

# Perancangan Sistem Monitoring Energi Listrik AC Dan DC Berbasis *Iot* Dengan Web Untuk Efisiensi

<sup>1</sup> Muhammad Bayu Ihsan Firdaus, <sup>2</sup> Desriyanti, <sup>3</sup> Ghulam Asrofi Buntoro

<sup>1, 2, 3</sup> Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Ponorogo

Jl. Budi Utomo No 10, Ponorogo 63471, Jawa Timur, Indonesia

<sup>1</sup> [muhammadbayuihsanf@gmail.com](mailto:muhammadbayuihsanf@gmail.com), <sup>2</sup> [desri77@umpo.ac.id](mailto:desri77@umpo.ac.id), <sup>3</sup> [ghulam@umpo.ac.id](mailto:ghulam@umpo.ac.id)

**Abstract** — Electrical energy is a primary source that supports various human activities, both from the PLN grid (AC) and renewable sources such as solar power (DC). Inefficient energy consumption monitoring can lead to waste and high operational costs. Therefore, an energy monitoring system that provides real-time and easily accessible information is necessary. This study designs an IoT-based AC and DC electrical energy monitoring system equipped with a web interface. The system utilizes an ESP32 microcontroller as the control center, a PZEM-004T sensor to monitor AC electricity, and a PZEM-017 sensor for DC electricity. To enhance system safety, a DS18B20 temperature sensor is used to periodically monitor the system temperature. All electrical and temperature data are displayed in real-time on an LCD screen and a website. The system is also equipped with an automatic notification feature that alerts the user if the system temperature exceeds 60°C or if the AC and DC voltage readings exceed or fall below predefined limits. This approach allows users to monitor system conditions anytime and anywhere, thereby improving energy usage efficiency and minimizing the risk of damage caused by unstable parameters.

**Keywords** — Energy, Electricity, Monitoring, AC, DC, IoT, Web, ESP32, PZEM, Temperature, Efficiency

**Abstrak**— Energi listrik merupakan sumber utama dalam mendukung berbagai aktivitas manusia, baik dari jaringan PLN (AC) maupun dari sumber terbarukan seperti PLTS (DC). Pemantauan konsumsi energi yang tidak efisien dapat menyebabkan pemborosan dan biaya operasional yang tinggi. Oleh karena itu, diperlukan sistem monitoring energi yang mampu memberikan informasi secara *real-time* dan mudah diakses. Penelitian ini merancang sistem monitoring energi listrik AC dan DC berbasis *IoT* yang dilengkapi dengan tampilan web. Sistem ini memanfaatkan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali, sensor PZEM-004T untuk memantau listrik AC, dan PZEM-017 untuk listrik DC. Untuk mendukung keamanan sistem, digunakan sensor suhu DS18B20 guna memantau suhu sistem secara berkala. Seluruh data listrik dan suhu ditampilkan secara *real-time* pada layar LCD dan website. Sistem juga dilengkapi fitur notifikasi otomatis yang memberikan peringatan jika suhu sistem melebihi 60°C, atau jika tegangan AC dan DC melebihi atau berada di bawah batas yang telah ditentukan. Melalui pendekatan ini, pengguna dapat memantau kondisi sistem kapan pun dan di mana pun, sehingga dapat meningkatkan efisiensi dalam penggunaan energi serta meminimalisir potensi kerusakan akibat parameter yang tidak stabil.

**Kata Kunci**— Energi, Listrik, Monitoring, AC, DC, IoT, Web, ESP32, PZEM, Suhu, Efisiensi

## I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan kebutuhan penting dalam kehidupan modern yang mendukung hampir seluruh aktivitas manusia, mulai dari penerangan hingga pengoperasian perangkat teknologi. Stabilitas pasokan listrik menjadi faktor penting dalam meningkatkan kualitas hidup masyarakat dan menunjang pembangunan suatu negara [1]. Di Indonesia, konsumsi energi listrik per kapita terus meningkat dari tahun ke tahun. Pada tahun 2023, konsumsi listrik tercatat sebesar 1.285 kWh per kapita dan diperkirakan meningkat menjadi 1.408 kWh per kapita pada tahun 2024. Kenaikan ini menandakan meningkatnya permintaan energi, namun juga memperbesar tantangan keterbatasan cadangan listrik, terutama di daerah padat penduduk seperti Jawa dan Bali yang sering mengalami pemadaman [2]. Selain permasalahan pasokan, pemborosan energi masih menjadi isu utama. Masih banyak pengguna yang menggunakan peralatan listrik tidak efisien dan belum dapat memantau konsumsi listrik secara *real-time*, sehingga sulit mengidentifikasi pemborosan energi secara tepat [3]. Salah satu pendekatan yang menjanjikan adalah pemanfaatan *Internet of Things (IoT)* dalam sistem pemantauan energi listrik. Teknologi ini memungkinkan pengguna untuk memantau konsumsi energi secara *real-time*, memperoleh data akurat, serta menganalisis pola penggunaan listrik guna meningkatkan efisiensi. Sistem monitoring berbasis *IoT* telah menunjukkan efektivitas dalam mendukung

