuran tegangan dan arus secara presisi.

Sistem ini dirancang untuk mendeteksi gangguan tegangan secara real-time, dengan relay sebagai aktuator pemutus daya yang diaktifkan setelah periode *time lag* (0.5 – 5 detik) guna menghindari respons keliru akibat fluktuasi sesaat. SMPS (*Switched-Mode Power Supply*) digunakan untuk menstabilkan catu daya ke mikrokontroler dan sensor, sementara LCD dan *keypad* menyediakan antarmuka lokal untuk menampilkan data tegangan, arus, serta mengatur parameter batas proteksi. Indikator LED memberikan visualisasi status jaringan melalui warna berbeda (hijau: normal, kuning: *undervoltage*, merah: *overvoltage*), memungkinkan diagnosa cepat tanpa ketergantungan pada sistem pusat. Kombinasi komponen ini menghasilkan sistem proteksi mandiri yang tidak hanya meningkatkan respons terhadap gangguan tegangan tetapi juga menyediakan pemantauan *real-time* melalui antarmuka interaktif. Dengan memanfaatkan mikrokontroler Arduino Uno dan sensor PZEM-004T, sistem ini mampu mengidentifikasi gangguan secara akurat dan mengamankan jaringan sebelum kerusakan terjadi.

Hasil pengujian menggunakan VARIAC dan sumber PLN rumah menunjukkan kemampuan alat dalam mendeteksi fluktuasi tegangan serta memutus daya secara otomatis sesuai parameter yang ditetapkan. Keberadaan fitur *time lag* pada relay juga memastikan stabilitas operasi dengan mencegah gangguan palsu (*false trip*), sehingga sistem ini menjadi solusi efektif untuk meningkatkan keandalan jaringan.

Distribusi tegangan rendah. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem proteksi tegangan rendah berbasis mikrokontroler Arduino Uno dan sensor PZEM-004T yang mampu mendeteksi gangguan secara real-time, memutus daya secara otomatis, serta menampilkan data pemantauan melalui antarmuka interaktif. Diharapkan sistem ini dapat meningkatkan keandalan distribusi listrik, mengurangi risiko kerusakan peralatan, serta memberikan solusi praktis dan ekonomis bagi pengguna jaringan listrik tegangan rendah. Sistem ini juga diharapkan dapat mempermudah proses pemantauan dan penanganan gangguan secara lebih efektif. [1].

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Teori Dasar.

Penelitian ini berlandaskan pada sejumlah penelitian yang dijadikan sebagai bahan kajian dan perbandingan dalam pengembangan sistem pada penelitian berjudul Rancang Bangun Sistem Monitoring Biaya Penggunaan Listrik PLN pada Rumah Tangga Beserta Waktu Pemakaiannya Berbasis IoT. Dari hasil kajian tersebut, penulis memperoleh pemahaman mengenai berbagai metode dan teknologi yang digunakan dalam sistem monitoring listrik, yang kemudian dijadikan dasar untuk merancang sistem yang lebih efektif dan informatif.

Penelitian berjudul “Rancang Bangun dan Implementasi Sistem Monitoring Pemakaian Daya Listrik Berbasis *Internet of Things* (IoT)” yang dilakukan oleh Arni Litha, Misnawati, Ibrahim Abduh, Kurnia Ilahi, dan A. Raiza Amini dari Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang [2]. Membahas perancangan sistem yang mampu memantau penggunaan daya listrik secara *real time* dan jarak jauh melalui platform ThingsBoard berbasis IoT. Sistem ini menampilkan berbagai parameter kelistrikan, meliputi tegangan, arus, daya, dan energi listrik, serta memberikan estimasi biaya penggunaan. Melalui pemanfaatan teknologi IoT dan aplikasi ThingsBoard, pengguna dapat memantau sekaligus mengontrol konsumsi listrik rumah tangga atau rumah kos kapan pun dan di mana pun selama perangkat terhubung ke jaringan internet.

Penelitian berjudul “Rancang Bangun Alat Monitoring Daya Listrik *Real-Time* Berbasis ESP32, Sensor PZEM 004T dan INA 219 Dengan *Interface LabVIEW*” yang dilakukan oleh Wiguna Persada Putra, RR. Sri Poernomo Sari, Mohamad Yamin, Tri Mulyanto, Bambang Suryawan, Supriyono a, Adhika Enggar Pamungkas Program Studi Magister Teknik Mesin, Universitas Gunadarma, Tangerang Selatan [3]. Penelitian ini mengembangkan sistem monitoring daya listrik dengan ESP32 sebagai pusat kendali dan sensor PZEM-004T untuk mendeteksi besaran listrik AC seperti tegangan, arus, daya, energi, dan faktor daya. Berkat kemampuan Wi-Fi pada ESP32, data pengukuran dapat dikirim ke LabVIEW dan ditampilkan secara *real time*. Sistem ini memudahkan pengguna dalam mengawasi penggunaan listrik secara efisien, baik di rumah tangga maupun di industri. Integrasi antara ESP32 dan PZEM-004T terbukti mampu menghasilkan pemantauan daya listrik yang akurat dan dapat diakses jarak jauh melalui jaringan nirkabel.

Dari berbagai penelitian yang membahas sistem monitoring daya listrik berbasis *Internet of Things* (IoT), dapat disimpulkan bahwa sistem ini memudahkan proses pemantauan dan pengendalian penggunaan listrik secara *real time* serta jarak jauh. Berdasarkan temuan tersebut, penelitian berjudul “Rancang Bangun Sistem Monitoring Biaya Penggunaan Listrik PLN pada Rumah Tangga Berbasis IoT” dikembangkan sebagai penyempurnaan sistem terdahulu dengan menambahkan fitur perhitungan biaya, notifikasi ketika penggunaan mendekati limit pemakaian energi dan waktu pemakaian agar informasi yang disajikan lebih lengkap dan mudah dimanfaatkan oleh pengguna.

B. Parameter Parameter Listrik AC

Arus bolak-balik atau yang dikenal dengan listrik AC (*Alternating Current*) merupakan jenis arus listrik yang

besarnya, arah, dan polaritasnya berubah-ubah secara periodik terhadap waktu. Pada sistem listrik AC terdapat beberapa parameter utama yang menjadi acuan, yaitu tegangan (V), arus (I), daya (W), energi (J), dan frekuensi (Hz). Setiap parameter tersebut memiliki fungsi dan karakteristik tersendiri yang akan dijelaskan pada bagian berikutnya [4].

