

## ***Real-Time Electricity Consumption Monitoring System Based on ESP32 and Google Sheets***

Sistem Monitoring Konsumsi Energi Listrik *Real Time* Berbasis ESP32 dan *Google Sheets*

**Keshawa Udiatma<sup>\*1</sup>, Mohamad Imam Wahyudi<sup>2</sup>, Wahyu Yanuar Rizky<sup>3</sup>, Doni Setiawan<sup>4</sup>**  
<sup>1,2,3,4</sup>Tegal Muhammadiyah University  
E-mail: [keshawaudiatmaa@gmail.com](mailto:keshawaudiatmaa@gmail.com)<sup>1</sup>, [wimam6465@gmail.com](mailto:wimam6465@gmail.com)<sup>2</sup>, [wahyuyuanuarizky28@gmail.com](mailto:wahyuyuanuarizky28@gmail.com)<sup>3</sup>,  
[donisukisno@gmail.com](mailto:donisukisno@gmail.com)<sup>4</sup>

SUBMITTED : APR 30, 2026

ACCEPTED : JUNE 11, 2026

PUBLISHED : JUNE 20, 2026

### ***Abstract***

*This research aims to design and implement a low-cost, easy-to-install, and auditable household-scale electricity consumption monitoring system. The system is developed based on an ESP32 microcontroller and a PZEM-004T sensor (up to 100 A), equipped with a 20x4 LCD local display and automatic recording to Google Sheets for daily, weekly, and monthly recaps. The methods used include hardware design, data acquisition programming and scheduled uploads, and accuracy validation against reference instruments (digital meter/DT-266 and kWh meter). The test results show high accuracy in single-point tests with relative errors of 0.089% (voltage), 0.11% (current), and 0.55% (power), all below 1%. Multi-time tests (09.00; 12.00; 03.00) recorded an average voltage error of  $\approx 0.35\%$  with  $\Delta V \approx 0.8$  V, confirming the consistency of the readings. During a six-day energy validation, the Google Sheets total of 19,358 kWh matched the kWh meter reading of 19,310 kWh (a difference of 0.048 kWh;  $\approx 0.25\%$ ), with an average consumption of  $\approx 3.22$  kWh/day. The device is capable of monitoring consumption and estimating pre-bill costs.*

**Keywords:** ESP32, PZEM-004T, Monitoring, IoT

### ***Abstrak***

Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem Monitoring konsumsi energi listrik skala rumah tangga yang berbiaya rendah, mudah dipasang, dan dapat diaudit. Sistem dikembangkan berbasis mikrokontroler ESP32 dan sensor PZEM-004T (hingga 100 A), dilengkapi tampilan lokal LCD 20x4 serta pencatatan otomatis ke Google Sheets untuk rekap harian, mingguan, dan bulanan. Metode yang digunakan meliputi perancangan perangkat keras, pemrograman akuisisi data dan unggah terjadwal, serta validasi akurasi terhadap instrumen rujukan (meter digital/DT-266 dan kWh meter). Hasil pengujian menunjukkan akurasi tinggi pada uji titik-tunggal dengan galat relatif 0,089% (tegangan), 0,11% (arus), dan 0,55% (daya), seluruhnya di bawah 1%. Uji multi-waktu (09.00; 12.00; 03.00) mencatat rata-rata galat tegangan  $\approx 0,35\%$  dengan  $\Delta V \approx 0,8$  V, menegaskan konsistensi pembacaan. Pada validasi energi selama enam hari, total Google Sheets sebesar 19,358 kWh berdekatan dengan pembacaan kWh meter 19,310 kWh (selisih 0,048 kWh;  $\approx 0,25\%$ ), dengan rata-rata konsumsi  $\approx 3,22$  kWh/hari. Perangkat ini mampu memantau konsumsi serta estimasi biaya pra-tagihan.

**Kata kunci:** ESP32, PZEM-004T, Monitoring, IoT

## **1. PENDAHULUAN**

Sektor rumah tangga menyumbang porsi besar konsumsi listrik nasional, sementara kWh meter PLN umumnya hanya menampilkan akumulasi energi sehingga kurang informatif untuk kendali biaya harian pengguna. Zaen (2021) menyatakan bahwa diperlukan sistem monitoring real-time yang murah, mudah dipasang, dan datanya dapat diaudit oleh pengguna non-teknis.