pengambilan keputusan energi yang lebih bijak [4]. Namun, sebagian besar sistem yang ada masih bersifat konvensional, membutuhkan pemantauan manual, dan tidak menyediakan informasi secara langsung, sehingga pengguna kesulitan dalam mendeteksi lonjakan konsumsi maupun pemborosan energi [5]. Beberapa institusi pendidikan, seperti Laboratorium Energi PNJ, telah menerapkan sistem energi hybrid (PLTS *on-grid*, *off-grid*, SHS) yang terhubung dengan PLTH, PLN, dan Genset. Namun, belum tersedia sistem monitoring terpusat dan otomatis, sehingga pengawasan dan pembelajaran belum optimal. [6]. Penulis juga menemukan kasus serupa di lapangan berdasarkan hasil observasi dan wawancara langsung dengan seorang narasumber bernama Basyir, pemilik salah satu ruko di Ponorogo. Ia mengalami kesulitan dalam memantau konsumsi listrik PLN dan PLTS secara bersamaan karena tidak adanya sistem pemantauan *real-time* yang terintegrasi. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan teknologi baru yang memanfaatkan kemajuan dalam *Internet of Things (IoT)* dan analisis data. Teknologi ini memungkinkan pemantauan energi secara otomatis dan *real-time*, memberikan data yang lebih akurat, serta membantu pengguna membuat keputusan yang lebih bijak dalam pengelolaan energi [7]. Menindaklanjuti permasalahan yang telah diuraikan serta merujuk pada temuan-temuan studi sebelumnya, Sistem ini dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan sensor PZEM-004T untuk kelistrikan AC, PZEM-017 untuk kelistrikan DC dan DS18B20 untuk suhu sistem. Parameter dipantau *real-time* dan dikendalikan berdasarkan ambang batas yang ditentukan. Bila melewati batas, buzzer akan aktif sebagai peringatan dini. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem monitoring energi listrik cerdas berbasis *IoT* yang mampu memantau konsumsi energi secara *real-time*. Sistem ini memberikan data akurat kepada pengguna, memungkinkan pengelolaan energi yang lebih bijak tanpa perlu pemeriksaan manual. Selain sebagai solusi praktis, sistem ini juga mendukung tujuan keberlanjutan dengan mendorong efisiensi energi pada berbagai sektor penggunaan.

## II. METODE PENELITIAN

### A. Studi Lapangan

Penulis menggunakan metode observasi lapangan dan wawancara langsung untuk memperoleh data faktual dari narasumber terkait objek penelitian. Kegiatan ini dilakukan di ruko milik Basyir yang berlokasi di Perum Grisimai, Kelurahan Mangunsuman, Kecamatan Siman, Ponorogo. Dari wawancara diketahui bahwa ruko menggunakan dua sumber listrik, yakni PLN dan PLTS, namun belum memiliki sistem monitoring terpadu yang mampu menampilkan data dari keduanya secara bersamaan. Informasi yang tersedia masih konvensional, terbatas, dan tidak *real-time*, sehingga gangguan hanya diketahui setelah terjadi, menghambat respons cepat dan efisiensi energi. Selain itu, sistem belum terintegrasi dengan teknologi *IoT*, sehingga data tidak dapat diakses dalam satu platform. Temuan ini menegaskan perlunya sistem monitoring energi yang *real-time*, terintegrasi, dan berbasis *IoT* agar pengguna dapat mengakses serta mengelola pemakaian listrik dari berbagai sumber secara efisien, kapan pun dan di mana pun.

### B. Studi Literatur

Pada tahap studi literatur, penulis mengumpulkan berbagai referensi dan data relevan untuk memperkuat landasan teori dalam penelitian.

1. Penelitian Pertama Ridwan & Rosid (2023) – “Sistem Pemantauan Penggunaan Listrik Rumah Tangga dengan Website Berbasis *IoT*”: Sistem berbasis ESP32, PZEM-004T, *Firebase*, dan *ReactJS* mampu menampilkan data listrik secara *real-time* dengan akurasi tinggi *error* 2% [8].
2. Penelitian kedua Heri Andrianto *et al.* (2024) – “Platform Sistem Pemantauan Penggunaan Energi Listrik Berbasis *IoT*”: Monitoring menggunakan DPM PM2220 dan ESP32 berbasis *Modbus* ke web berbasis PHP/MySQL, menampilkan parameter listrik secara lengkap dan andal [9].
3. Penelitian ketiga Noer Soedjarwanto *et al.* (2024) – “Perancangan *Prototype* Sistem Pemantauan Panel Surya Berbasis *IoT*”: Menggunakan ESP32 dan INA219, data listrik dari panel surya ditampilkan *via* Blynk dengan akurasi tegangan 0,56% dan arus 7% [10].
4. Penelitian keempat Baihaqi *et al.* (2024) – “Analisis Integrasi *IoT* pada Sistem Pembangkit *Hybrid* Portabel Pico Hidro dan Panel Surya”: Sistem *hybrid* memantau daya listrik secara *real-time* untuk lahan pertanian terencana, terbukti stabil dan optimal [11].

5. Penelitian kelima RaghuYogesh *et al.* (2023) – “Energy Monitoring System Using IoT”: Sistem prabayar berbasis ESP32 dan ZMCT103C menampilkan konsumsi energi *via* Firebase dan web, dilengkapi notifikasi batas pemakaian dan deteksi anomali [12].