C. KWH Meter

KWh meter merupakan perangkat yang digunakan untuk menghitung jumlah energi listrik yang terpakai. Prinsip kerja alat ini didasarkan pada induksi medan magnet, di mana medan magnet tersebut menggerakkan piringan berbahan aluminium. Alat ukur daya listrik atau Watt-meter/kWh meter dirancang sedemikian rupa sehingga kumparan tegangannya dapat berputar bebas, sehingga energi listrik dapat diukur dalam satuan Wh (*watt hour*) maupun kWh (*kilowatt hour*). Dalam kehidupan sehari-hari, baik di sektor industri maupun rumah tangga, konsumsi energi listrik dinyatakan dalam satuan kilowatt-hour (kWh). Oleh karena itu, perangkat yang digunakan untuk mengukur pemakaian energi tersebut dikenal dengan sebutan Watt-hour meter. Tagihan listrik bulanan biasanya dihitung berdasarkan angka yang tercatat pada kWh meter. Saat ini, jenis kWh meter induksi masih menjadi satu-satunya tipe yang dipakai untuk menghitung daya listrik pada rumah tangga [6]. KWH meter dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kwh Meter [6].

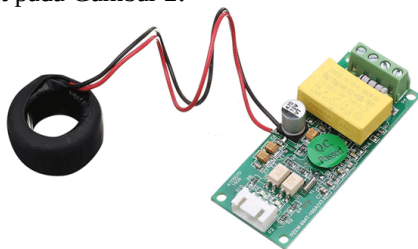
D. PZEM-004T

PZEM-004T adalah modul sensor yang dapat digunakan untuk mengukur nilai tegangan, arus, dan daya aktif dalam satuan RMS. Sensor ini dapat dihubungkan dengan mikrokontroler seperti Arduino maupun platform berbasis *open source* lainnya. Ukuran papan PZEM-004T adalah $3,1 \times 7,4$ cm, dan dilengkapi trafo arus dengan diameter 3 mm yang mampu mendeteksi arus maksimum hingga 100 ampere [7].

PZEM-004T merupakan modul sensor yang berfungsi untuk mengukur berbagai parameter listrik, seperti tegangan

(voltage), arus (current), daya (power), frekuensi (frequency), energi (energy), serta faktor daya (power factor). Dengan fitur yang cukup lengkap, modul ini sangat ideal digunakan untuk proyek maupun eksperimen pengukuran daya listrik pada instalasi rumah tangga atau bangunan.

Sistem pengkabelan PZEM-004T terdiri atas dua bagian utama, yaitu terminal pengukuran tegangan dan arus, serta jalur komunikasi serial. Modul ini juga dilengkapi pin TTL yang berfungsi untuk mendukung komunikasi data serial antarperangkat keras. Apabila pengguna ingin menghubungkan PZEM-004T dengan perangkat seperti komputer yang memiliki port USB atau RS-232, maka dibutuhkan kabel konverter TTL ke USB atau TTL ke RS-232. Bentuk fisik modul PZEM-004T dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Modul PZEM 004T [7].

E. Modul ESP 32

ESP32 adalah mikrokontroler yang berfungsi mengatur kerja rangkaian elektronik serta telah dilengkapi dengan fitur Wi-Fi dan Bluetooth terintegrasi. Mikrokontroler ini memiliki banyak pin I/O yang dapat dimanfaatkan untuk membangun sistem monitoring dan kontrol. Selain itu, modul ESP32 mampu menghubungkan berbagai mikrokontroler ke jaringan Wi-Fi, baik untuk menjalankan aplikasi lokal maupun mengelola fungsi jaringan secara langsung [7].

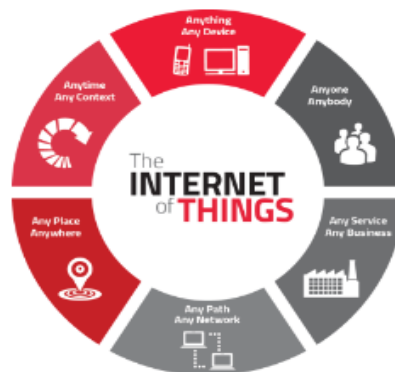
Dalam sistem IoT (*Internet of Things*), NodeMCU ESP32 berperan penting dalam memungkinkan komunikasi nirkabel antara pengguna dan perangkat untuk proses pemantauan serta pengendalian jarak jauh. Konfigurasi jaringan pada ESP32 dapat disesuaikan sesuai kebutuhan sistem. Bentuk fisik dari mikrokontroler ini ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Modul ESP32 [7].

F. IoT

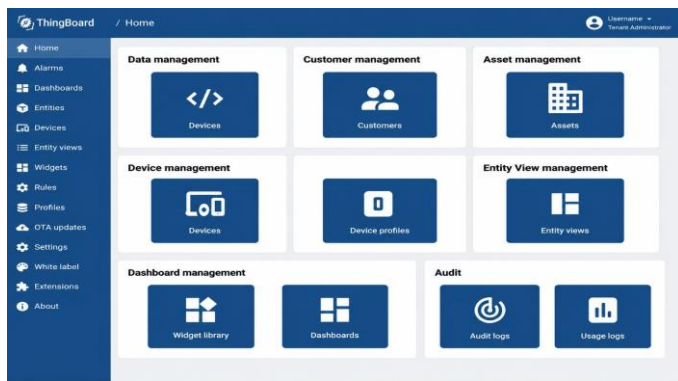
Internet of Things (IoT) merupakan jaringan infrastruktur global yang bersifat dinamis dan memiliki kemampuan konfigurasi berdasarkan standar protokol komunikasi. IoT dilengkapi dengan sistem identitas, atribut fisik, karakteristik tertentu, serta antarmuka cerdas yang saling terhubung dan terintegrasi dalam sebuah jaringan informasi. Secara sederhana, IoT dapat dipahami sebagai teknologi yang menghubungkan dunia virtual dengan objek nyata. Mekanisme kerjanya dilakukan dengan cara membaca data dari sensor yang dipasang pada benda fisik, kemudian mengirimkan data tersebut ke server. Sensor yang digunakan dapat berupa sensor tegangan, arus, radio *frequency identification* (RFID), maupun sensor lain yang berfungsi seperti pancaindra manusia, misalnya sensor cahaya, gerakan, tekanan, atau suara. Dalam sistem IoT, objek yang dilengkapi sensor juga dibekali kemampuan untuk memberikan respons sesuai instruksi yang dikirimkan server melalui pengendali.[8]. Ilustrasi IoT dapat dilihat pada Gambar 4



Gambar 4. Ilustrasi Internet Of Things [8].