Penelitian ini merancang prototipe pemantauan konsumsi energi pada home *industry* berbasis ESP32 dan sensor PZEM-004T (hingga 100 A), dilengkapi LCD 20x4 serta pencatatan otomatis ke *Google Sheets* agar data harian-mingguan-bulanan dapat diakses dan divisualkan tanpa infrastruktur server tambahan.(Nirwan, 2020)

Permasalahan yang dijawab adalah bagaimana mengukur tegangan, arus, daya, dan energi (kWh) secara real-time pada satu fasa dan bagaimana mengintegrasikannya ke *Google Sheets* untuk penyimpanan serta penyajian otomatis. Tujuan utamanya ialah membangun sistem ukur real-time dan pipeline unggah otomatis yang memudahkan pemantauan jarak jauh dan rekap periodik. Ruang lingkup dibatasi pada satu titik ukur, fungsi monitoring saja (tanpa kontrol beban), kebutuhan *Wi-Fi* aktif, dan parameter utama V-I-P-kWh.

Manfaat bagi pengguna adalah meningkatnya kesadaran pola konsumsi dan estimasi pra-tagihan; bagi pengembang/komunitas, studi ini menunjukkan pendekatan IoT hemat biaya yang mudah direplikasi. Seto (2025) mengemukakan bahwa metode yang ditempuh meliputi perancangan perangkat keras (ESP32-PZEM-LCD), penyusunan firmware akuisisi dan unggah terjadwal ke Apps Script Web App, serta validasi akurasi terhadap multimeter/kWh meter untuk menilai galat dan konsistensinya.

## 2. METODE

Metode penelitian menggunakan pendekatan perancangan–implementasi–validasi pada sistem monitoring energi satu fasa skala home *Industry* berbasis ESP32, sensor PZEM-004T v3, LCD I2C 20×4, dan integrasi *Google Sheets* untuk pencatatan serta dashboard otomatis. Metode penelitian akan dibagi menjadi empat bagian yaitu, dasar teori, alur penelitian, rancangan perangkat keras dan rancangan perangkat lunak.

### 2.1. Dasar Teori

#### 2.1.1 Besaran dan hukum dasar kelistrikan

Analisis sistem monitoring energi bertumpu pada besaran arus (I), tegangan (V), dan hambatan (R) dengan keterkaitan utama  $V = I \cdot R$ . Daya didefinisikan sebagai laju pemakaian energi ( $P = W/t$ ) dan pada rangkaian listrik dipraktikkan sebagai  $P = V \cdot I$ . Kerangka ini menjadi dasar penurunan parameter turunan yang ditampilkan dan direkam oleh sistem. (Zaen, 2021)

#### 2.1.2 Daya nyata, reaktif, semu, dan faktor daya.

Untuk menilai efisiensi konsumsi, digunakan pemisahan daya menjadi komponen nyata/aktif (P, Watt), reaktif (Q, VAR), dan semu (S, VA). Relasi fasor menurunkan  $P = V \cos \phi$ ,  $Q = V \sin \phi$ , dan  $S = VI$ . Nilai  $\cos \phi$  (faktor daya) menunjukkan seberapa efektif energi listrik diubah menjadi kerja; faktor daya rendah menandakan dominasi komponen reaktif yang menurunkan kualitas pemakaian. (Nirwan, 2020)

#### 2.1.3 Energi (kWh), beban, dan konversi biaya

Energi listrik dinyatakan dalam kilowatt-hour dengan hubungan  $kWh = kW \times \text{jam}$ . Pada beban rumah tangga maupun home-*industry*, akumulasi kWh menjadi dasar estimasi biaya: Biaya = Energi (kWh) × Tarif (Rp/kWh). Untuk sistem multi-fasa seimbang, daya total setara tiga kali daya per fasa, sehingga perhitungan perlu memperhatikan konfigurasi jaringan. (Zaen, 2021).