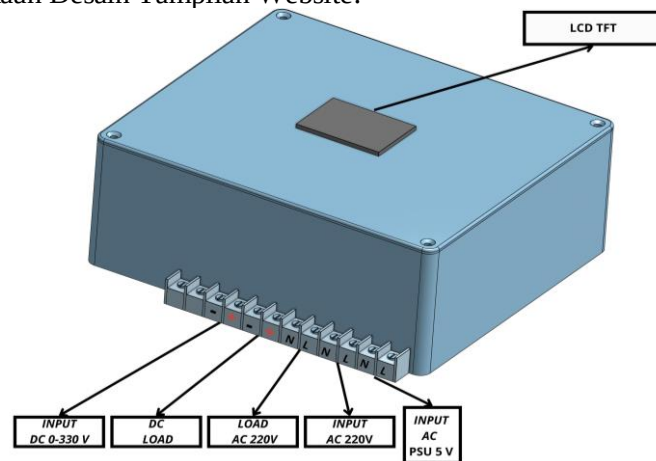
Masalah umum seperti beban berlebih, pemborosan energi, tegangan tak stabil, dan kurangnya informasi efisiensi PLTS mendorong perancangan sistem ini dengan ESP32, sensor, dan web sebagai dasar rancangan.

### C. Tahap Perencanaan Alat

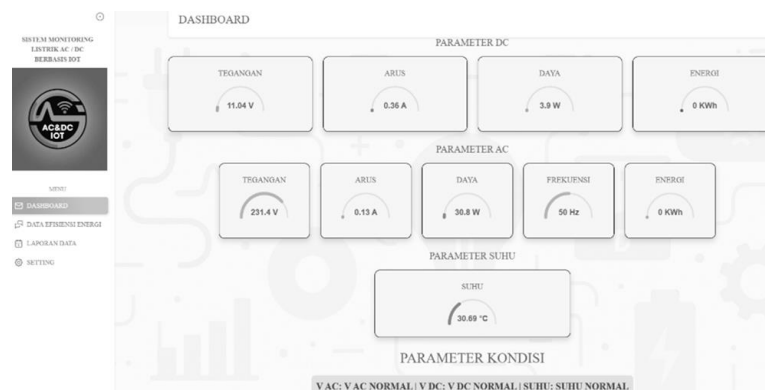
Tahap perencanaan adalah langkah awal penting untuk memastikan sistem sesuai tujuan, mencakup desain alat sebagai bentuk fisik, diagram blok sebagai hubungan komponen, dan wiring sistem sebagai skema koneksi perangkat.

#### 1. Perencanaan Desain Alat dan Website

Berikut desain sistem dapat dilihat pada Gambar 1 yang menampilkan Perencanaan Desain Alat dan Gambar 2 yang menampilkan Perencanaan Desain Tampilan Website.



Gambar 1. Perencanaan Desain Alat

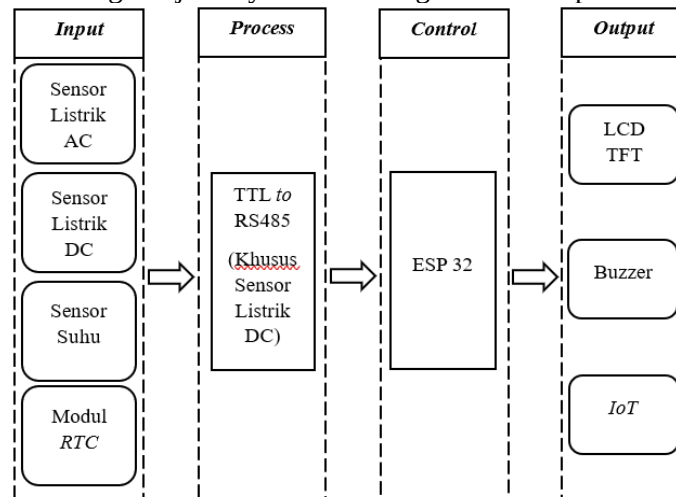


Gambar 2. Perencanaan Desain Tampilan Website

Perencanaan desain alat dan website menjadi langkah awal dalam memvisualisasikan sistem secara fungsional. Desain alat dibuat menggunakan *Onshape* dengan model 3D presisi dan box berukuran  $21,5 \times 14,5 \times 8,5$  cm. Komponen internal meliputi ESP32, Power Supply, Terminal Block, PZEM-004T, TTL to RS485, PZEM-017, DS18B20, RTC DS3231, dan Buzzer. Di bagian luar terdapat LCD TFT  $160 \times 128$  dan terminal blok *input* dan *output*. Website dirancang menggunakan Canva dengan tampilan informatif dan mudah digunakan, terdiri dari empat menu utama yaitu Dashboard untuk menampilkan parameter listrik dan status sistem, Data Efisiensi Energi untuk konversi kWh ke rupiah, Laporan Data untuk histori yang bisa *difilter* dan diunduh, serta *Setting* untuk pengaturan tegangan, suhu maksimum, dan tarif listrik.

## 2. Perencanaan Diagram Blok

Diagram blok menggambarkan alur hubungan antar komponen, terdiri dari tiga bagian utama: *Input*, *Process*, *Control* dan *Output* yang berperan mengatur jalannya sistem. Diagram Blok dapat dilihat pada Gambar 3