G. Thingsboard

ThingsBoard adalah *platform open source* dalam bidang *Internet of Things* (IoT) yang memiliki fungsi utama meliputi manajemen perangkat, pengumpulan, pemrosesan, dan visualisasi data. Platform ini mendukung koneksi antar perangkat dengan memanfaatkan protokol standar industri, antara lain HTTP, CoAP, dan MQTT. Penyimpanan data dapat dilakukan secara lokal maupun melalui layanan cloud. Selain itu, ThingsBoard memenuhi standar skalabilitas, toleransi kesalahan, dan performa tinggi sehingga menjamin keandalan dan meminimalkan kehilangan data. Untuk pengiriman data, ThingsBoard menyediakan dua opsi: menggunakan jaringan Wi-Fi atau jaringan seluler 3G/4G/5G. Pengiriman ini dilakukan dengan bantuan library PubSubClient [9]. Data yang sudah diterima kemudian diproses dan ditampilkan pada Dashboard dalam bentuk grafik maupun chart. Tampilan ThingsBoard dapat dilihat pada Gambar 5



Gambar 5. Thingsboard [10].

H. Power supply

Power supply merupakan perangkat keras yang berfungsi untuk mengonversi serta menyalurkan daya listrik dari sumber utama, seperti stopkontak, ke berbagai komponen elektronik dalam suatu sistem. Pada komputer, *power supply* bekerja dengan mengubah arus bolak-balik (AC) dari sumber listrik menjadi arus searah (DC) yang digunakan oleh komponen seperti motherboard, *hard drive*, dan perangkat lainnya. Fungsi utamanya adalah menyediakan tegangan yang stabil, aman, dan sesuai kebutuhan setiap komponen agar sistem dapat beroperasi secara optimal [11]. Bentuk fisik modul *Power supply* dapat dilihat pada Gambar 6.

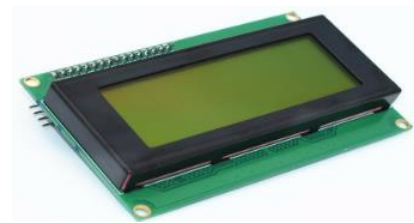


Gambar 6. Power Supply [11].

I. Lcd 20x4

LCD 20×4 adalah jenis layar kristal cair (*Liquid Crystal Display*) yang berfungsi sebagai penampil informasi berupa tulisan atau gambar. Perangkat ini banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari, seperti pada kalkulator, televisi, layar komputer, maupun perangkat elektronik portabel lainnya.

Untuk menghubungkan LCD dengan komputer atau mikrokontroler, digunakan modul kontrol I2C. Modul ini memiliki empat pin utama, yaitu VCC, GND, SDA, dan SCL, yang digunakan untuk daya dan komunikasi data. Selain itu, modul I2C juga berfungsi untuk mengatur kontras tampilan karakter pada layar LCD. Bentuk LCD 20×24*Liquid Crystal* dapat dilihat pada Gambar 7.

Gambar 7. LCD 20×4 *LiquidCrystal* [7].

J. Buzzer

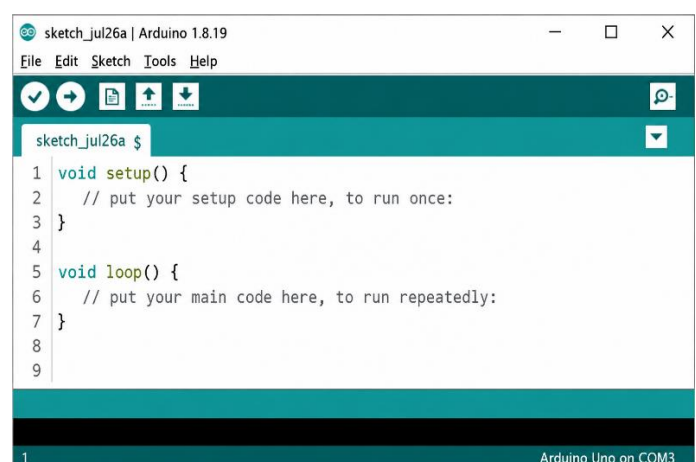
Buzzer adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengubah energi listrik menjadi sinyal suara. Komponen ini sering digunakan sebagai alarm dan indikator suara pada suatu sistem. Cara kerja buzzer memanfaatkan efek piezoelektrik dengan mengalirkan arus listrik ke dalam rangkaian. Bentuk fisik Buzzer dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Buzzer [12].

K. Software Arduino IDE

Integrated Development Environment (IDE) adalah lingkungan pengembangan perangkat lunak yang digunakan untuk membuat dan mengunggah program ke mikrokontroler, seperti ESP8266 NodeMCU. Dalam Arduino IDE, program disebut sketch dan ditulis menggunakan bahasa pemrograman C/C++. File sketch disimpan dengan ekstensi .ino. Tampilan antarmuka Arduino IDE yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Tampilan Awal Aplikasi Arduino IDE [13].

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat Dan Waktu Penelitian

Waktu dan tempat penelitian akan dilaksanakan pada bulan Februari hingga Juni 2026 di Laboratorium Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda, sedangkan pengambilan data dilakukan di JL. AW. Syahrane 4 Blok R Rt 01. Penelitian ini mencakup beberapa tahapan utama, yaitu studi literatur, perancangan alat, pengambilan data, serta analisis hasil penelitian. Seluruh kegiatan tersebut dilakukan secara sistematis untuk mendukung keberhasilan proses perancangan sistem dan mencapai hasil yang sesuai dengan tujuan penelitian. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 10



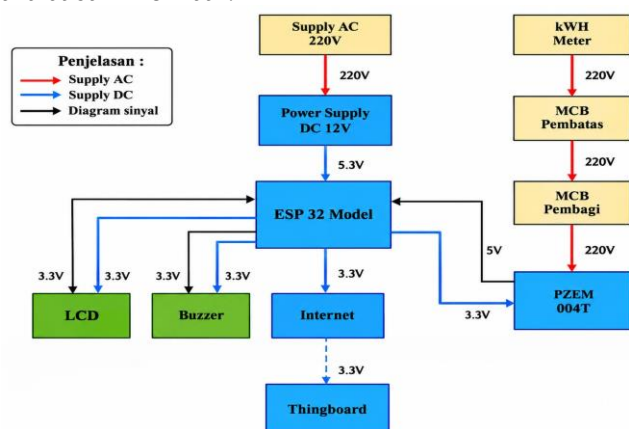
Gambar 10. Lokasi Penelitian.