#### 2.1.4 Sensor PZEM-004T

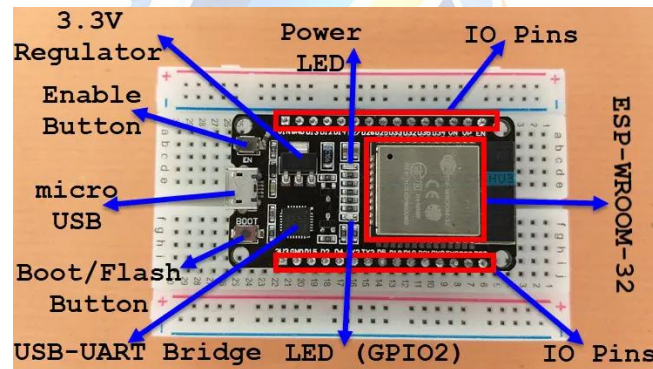
PZEM-004T berperan sebagai modul ukur terintegrasi untuk memperoleh tegangan, arus, daya aktif, energi (kWh), frekuensi, dan faktor daya pada jaringan AC. Pengukuran arus menggunakan *CT clamp* sehingga jalur tidak perlu diputus; CT wajib dipasang pada konduktor fase agar pembacaan representatif. Antarmuka UART memudahkan integrasi ke mikrokontroler tanpa kebutuhan rangkaian antarmuka kompleks.



Gambar 2.1 Sensor Pzem-004T

### 2.1.5 Mikrokontroler ESP32

ESP32 dipilih sebagai pengendali karena menggabungkan pemroses berkecepatan tinggi dengan konektivitas Wi-Fi/Bluetooth dan antarmuka komunikasi (UART, I<sup>2</sup>C, SPI). Dalam sistem ini, ESP32 membaca data PZEM melalui UART, mengelola penjadwalan pembacaan/unggahan, melakukan penandaan waktu, menampilkan nilai di LCD, dan mengirimkan data ke layanan web secara aman (HTTPS). (Espressif, 2025)



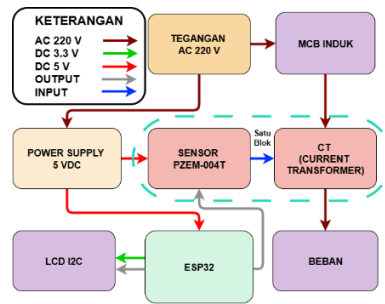
Gambar 2.2 Papan ESP32

### 2.1.6 Google Sheets dan Google Apps Script (GAS) sebagai basis data, API, & otomasi.

Google Sheets berfungsi sebagai penyimpanan terpusat yang mudah diakses lintas perangkat, menampung tabel log, rekap otomatis (harian–mingguan–bulanan), serta grafik untuk memantau tren konsumsi dan estimasi biaya. Melalui GAS, disediakan endpoint web (mis. doPost) untuk menerima data dari ESP32, menjalankan prosedur pembaruan rekap, dan membangkitkan/menyegarkan grafik secara otomatis. Deployment sebagai Web App memungkinkan kontrol akses yang jelas serta pemisahan kredensial, sementara menu kustom dan trigger terjadwal menyederhanakan operasi rutin tanpa intervensi manual. Struktur sheet disusun modular agar mudah diekspor atau diintegrasikan ke laporan.

### 2.1. Alur Penelitian

Penelitian diawali dengan pemetaan kebutuhan pemantauan konsumsi energi pada home industry agar data penggunaan listrik tersedia secara real-time beserta estimasi biaya pra-tagihan, sekaligus menentukan titik ukur yang aman, interval sampling, dan format pelaporan. Berdasarkan kajian teori (parameter V, I, P, kWh; faktor daya; karakteristik PZEM-004T; kapabilitas ESP32 pada UART, I<sup>2</sup>C, dan Wi-Fi; serta integrasi Google Apps Script—Google Sheets), sistem dirancang sebagaimana diagram blok pada Gambar 3.1: sumber AC-220 V diamankan MCB induk menuju beban; arus beban diakuisisi CT (current transformer) dan diproses modul PZEM-004T; ESP32 berperan sebagai pengendali dan pengirim data; LCD I<sup>2</sup>C menampilkan umpan balik lokal (nilai ukur, status koneksi); sementara catu 5 VDC menyuplai rangkaian kendali. Susunan ini memastikan jalur daya dan jalur sinyal terpisah, pemasangan CT berada pada konduktor fasa, dan keselamatan operasi terjaga dalam enclosure.