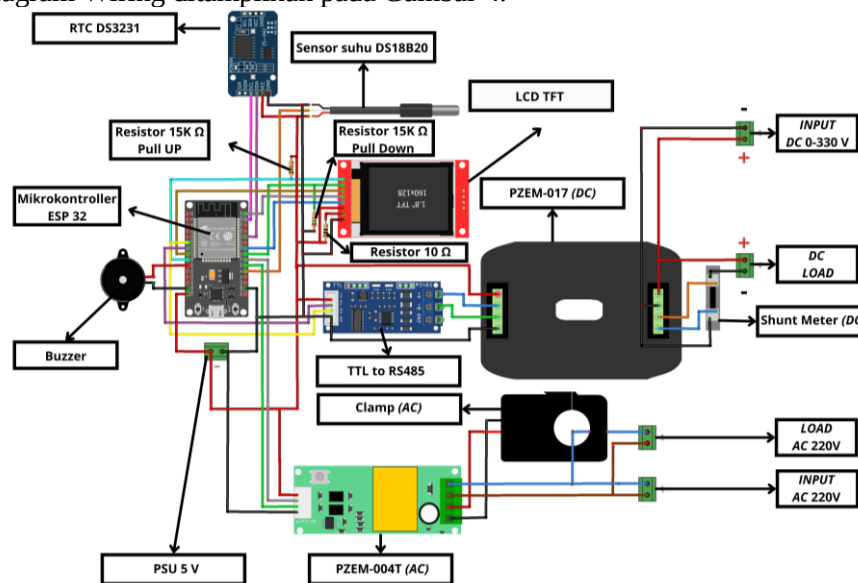


Gambar 3. Diagram Blok

Diagram blok terdiri dari empat bagian utama: *Input*, *Process*, *Control* dan *Output* dengan fungsi Pada blok *input* yaitu PZEM-004T mengukur parameter listrik AC sedangkan PZEM-017 mengukur parameter listrik DC, Sensor DS18B20 memantau suhu lingkungan dan modul RTC DS3231 mencatat waktu secara *real-time* untuk akurasi pencatatan data. Blok *process* menggunakan TTL to RS485 converter sebagai penghubung ESP32 dengan PZEM-017 melalui komunikasi *Modbus RTU*. Di blok *control* yaitu ESP32 berfungsi sebagai pusat sistem yang membaca data sensor, memprosesnya, mengirim ke web via *Wi-Fi*, serta mengontrol buzzer. Sementara itu, blok *output* mencakup LCD TFT untuk menampilkan data secara *real-time*, buzzer sebagai alarm saat parameter melebihi batas aman, dan web *IoT* untuk pemantauan jarak jauh secara langsung.

## 3. Perencanaan Diagram Wiring

Diagram wiring menunjukkan koneksi antar komponen untuk memastikan sistem terhubung dengan tepat dan berfungsi optimal. Diagram Wiring ditampilkan pada Gambar 4.

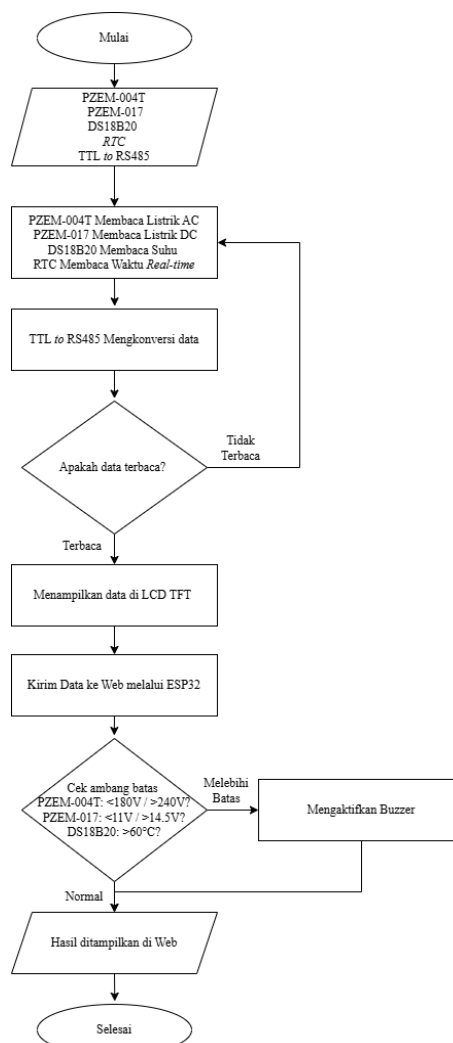


Gambar 4. Diagram Wiring

Diagram wiring sistem ini menunjukkan hubungan antar komponen secara efisien dan terstruktur. *Power supply* 12V 5A menjadi sumber utama yang disalurkan melalui terminal blok distribusi daya untuk menjaga kestabilan tegangan ke semua modul. ESP32 sebagai pusat kendali mendapat catu daya dari terminal blok, memproses data sensor, dan mengirimkannya ke web melalui *Wi-Fi*. Sensor AC PZEM-004T terhubung ke ESP32 (TX ke GPIO16, RX ke GPIO17, VCC ke 5V, GND ke GND), dilengkapi *CT Clamp* untuk membaca arus beban AC. Untuk pengukuran DC, digunakan PZEM-017 yang terhubung ke ESP32 melalui konverter TTL to RS485 (RO ke GPIO32, DI ke GPIO33), lalu ke sensor dengan koneksi A ke A dan B ke B, menggunakan *shunt* resistor sebagai pengukur arus. Sensor suhu DS18B20 dipasang dengan VCC ke 5V, GND ke GND, dan Data ke GPIO4, serta resistor 4.7k $\Omega$  sebagai *pull-up*. Modul RTC DS3231 terhubung melalui jalur I2C (SDA ke GPIO21, SCL ke GPIO22) untuk mencatat waktu secara *real-time*. Buzzer 5V disambungkan ke GPIO27 dan GND sebagai alarm notifikasi peringatan dini ketika parameter melebihi batas. Sementara itu, LCD TFT 160 $\times$ 128 menampilkan data lokal dan terhubung melalui jalur SPI: SCK (GPIO18), MOSI (GPIO23), RES (GPIO26), DC (GPIO25), CS (GPIO5), dan BL ke 5V melalui resistor 10 $\Omega$  untuk pembatas arus.