B. Jenis Data Dan Sumber Data

Dalam penelitian ini digunakan dua metode utama dalam pengumpulan data, yaitu metode studi literatur dan metode konsultasi. Kedua metode tersebut berperan penting dalam memperoleh data teoritis dan data lapangan yang mendukung proses perancangan sistem monitoring biaya penggunaan listrik PLN pada rumah tangga berbasis *Internet of Things* (IoT).

C. Blok Diagram

Agar proses kerja alat dapat dipahami secara sistematis, Gambar 11 menampilkan diagram blok sistem yang menguraikan aliran informasi dari sumber daya listrik sampai data ditampilkan kepada pengguna. Diagram ini menunjukkan bagaimana sensor, mikrokontroler, unit penyimpanan data, dan media tampilan saling terhubung dan beroperasi dalam satu kesatuan untuk menghasilkan sistem monitoring listrik yang akurat dan informatif.

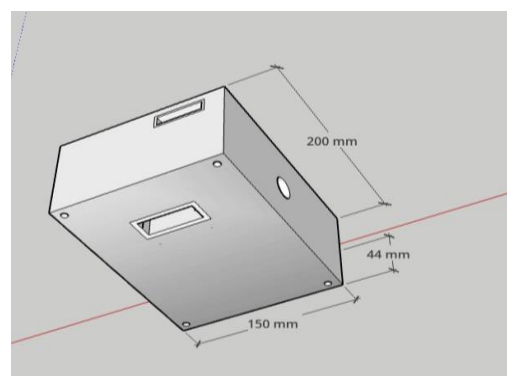


Gambar 11. Blok Diagram.

Diagram blok sistem ini menggambarkan rancangan sistem monitoring penggunaan listrik berbasis Internet of Things (IoT) yang menggunakan ESP32 sebagai pengendali utama dan sensor PZEM-004T sebagai pengukur parameter listrik. Sumber listrik AC 220V dialirkan melalui kWh meter dan MCB sebagai pengaman sebelum digunakan oleh beban dan sensor. Tegangan AC kemudian diubah menjadi tegangan DC menggunakan power supply untuk menyuplai kebutuhan daya pada ESP32, LCD, dan sensor PZEM-004T. Sensor melakukan pengukuran parameter listrik seperti tegangan, arus, daya, energi, dan faktor daya, kemudian hasil pengukuran dikirimkan ke ESP32 melalui komunikasi serial. Selanjutnya, data diproses dan ditampilkan pada LCD sebagai monitoring lokal serta dikirimkan ke platform ThingsBoard melalui koneksi internet untuk pemantauan jarak jauh secara real-time. Dengan demikian, sistem mampu melakukan pengukuran, pengolahan, dan pengiriman data listrik secara terintegrasi sehingga pengguna dapat memantau penggunaan listrik dengan lebih mudah dan efisien.

D. Desain Alat

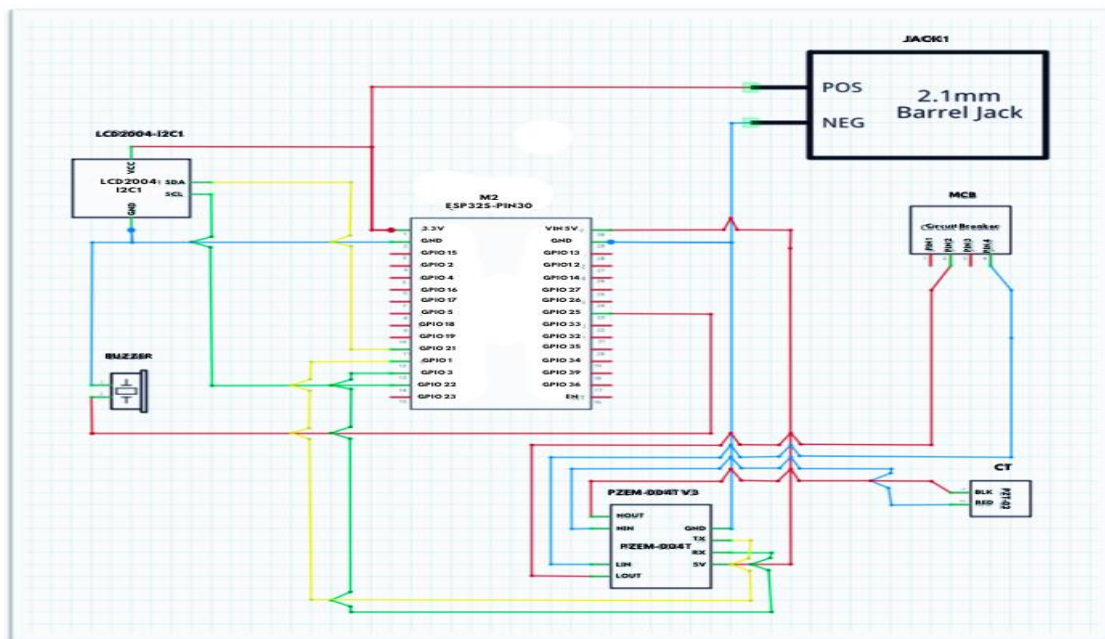
Desain alat monitoring energi dibuat melalui SketchUp dengan ukuran 150 mm (panjang), 44 mm (lebar), dan 200 mm (tinggi). Desain lengkapnya dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Desain Alat.

E. Perancangan Perangkat Keras Keseluruhan (Hardware)

Perancangan sistem ini melibatkan beberapa perangkat, antara lain LCD 20x4 I2C, adaptor 5V 2A, sensor PZEM-004T, dan ESP32 sebagai pemroses utama. Setiap komponen terintegrasi dan terhubung ke ESP32 yang berfungsi sebagai pusat kendali, sehingga mempermudah dalam melihat keterkaitan serta mekanisme kerja keseluruhan sistem. Berikut rangkaian sistematis yang akan memudahkan untuk memahami rangkaian setiap komponen. Rangkaian skematik keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 13.

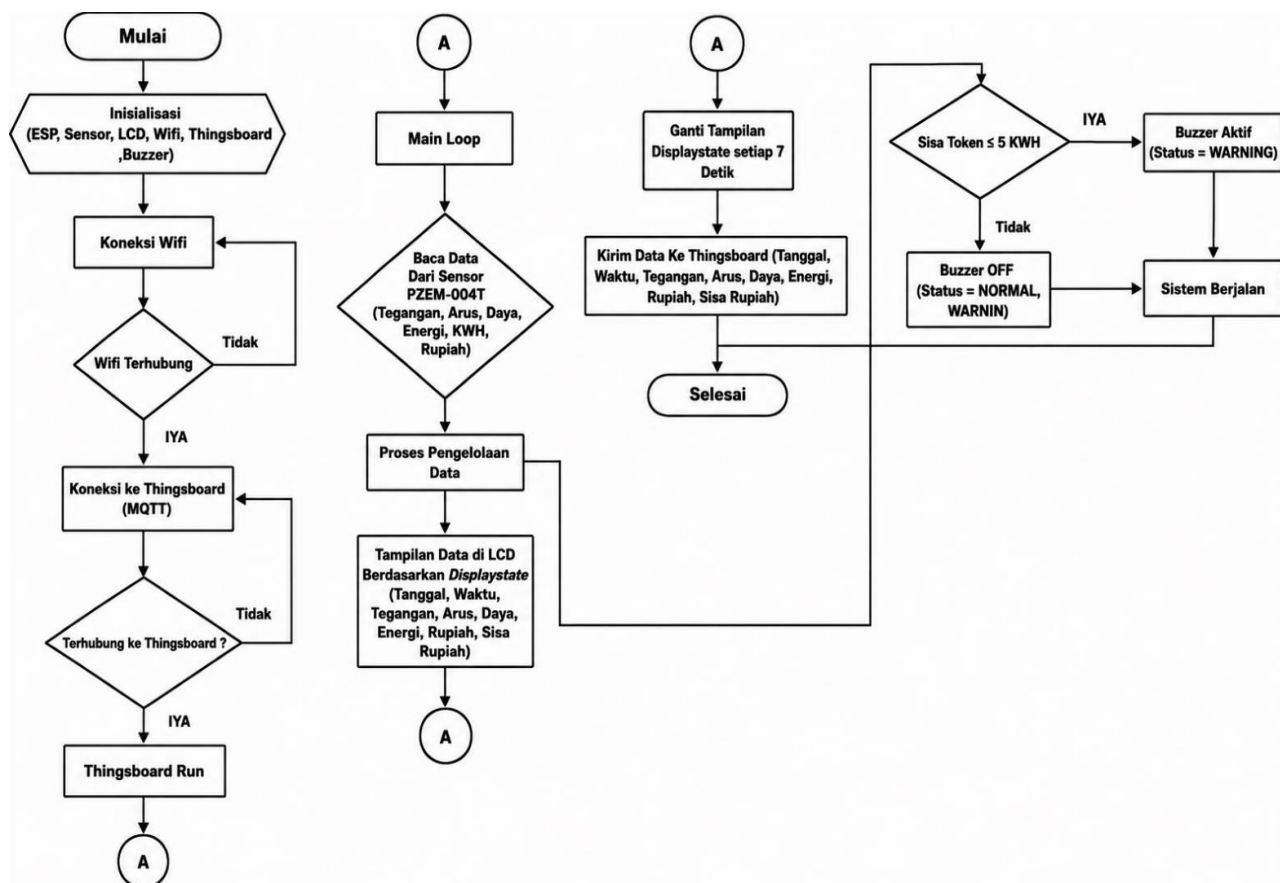


Gambar 13. Diagram Wiring Rangkaian Keseluruhan

f. Flowchart Program Sistem

Dalam tahap perancangan program, disusun suatu rangkaian sistem yang terintegrasi sebagai upaya untuk

menyelesaikan permasalahan yang ada. Hasil perancangan tersebut kemudian diwujudkan dalam bentuk program menggunakan bahasa pemrograman. Alur *Flowchart* dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Flowchart program sistem.

IV. PEMBAHASAN

A. Pengujian Keseluruhan

Pengujian keseluruhan sistem dilakukan untuk memastikan bahwa sistem monitoring listrik dapat beroperasi dengan baik secara menyeluruh. Parameter yang diuji meliputi tegangan, arus, daya, energi, biaya listrik, sisa token, dan counter yang ditampilkan secara real-time. Selama pengujian, sistem dijalankan secara berkesinambungan sehingga seluruh data dapat direkam secara otomatis. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa semua komponen dapat bekerja secara terintegrasi dan mampu menampilkan data dengan akurat serta stabil. Bertambahnya nilai energi dan berkurangnya sisa token sesuai penggunaan daya membuktikan bahwa sistem berjalan sesuai dengan rancangan yang telah dibuat.

B. Hasil Pengujian Data Monitoring Pada Thingsboard

Berdasarkan hasil monitoring penggunaan listrik selama satu bulan, terlihat adanya perbedaan konsumsi energi listrik antara waktu beban puncak dan waktu beban tidak puncak. Pada waktu beban tidak puncak, penggunaan listrik relatif lebih kecil karena beban yang aktif masih sedikit, sehingga nilai arus, daya, dan energi listrik cenderung stabil. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan pemantauan penggunaan energi secara akurat sesuai dengan perubahan beban yang terjadi. Seluruh data monitoring berhasil ditampilkan pada platform ThingsBoard secara real-time dalam bentuk dashboard monitoring. Hasil pengujian pada waktu beban tidak puncak dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Monitoring Penggunaan Listrik pada Waktu Beban Tidak Puncak

No	Waktu	Tegangan V	Arus A	Daya W	Energi kwh	Biaya Rp	Sisa Token KWH	Status
1.	01/05/2026 11:30	220	0.96	167.78	12.9	17,44	282.87	N-PT
2.	02/05/2026 07:30	222	0.94	185.89	17.19	23,23	278.55	N
3.	03/05/2026 11:30	218	0.9	154.4	23.04	31,15	272.65	N
4.	04/05/2026 09:30	223	0.81	138.42	27.25	36,84	268.42	N
5.	05/05/2026 13:30	226	0.66	110.70	32.71	44,22	262.91	N
6.	06/05/2026 09:30	218	0.86	150.27	3.23	4,36	26.36	N
7.	07/05/2026 09:30	-	-	-	-	-	-	P
8.	08/05/2026 03:30	222	1.19	235.46	11.65	15,74	17.94	P
9.	09/05/2026 09:30	-	-	-	-	-	-	P
10.	10/05/2026 09:18	0		93.20	0.00	0	9.13	P
11.	11/05/2026 11:18	221	1.15	189.48	28.8	38,93	8.19	W
12.	12/05/2026 13:18	225	0.79	134.7	32.17	43,49	10.73	N-PT
13.	13/05/2026 11:18	220	0.94	155.91	36.74	49,66	6.16	W
14.	14/05/2026 11:18	222	1.03	178.52	41.88	56,62	38.39	N-PT
15.	15/05/2026 07:18	225	0.89	162.61	45.67	61,74	34.21	N
16.	16/05/2026 13:18	223	0.89	146.55	51.86	70,11	28.02	N