#### 4. Flowchart Sistem

Dalam tahap ini menjelaskan alur prinsip kerja sesuai dengan perencanaan alur pembuatan program *flowchart* pada sistem. Berikut merupakan perancangan dari *Flowchart* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Flowchart

Sistem diawali dengan inialisasi komponen: sensor PZEM-004T (listrik AC), PZEM-017 (DC), DS18B20 (suhu), RTC (waktu *real-time*), dan TTL to RS485 (konversi data sensor ke ESP32). Setelah aktif, masing-masing sensor membaca datanya PZEM-004T untuk AC, PZEM-017 untuk DC (dengan bantuan TTL to RS485), DS18B20 untuk suhu sistem, dan RTC untuk waktu pembacaan. Sistem kemudian memverifikasi keberhasilan pembacaan; jika gagal, pembacaan diulang. Jika berhasil, data ditampilkan di LCD TFT dan dikirim ke web via ESP32. Sebelum ditampilkan di web, sistem memeriksa apakah data melebihi ambang batas: tegangan AC <180V atau >240V, DC <11V atau >14,5V, suhu >60°C. Jika ya, buzzer diaktifkan sebagai peringatan jika tidak, data dianggap normal. Proses ini berlangsung terus menerus secara *real-time*.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Dasar Teori

Sistem monitoring listrik ini dirancang untuk memantau parameter AC, DC, dan suhu secara *real-time* menggunakan sensor yang terintegrasi dengan antarmuka web. PZEM-004T mengukur parameter AC, sementara PZEM-017 mengukur parameter DC dengan dukungan konverter TTL to RS485 untuk komunikasi stabil ke ESP32. Sensor DS18B20 memantau suhu sistem secara akurat dan buzzer berfungsi sebagai peringatan dini saat nilai tegangan atau suhu melebihi batas aman. Data ditampilkan secara lokal melalui LCD TFT dan jarak jauh melalui website berbasis *IoT* yang juga menyimpan riwayat data.

#### B. Tujuan Pengujian

Pengujian sistem mencakup evaluasi akurasi sensor dan fungsi keseluruhan. Sensor PZEM-004T dan PZEM-017 diuji dengan membandingkan hasil pembacaan AC dan DC terhadap multimeter dan perhitungan manual. Sensor suhu DS18B20 diuji akurasi dengan termometer digital. Fitur peringatan diuji dengan memicu kondisi ekstrem, seperti tegangan dan suhu di luar batas, untuk memastikan buzzer berfungsi sesuai perintah. Website diuji dari segi tampilan *real-time*, penyimpanan data, dan kestabilan koneksi. Uji integrasi dilakukan untuk memastikan semua komponen sensor, ESP32, buzzer, LCD, dan web berjalan sinkron dan responsif secara lokal maupun melalui koneksi *IoT*.

#### C. Parameter yang Diuji

Pengujian sistem mencakup parameter AC dan DC menggunakan PZEM-004T dan PZEM-017 untuk mengukur tegangan, arus, daya, energi, dan frekuensi. Sensor DS18B20 memantau suhu sistem secara *real-time* agar tetap dalam batas aman. Respons buzzer diuji saat tegangan atau suhu melebihi ambang batas. Website monitoring dievaluasi dari konektivitas ESP32, kecepatan update, akurasi tampilan, penyimpanan data historis, dan visualisasi grafik. Seluruh data dari sensor AC, DC, dan suhu juga diuji tampilannya di LCD TFT dan web untuk memastikan integrasi yang akurat dan responsif.

#### D. Alat dan Bahan

Pengujian sistem ini melibatkan sensor PZEM-004T (AC), PZEM-017 (DC), dan DS18B20 (suhu), dengan ESP32 sebagai pusat kendali. Komunikasi data didukung TTL to RS485, sementara buzzer 5V digunakan sebagai indikator kondisi abnormal. Hasil pengukuran ditampilkan di LCD TFT dan serial monitor Arduino IDE. Alat bantu seperti kabel, stopwatch, multimeter, dan termometer digital digunakan untuk verifikasi hasil, dengan perhitungan manual sebagai pembanding akurasi. Sistem didukung jaringan WiFi, web server, database untuk penyimpanan data historis, dan browser untuk akses tampilan web *real-time*. Beban AC dan DC digunakan sebagai sumber uji coba.

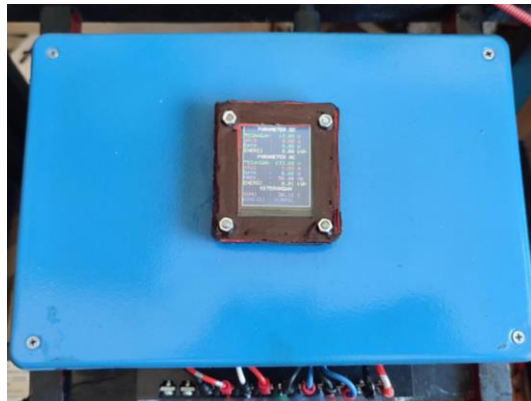
#### E. Langkah Pengujian

Pengujian sistem diawali dengan memastikan seluruh kabel dan sensor terpasang dengan kuat pada ESP32. Setelah *board* dan *port* diatur di Arduino IDE, program diunggah ke mikrokontroler. Beban listrik kemudian dinyalakan untuk menguji pembacaan sensor. Data dari PZEM-004T (AC) dan PZEM-017 (DC) dibaca melalui *serial monitor*, lalu dibandingkan dengan hasil perhitungan dan pengukuran multimeter. Sensor suhu DS18B20 diuji dengan mencocokkan hasilnya dengan termometer digital. Buzzer diuji dengan memicu kondisi abnormal, seperti tegangan di