Tabel
Hasil

17.	17/05/2026 09:18	224	0.83	140.73	56.01	75,72	23.87	N
18.	18/05/2026 13:18	222	0.63	102.04	61.39	83,00	18.49	N
19.	19/05/2026 08:49	226	0.86	157.00	65.25	88,21	14.63	N
20.	20/05/2026 08:49	226	0.81	137.49	69.88	94,48	10.00	W
21.	21/05/2026 12:49	220	0.69	114.22	74.9	101,33	4.93	K
22.	22/05/2026 10:49	225	0.91	158.35	78.8	106,62	30.63	N-PT
23.	23/05/2026 08:49	226	0.85	148.65	82.9	112,12	26.56	N
24.	24/05/2026 08:49	223	0.87	144.08	87.5	118,34	21.96	N
25.	25/05/2026 08:49	224	0.37	70.45	91.85	124,185	17.64	N
26.	26/05/2026 08:49	226	0.60	123.61	95.27	128,80	14.23	N
27.	27/05/2026 10:59	228	1.07	206.75	100.47	135,837	9.03	W
28.	28/05/2026 10:59	223	0.96	182.17	106.16	143,527	25.53	N
29.	29/05/2026 08:59	224	0.90	169.33	111.38	150,579	42.50	N-PT
30.	30/05/2026 08:59	225	0.88	163.05	117.12	158,347	36.75	N
31.	31/05/2026 06:59	228	1.11	229.10	122.26	165,294	31.62	N
Monitoring Penggunaan Listrik pada Waktu Beban Puncak								
No	Waktu	Tegangan V	Arus A	Daya W	Energi kwh	Biaya Rp	Sisa Token KWH	Status
1.	01/05/2026 19:30	215	1.54	312.29	14.5	19,601	281.26	N-PT
2.	02/05/2026 21:30	219	1.48	304.01	19.62	26,524	276.1	N
3.	03/05/2026 21:30	220	1.17	235.55	24.78	33,504	270.9	N
4.	04/05/2026 21:30	216	1.43	290.28	29.08	39,315	266.57	N
5.	05/05/2026 17:30	225	0.97	189.83	33.50	41,779	246.01	N
6.	06/05/2026 21:30	220	1.36	278.15	5.32	7,196	24.26	N
7.	07/05/2026 21:30	221	1.15	237.40	10.36	14,012	19.22	N
8.	08/05/2026 21:30	-	-	-	-	-	-	P
9.	09/05/2026 23:18	0	1.44	285.40	20.46	27,659	9.13	P
10.	10/05/2026 19:18	219	1.13	227.38	25.15	34,007	12.42	N-PT
11.	11/05/2026 23:18	220	1.41	280.45	30.94	41,837	6.04	W
12.	12/05/2026 19:18	227	1.14	235.07	33.34	45,070	9.56	W
13.	13/05/2026 23:18	220	1.52	299.55	39.36	53,218	40.52	N-PT
14.	14/05/2026 21:18	221	1.14	229.51	43.49	58,804	36.39	N

2.

15.	15/05/2026 21:18	223	1.54	307.16	48.38	65,410	31.5	N
16.	16/05/2026 21:18	221	1.23	245.88	53.33	72,105	26.55	N
17.	17/05/2026 21:18	222	1.4	278.74	58.08	78,524	21.8	N
18.	18/05/2026 21:18	220	1.45	297.59	62.66	84,718	17.22	N
19.	19/05/2026 20:49	220	1.22	245.40	67.17	90,819	12.71	N
20.	20/05/2026 22:49	223	1.49	306.78	72.21	97,625	7.67	W
21.	21/05/2026 22:49	219	1.17	224.37	76.42	103,315	33.08	N-PT
22.	22/05/2026 22:49	225	1.04	203.05	81	109,506	28.5	N
23.	23/05/2026 00:49	225	1.10	213.99	81.42	110,073	28.08	N
24.	24/05/2026 22:49	223	1.17	234.5	89.93	121,584	19.57	N
25.	25/05/2026 22:49	223	1.02	214.81	93.40	126,275	16.10	N
26.	26/05/2026 22:59	224	1.24	254.72	97.28	131,517	12.22	N
27.	27/05/2026 22:59	224	1.45	296.04	103.16	139,467	6.34	W
28.	28/05/2026 22:59	225	1.33	274.45	108.80	147,093	45.08	N-PT
29.	29/05/2026 22:59	227	1.44	302.47	114.47	154,760	39.41	N
30.	30/05/2026 22:59	223	1.53	319.16	120.03	162,283	33.84	N
31.	31/05/2026 20:59	222	1.49	313.27	125.55	169,747	28.32	N

2)

Berdasarkan Tabel 1 yang menampilkan hasil monitoring penggunaan listrik pada waktu beban tidak puncak dan Tabel 2 yang menampilkan hasil monitoring pada waktu beban puncak, sistem monitoring listrik yang dirancang mampu menampilkan berbagai parameter kelistrikan, seperti tegangan, arus, daya, energi, biaya listrik, sisa token, serta status kondisi sistem. Adapun status yang digunakan pada sistem monitoring listrik adalah sebagai berikut:

Keterangan Status:

N = Normal

N-PT = Normal (Pengisian Token)

W = Warning (Sisa token rendah)

K = Kritis (Sisa token sangat rendah)

P = Pemadaman (Tidak ada suplai listrik)

Selanjutnya, dilakukan perhitungan total konsumsi energi dan biaya listrik selama bulan Mei 2026. Perhitungan tersebut menggunakan data periode 1–5 Mei dan 6–31 Mei yang digabungkan karena adanya gangguan pada sistem monitoring berbasis web selama proses pengambilan data. Adapun perhitungan total energi dan biaya listrik disajikan sebagai berikut.

1) Perhitungan Total Energi Listrik

$$\begin{aligned}\text{Energi Total} &= \text{Energi (1–5 Mei)} + \text{Energi (6–31 Mei)} \\ &= 22,81 \text{ kWh} + 126,13 \text{ kWh} \\ &= 148,94 \text{ kWh}\end{aligned}$$

Perhitungan Total Biaya Listrik

$$\begin{aligned}\text{Biaya Total} &= \text{Total Energi} \times \text{Tarif Dasar Listrik per kWh} \\ &= 148,94 \text{ kWh} \times \text{Rp1.352/kWh} \\ &= \text{Rp201.266}\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, total konsumsi energi listrik selama bulan Mei 2026 sebesar 148,94 kWh dengan total biaya penggunaan listrik mencapai Rp201.266. Hasil monitoring memperlihatkan bahwa penggunaan daya listrik pada periode beban puncak lebih tinggi dibandingkan periode beban tidak puncak. Pada waktu beban puncak, daya yang tercatat berada pada kisaran 189,83–319,16 Watt, sedangkan pada waktu beban tidak puncak berkisar antara 70,45–229,10 Watt. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa pada periode beban puncak terdapat lebih banyak peralatan listrik yang dioperasikan secara bersamaan sehingga kebutuhan daya meningkat.

Peningkatan konsumsi energi tersebut berbanding lurus dengan besarnya biaya penggunaan listrik. Semakin tinggi energi listrik yang dikonsumsi, maka semakin besar pula biaya yang harus dikeluarkan. Oleh karena itu, penggunaan listrik pada waktu beban puncak memberikan kontribusi yang lebih dominan terhadap total konsumsi energi dan biaya listrik selama periode pengamatan. Berdasarkan informasi yang ditampilkan pada dashboard ThingsBoard, pengguna dapat mengetahui tingkat efisiensi penggunaan listrik dengan memantau nilai daya, energi, dan estimasi biaya secara real-time. Apabila nilai daya dan konsumsi energi terus meningkat dalam periode tertentu, terutama pada waktu beban puncak, sehingga diikuti

dengan kenaikan biaya listrik, maka kondisi tersebut dapat menjadi indikasi bahwa penggunaan listrik cenderung boros. Sebaliknya, apabila nilai daya relatif stabil dan konsumsi energi tidak mengalami peningkatan yang signifikan, maka penggunaan listrik dapat dikategorikan lebih efisien. Informasi tersebut dapat dimanfaatkan oleh pengguna sebagai dasar untuk mengevaluasi pola penggunaan listrik di rumah sehingga konsumsi energi dan biaya dapat dikendalikan dengan lebih baik.

Berdasarkan pola penggunaan daya yang diperoleh selama proses monitoring, dapat diindikasikan bahwa peralatan rumah tangga yang memiliki kebutuhan daya relatif besar, seperti AC, rice cooker pada saat proses memasak, setrika, dispenser, maupun pompa air, berpotensi menjadi penyumbang konsumsi energi listrik terbesar pada periode beban puncak. Namun, identifikasi tersebut didasarkan pada analisis pola penggunaan beban karena sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini hanya melakukan pengukuran konsumsi listrik secara keseluruhan pada instalasi rumah tangga dan tidak melakukan monitoring pada masing-masing peralatan listrik secara individual. Dengan demikian, perangkat yang paling banyak mengonsumsi listrik tidak dapat ditentukan secara langsung melalui hasil pengukuran, melainkan diidentifikasi berdasarkan karakteristik penggunaan beban selama periode pengamatan. Hasil monitoring ini diharapkan dapat membantu pengguna dalam mengatur penggunaan peralatan berdaya besar pada waktu yang tepat sehingga konsumsi energi dan biaya listrik dapat ditekan secara lebih efisien.

C. Hasil Perbandingan Data Dari KWH Meter dan Data Thingsboard

Untuk mengevaluasi kinerja sistem monitoring, dilakukan perbandingan antara data kWh meter Prabayar PLN dan hasil monitoring selama satu bulan pengamatan, meliputi total konsumsi energi dan rata-rata penggunaan harian. Hasil perbandingan disajikan pada Tabel 3.

Gambar 15. Data Awal dan Data Akhir Kwh Meter.

Berdasarkan dokumentasi pada Gambar 15, sisa energi listrik pada kWh meter Prabayar PLN sebesar 145,14 kWh di awal pengamatan dan 2,16 kWh di akhir pengamatan, sehingga total energi yang digunakan selama 31 hari mencapai 142,98 kWh dengan rata-rata 4,61 kWh/hari. Sementara itu, data hasil monitoring pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 menunjukkan total penggunaan energi sebesar 148,94 kWh dengan rata-rata 4,80 kWh/hari. Perbandingan kedua hasil pengukuran tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 3. Perbandingan Kwh meter dan Alat Rancangan

No	Parameter	kWh Meter Prabayar PLN	Data ThingsBoard (Alat Rancangan)	Selisih Pengukuran	Persentase Error (%)
1	Energi Bulanan (kWh)	142,98	148,94	5,96	4,16

2	Rata-rata Harian (kWh/hari)	4,61	4,80	0,19	4,12
---	-----------------------------	------	------	------	------

Berdasarkan Tabel 4.3, alat rancangan mencatat total konsumsi energi 148,94 kWh dengan rata-rata 4,80 kWh/hari, sedangkan kWh meter Prabayar PLN mencatat 142,98 kWh dengan rata-rata 4,61 kWh/hari. Perbandingan tersebut menghasilkan error sebesar 4,16% untuk energi bulanan dan 4,12% untuk rata-rata harian, yang menunjukkan bahwa alat rancangan memiliki akurasi baik dan hasil pengukurannya mendekati kWh meter PLN.

Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor. Pertama, keterbatasan layanan ThingsBoard mengharuskan penulis melakukan pergantian akun selama penelitian, sehingga data historis tidak tersimpan secara berkesinambungan dalam satu dashboard. Kedua, waktu pencatatan data tidak dilakukan secara bersamaan, di mana sistem IoT mencatat hingga pukul 00.00 WITA sedangkan kWh meter dibaca pukul 09.00 WITA, sehingga masih terjadi pemakaian energi pada rentang waktu tersebut yang turut memengaruhi selisih hasil pengukuran.

Meskipun terdapat perbedaan hasil pengukuran, sistem monitoring berbasis IoT ini mampu menjalankan fungsi pemantauan dengan baik. Platform ThingsBoard berhasil menampilkan parameter kelistrikan secara real-time (tegangan, arus, daya, energi, biaya listrik, sisa token, dan status perangkat) secara visual, serta dilengkapi fitur alarm yang memberikan notifikasi otomatis saat sisa token mendekati batas minimum atau tegangan berada di luar batas normal.