luar batas atau suhu di atas  $60^{\circ}\text{C}$ , untuk memastikan alarm aktif sesuai perintah. Pengujian website meliputi kecepatan pembaruan, tampilan *real-time*, penyimpanan data, dan visualisasi grafik. Integrasi sistem juga diuji secara menyeluruh untuk memastikan pembacaan sensor, tampilan di LCD TFT, buzzer, dan pengiriman data ke web berjalan serempak. Pengujian dilakukan pada pukul 07.00, 14.00, dan 21.00 untuk melihat performa di berbagai waktu. Setelah selesai, perangkat dimatikan dan hasil dokumentasi disusun dalam bentuk foto, tabel, dan grafik.

#### F. Hasil Pengujian

Setelah sistem selesai dirancang, dilakukan pengujian untuk memastikan seluruh fungsinya berjalan dengan baik. Hasilnya disajikan sebagai berikut:



Gambar 6. Hasil Pengujian Pada Sistem

```
Output Serial Monitor X
Message (Enter to send message to 'ESP32 Dev Module' on
=== DATA ENERGI DAN EFISIENSI ===
Energi PLN : 0.08 kWh
Tagihan PLN: Rp 109
Energi PLTS: 0.00 kWh
Keuntungan PLTS: Rp 0

=== PARAMETER DC ===
Tegangan: 11.08 V
Arus: 0.36 A
Daya: 3.90 W
Energi: 0.00 kWh

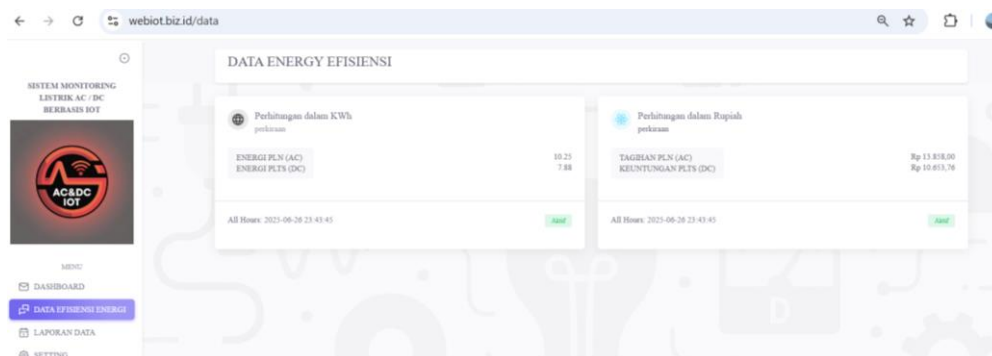
=== PARAMETER AC ===
Tegangan: 231.60 V
Arus: 0.12 A
Daya: 26.90 W
Frek: 50.00 Hz
Energi: 0.08 kWh

=== KETERANGAN ===
Suhu: 30.69 C
Kondisi: NORMAL
https://weblot.biz.id/save/1/data?energy&C0.
Data terkirim! Kode HTTP: 200
```

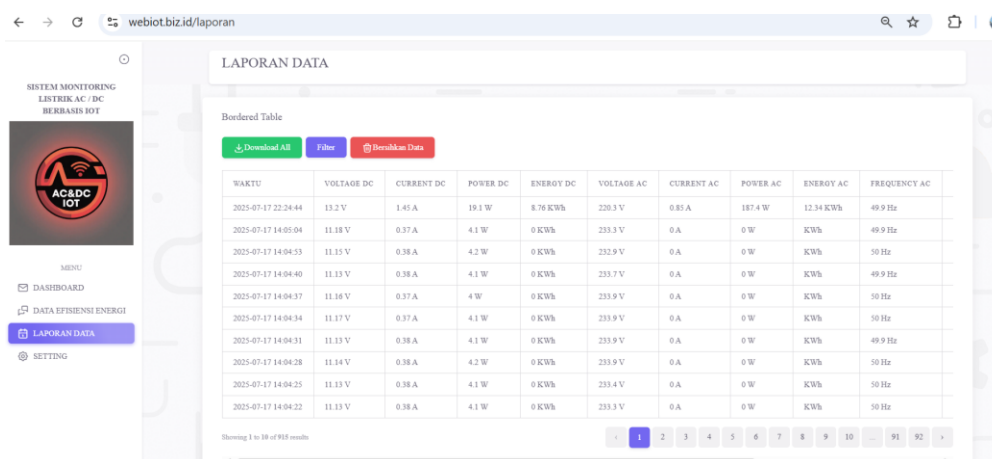
Gambar 7. Hasil Pengujian Pada Serial Monitor



Gambar 8. Hasil Pengujian Pada Website Menu Dashboard

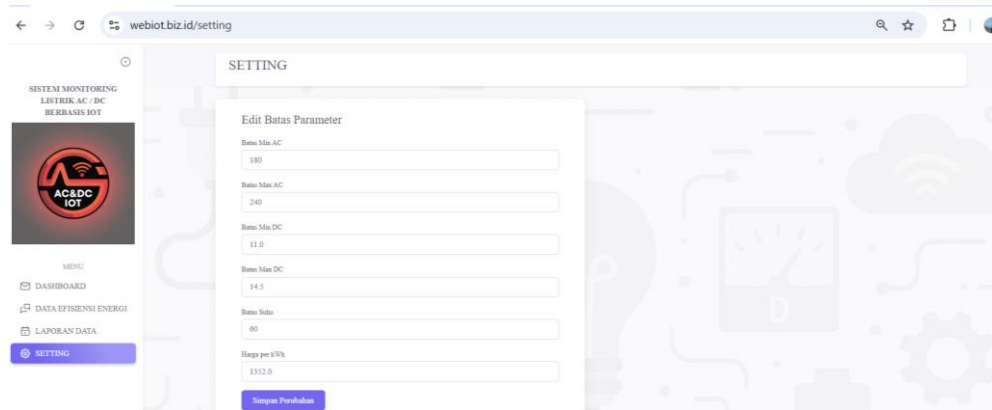


Gambar 9. Hasil Pengujian Pada Website Menu Data Efisiensi Energi



Gambar 10. Hasil Pengujian Pada Website Menu Laporan Data

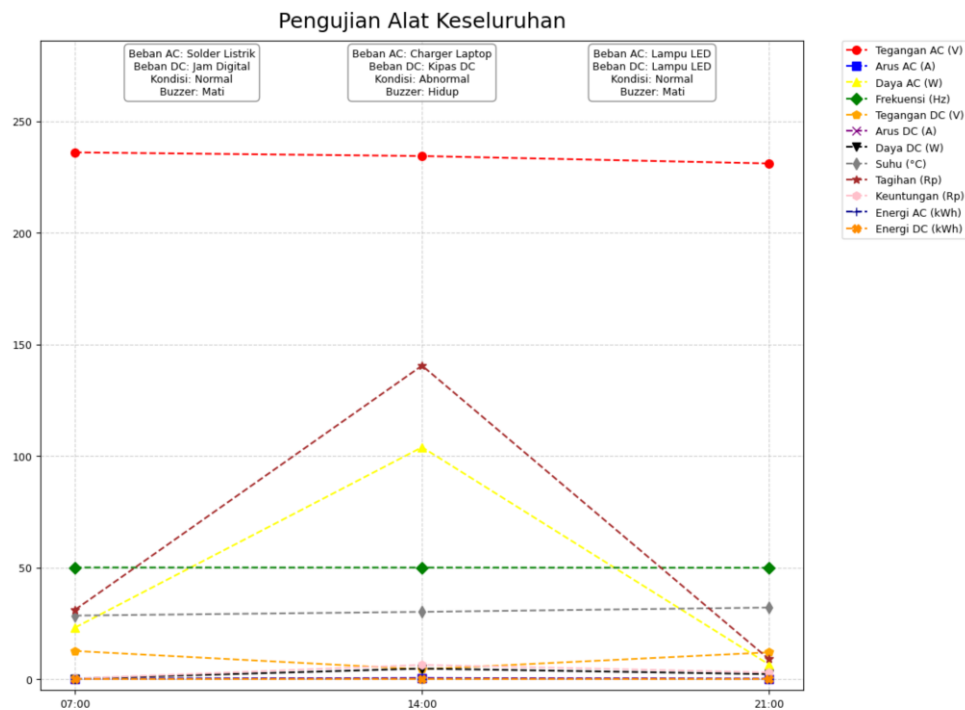




Gambar 11. Hasil Pengujian Pada Website Menu *Setting*

Tabel 1. Hasil Pengujian Sistem

| No | Parameter       | 07.00          | 14.00          | 21.00     |
|----|-----------------|----------------|----------------|-----------|
| 1  | Kondisi         | Normal         | Abnormal       | Normal    |
| 2  | Beban AC        | Solder Listrik | Charger Laptop | Lampu LED |
| 3  | Tegangan AC (V) | 236.03         | 234.40         | 231.07    |
| 4  | Arus AC (A)     | 0.10           | 0.45           | 0.03      |
| 5  | Daya AC (W)     | 23.10          | 103.90         | 6.55      |
| 6  | Energi AC (kWh) | 0.0230         | 0.1032         | 0.00659   |
| 7  | Frekuensi (Hz)  | 50.00          | 49.97          | 49.89     |
| 8  | Beban DC        | Jam Digital    | Kipas DC       | Lampu LED |
| 9  | Tegangan DC (V) | 12.58          | 4.38           | 11.97     |
| 10 | Arus DC (A)     | 0.02           | 0.41           | 0.18      |
| 11 | Daya DC (W)     | 0.20           | 4.70           | 2.20      |
| 12 | Energi DC (kWh) | 0.0002         | 0.0047         | 0.0022    |
| 13 | Suhu (°C)       | 28.45          | 30.12          | 32.04     |
| 14 | Buzzer          | Mati           | Hidup          | Mati      |
| 15 | LCD TFT         | Aktif          | Aktif          | Aktif     |
| 16 | Website         | Aktif          | Aktif          | Aktif     |
| 17 | Tagihan (Rp)    | 31.10          | 140.47         | 8.92      |
| 18 | Keuntungan (Rp) | 0.27           | 6.36           | 2.97      |
| 19 | Keterangan      | Normal         | V DC Abnormal  | Normal    |



Gambar 12. Grafik Hasil Pengujian Sistem

Pengujian membuktikan sistem berfungsi stabil dan sesuai rancangan awal. Sensor PZEM-004T (AC) dan PZEM-017 (DC) mampu membaca parameter dengan akurasi yang baik, di mana selisih data dengan multimeter masih dalam batas toleransi. Sensor suhu DS18B20 menunjukkan hasil yang mendekati termometer digital. Sistem peringatan melalui buzzer juga bekerja optimal, menyala saat suhu melebihi 60°C atau saat tegangan berada di luar ambang batas aman. Website berhasil menampilkan data secara *real-time*, lengkap dengan histori dan tampilan yang mudah dipahami pengguna.