Gambar 16. Hasil perancangan alat monitoring listrik berbasis IoT.

Secara keseluruhan, hasil monitoring periode 1–31 Mei 2026 menunjukkan total penggunaan energi 148,94 kWh dengan biaya listrik Rp201.266. Dengan tingkat error sebesar 4,16% (energi bulanan) dan 4,12% (rata-rata harian), sistem

yang dirancang terbukti memiliki akurasi baik dan layak diterapkan sebagai alat monitoring listrik rumah tangga secara real-time.

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pengujian, dan analisis sistem monitoring listrik rumah tangga berbasis IoT, dapat disimpulkan bahwa sistem berhasil dirancang menggunakan ESP32, sensor PZEM-004T, dan platform ThingsBoard sehingga mampu memantau tegangan, arus, daya, energi, biaya pemakaian, serta sisa token listrik secara real-time. Sistem juga dilengkapi buzzer yang berfungsi sebagai alarm otomatis ketika sisa token mendekati batas kritis, sehingga pengguna dapat segera melakukan pengisian token sebelum listrik padam. Platform ThingsBoard berhasil menampilkan seluruh data hasil monitoring dalam bentuk dashboard secara real-time, termasuk panel *Alarms* dan status perangkat (*Active/Inactive*). Hasil monitoring selama bulan Mei 2026 menunjukkan total konsumsi energi sebesar 148,94 kWh dengan biaya pemakaian sebesar Rp201.266, sesuai dengan tarif dasar listrik yang berlaku, sehingga sistem mampu melakukan perhitungan biaya pemakaian secara otomatis. Selain itu, hasil perbandingan dengan kWh meter Prabayar PLN menunjukkan nilai *error* sebesar 4,16% untuk energi bulanan dan 4,12% untuk rata-rata harian. Nilai *error* tersebut menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi yang baik dan layak digunakan sebagai alat monitoring energi listrik rumah tangga berbasis IoT.

B. Saran

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian, sistem masih memiliki beberapa keterbatasan yang dapat dikembangkan pada penelitian selanjutnya. Sistem dapat dikembangkan untuk mendukung instalasi listrik tiga fase agar dapat diterapkan pada gedung maupun industri. Selain itu, penambahan modul automatic battery charger dan baterai cadangan diperlukan agar sistem tetap dapat beroperasi dan menampilkan data monitoring melalui LCD 20×4 saat terjadi pemadaman PLN. Penggunaan platform IoT dengan kapasitas pengiriman data dan bandwidth server yang memadai juga disarankan untuk menjaga kestabilan monitoring secara real-time dalam jangka panjang..

REFERENSI

- [1] D. V. Nuralda, "Analisa penggantian kWh meter bermasalah terhadap efektifitas kWh jual," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 1, pp. 148–154, 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i1.3951.
- [2] A. Litha, I. Abduh, K. Ilahi, and A. R. Amini, "Rancang bangun dan implementasi sistem monitoring pemakaian daya listrik berbasis Internet of Things (IoT)," *Pros. Semin. Nas. Penelit. Pengabd. Kpd. Masy.*, pp. 150–156, 2021.
- [3] W. P. Putra *et al.*, "Rancang bangun alat monitoring daya listrik real-time berbasis ESP32, sensor PZEM-004T dan INA219 dengan interface LabVIEW," *J. Inov.*, vol. 8, no. 1, pp. 25–29, 2025, doi: 10.37338/inovator.v8i1.471.
- [4] P. Murdiyat, L. H. Gunanto, and Alfian, "Rancang bangun sensor node untuk sistem monitoring energi listrik nirkabel pada gedung dalam kampus Politeknik Negeri Samarinda," *PoliGrid*, vol. 2, no. 1, pp. 1–9, 2021, doi: 10.46964/poligrid.v2i1.707.
- [5] R. D. Alfian and D. Teknik Elektro, "Rancang bangun alat monitoring pemakaian tarif listrik dan kontrol daya listrik pada rumah kos berbasis Internet of Things," *J. Tek. Elektro*, vol. 10, no. 3, pp. 661–670, 2021, doi: 10.26740/jte.v10n3.p661-670.
- [6] G. Andre, "Analisa perbandingan pengukuran energi pada kWh meter pascabayar dan kWh meter Prabayar," Skripsi, Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat, 2024.
- [7] M. M. G. Lubis, "Rancang bangun prototipe otomatisasi proteksi dan monitoring listrik rumah tangga dengan IoT ESP32," Skripsi, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area, Medan, 2022.
- [8] S. M. Ibrahim, R. Riza, and B. Yulianti, "Rancang bangun monitoring pemakaian arus listrik PLN berbasis IoT," *J. Teknol. Ind.*, vol. 11, no. 1, pp. 43–51, 2022, doi: 10.35968/jti.v11i2.953.
- [9] A. H. P. Yuniarto, E. B. Agustina, I. Inayah, N. Rohman, and M. Rizqiyah, "Rancang bangun sistem monitoring penggunaan daya listrik berbasis Internet of Things," *J. Fis. Flux J. Ilm. Fis. FMIPA Univ. Lambung Mangkurat*, vol. 21, no. 1, p. 55, 2024, doi: 10.20527/flux.v21i1.15366.
- [10] G. Ivan and S. Erwandha, "Rancang bangun sistem Internet of Things pada timbangan digital dengan kapasitas 100 kg berbasis ESP32 ThingsBoard IoT Platform untuk mengukur massa," Skripsi, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya, 2021.
- [11] D. D. Rahayu, D. D. Danar, F. F. Alwie, A. B. Prasetyo, and R. Andespa, "Rancang bangun prototipe otomasi proteksi dan monitoring listrik rumah tangga dengan IoT ESP32," *J. Ekon.*, vol. 18, no. 1, pp. 41–49, 2020.
- [12] D. D. A. Farega and R. Geovany, "Sistem pendeteksi dan monitoring tingkat kebisingan suara berbasis Internet of Things pada ruangan perpustakaan Polman Babel," Skripsi, Program Studi Teknik Elektro, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, 2024.
- [13] Umiyati, "Rancang bangun modul mikrokontroler online berbasis mobile sebagai media pembelajaran pembacaan EKG untuk siswa," Skripsi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, 2021.
- [14] A. D. Ginting, "Manajemen dan pengelolaan service server pada PT Koding Lab Integrasi Indonesia," Skripsi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Pembangunan Panca Budi, 2022.