#### IV. KESIMPULAN

Sistem berhasil dirancang dan direalisasikan menggunakan ESP32 sebagai pusat kendali utama. Sistem ini terbukti berhasil dalam merancang dan mengimplementasikan pemantauan listrik berbasis *IoT* yang mampu membaca, merekam, dan memvisualisasikan parameter listrik AC yaitu tegangan, arus, daya, energi, frekuensi, listrik DC yaitu tegangan, arus, daya, energi, serta suhu sistem dari jarak jauh secara *real-time*. Hasil pengujian tiap sensor menunjukkan tingkat akurasi yang baik, dengan rata-rata *error* masih dalam batas wajar. Ini membuktikan bahwa sensor yang digunakan, seperti PZEM-004T, PZEM-017 dan DS18B20 layak diimplementasikan dalam sistem monitoring. Selain itu, sistem juga telah berhasil menampilkan konversi energi menjadi estimasi biaya listrik (tagihan) untuk energi AC dan perhitungan keuntungan untuk energi DC. Sistem ini juga mampu menyediakan informasi data yang akurat dan *real-time* kepada pengguna melalui tampilan pada LCD TFT maupun website, sehingga dapat dipantau kapan saja dan di mana saja. Sistem juga dilengkapi fitur peringatan dini melalui buzzer yang aktif saat mendeteksi kondisi abnormal seperti tegangan AC dan DC di luar batas aman atau suhu melebihi 60°C. Website juga mampu menampilkan data sensor secara *real-time* sekaligus menyimpan histori data, sehingga memudahkan pengguna memantau listrik dari jarak jauh dan membantu melakukan evaluasi konsumsi energi secara berkala.

#### V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Lindawati *et al.*, "Edukasi Budaya Hemat Listrik Bagi Pelajar Sekolah Dasar," *J. Abdimas Indones.*, vol. 2, no. 3, pp. 409–414, 2022, doi: 10.53769/jai.v2i3.318.
- [2] Cahyono adi agus, "Konsumsi Listrik Masyarakat Meningkat, Tahun 2023 Capai 1.285 kWh/Kapita," Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral. Accessed: Jan. 01, 2024. [Online]. Available:

- 
- <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/konsumsi-listrik-masyarakat-meningkat-tahun-2023-capai-1285-kwh-kapita>.
- [3] A. A. A. Rustanto, Alief Prasodjo Djati, Abdul Aziz Gymnastiar, Sandi Widiyanto, Dewangga Setyawan Putra, Muhammad Yunus Abdul Aziz, "Peningkatan Efisiensi Energi pada Peralatan Rumah Tangga Berbasis Mekanik oleh Mahasiswa Universitas Negeri Semarang di Kawasan Cempaka Sari," *J. Potensial*, vol. 3, no. 1, pp. 38–55, 2024, [Online]. Available: <http://jurnalilmiah.org/journal/index.php/potensial>.
- [4] S. A. Mohd, N. Sazali, A. S. Jamaludin, and N. Misdan, "IOT-Based Energy Monitoring System for Energy Conservation," *E3S Web Conf.*, vol. 437, pp. 1–13, 2023, doi: 10.1051/e3sconf/202343704006.
- [5] J. A. Adebisi and L. N. P. Ndjuluwa, "A survey of power-consumption monitoring systems," *e-Prime - Adv. Electr. Eng. Electron. Energy*, vol. 7, no. November 2023, p. 100386, 2024, doi: 10.1016/j.prime.2023.100386.
- [6] I. I. Monitoring, U. Project, M. Method, and B. Feasibility, "MBI IoT-based Intelligent Monitoring & Control System Planning Using Project Management Method and Business Feasibility," vol. 02, no. 02, 2024.
- [7] S. P. Lesmana, A. Putra, S. Bintang, and N. Puspitasari, "EFISIENSI ENERGI DAN KEAMANAN DI KOTA BERKEMBANG," no. November, pp. 1–14, 2024.
- [8] S. Bhawana Mulia, A. Ibnu Rosid, J. Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika, and P. Manufaktur Bandung, "Sistem Pemantauan Penggunaan Listrik Rumah Tangga Dengan Website Berbasis Iot," *J. Energy Electr. Eng.*, vol. 125, no. 2, pp. 125–131, 2023.
- [9] H. Andrianto, Y. Susanthi, V. Jonathan, and F. Teknik, "Platform Sistem Pemantauan Penggunaan Energi Listrik Berbasis IoT," no. November 2023, pp. 199–212.
- [10] N. Soedjarwanto, Z. Huda, and A. Z. Kurniawan, "Perancangan Prototipe Sistem Pemantauan Panel Surya Berbasis IoT," *JITET*, vol. 12, no. 3, pp. 1992–1995, 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i3.4549.
- [11] M. Ahmad, W. Nur, M. Zainal, and R. Amin, "Analisis Integrasi IoT pada Sistem Pembangkit Hybrid Portabel Pico Hidro dan Panel Surya," vol. 6, no. 2, 2024.
- [12] Raghuyogesh, M. Keerthivasagan, and S. Vijayanand, "Energy Monitoring System Using Iot," *Int. J. Adv. Eng. Manag.*, vol. 5, no. 6, p. 264, 2023, doi: 10.35629/5252-0506264267.