Gambar 2.3 Diagram blok perancangan perangkat keras

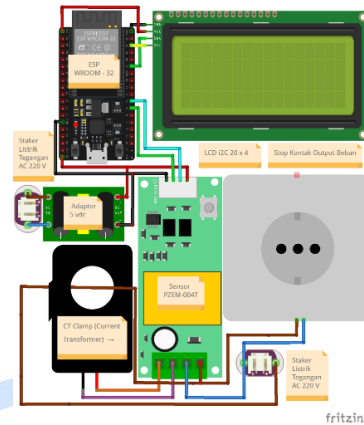
Implementasi perangkat lunak mencakup inisialisasi ESP32–PZEM–LCD–Wi-Fi, sinkronisasi waktu (untuk timestamp), pembacaan terjadwal tegangan–arus–daya–energi dengan pemeriksaan rentang/validitas, pengemasan payload JSON (timestamp, V, I, P, kWh, status), serta pengiriman ke endpoint GAS melalui HTTP/HTTPS dengan mekanisme retry dan exponential back-off jika terjadi kegagalan. Alur kerja ini divisualisasikan pada Gambar 3.2 (flowchart): mulai → inisialisasi → pembacaan sensor → pengiriman data → verifikasi keberhasilan (tampilkan kesalahan di LCD dan ulangi bila gagal) → penyimpanan real-time di Google Sheets → penayangan pada LCD/aplikasi → proses berulang periodik. Dengan skema kolom log yang konsisten, data yang terkirim otomatis mendukung rekap dan grafik pemantauan untuk analisis penggunaan energi.



Gambar 2.4 (flowchart)

## 2.2. Rancangan Perangkat Keras

Rancangan perangkat keras terdiri atas modul sensor energi PZEM-004T (v3) sebagai akuisisi parameter listrik (V, I, P, kWh), ESP32 sebagai pengendali dan pengirim data, serta LCD 20×4 ber-I<sup>2</sup>C sebagai tampilan lokal. Antarmuka UART digunakan untuk komunikasi ESP32–PZEM, sedangkan I<sup>2</sup>C digunakan untuk LCD guna menghemat GPIO. Current transformer (CT) dipasang pada konduktor fase untuk memperoleh pembacaan arus yang representatif. Sufiatika (2024) menyatakan mengenai aspek keselamatan diperhatikan melalui penggunaan MCB, pengkabelan terisolasi, dan enclosure tertutup pada sisi tegangan AC.



Gambar 2.5 Skema Perancangan Hardware

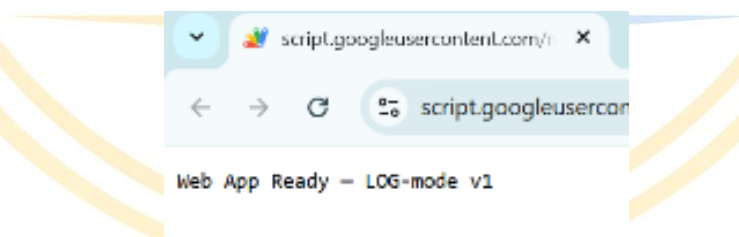
### 2.3. Rancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak mencakup firmware ESP32 dan backend berbasis *Google Apps Script* (GAS). Firmware melakukan inisialisasi Wi-Fi, pembacaan periodik sensor, validasi rentang nilai, penandaan waktu, pembaruan LCD, serta pengiriman *HTTP(S) POST* dalam format *JSON*. Di sisi server, GAS menyediakan endpoint *doPost* untuk menerima payload, menuliskan data ke *Google Sheets*, menjalankan rekap harian-mingguan-bulanan, dan menyegarkan dashboard. Mekanisme *retry/backoff* dan *watchdog* diterapkan untuk meningkatkan ketersediaan, sedangkan skema kolom log dibuat konsisten agar rekap dan visualisasi berjalan stabil. (Seto, 2025)

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

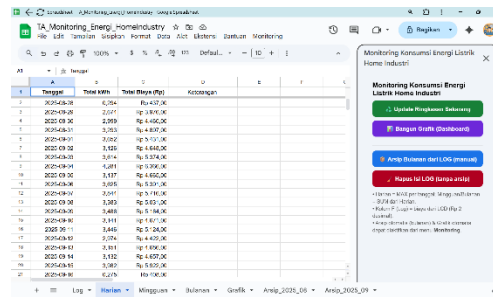
### 3.1 Pengujian Software

Pengujian software dilakukan untuk memastikan layanan *backend Google Apps Script* (GAS) berjalan ujung-ke-ujung: menerima *payload* dari ESP32 melalui metode *doPost*, menuliskannya ke *worksheet* Log, dan memicu pembentukan rekap harian-mingguan-bulanan beserta penyegaran grafik. Pada tahap ini dikirim *payload JSON* berisi *timestamp*, V, I, P, kWh, status baik dari perangkat maupun *client* uji (*Postman/curl*). Respons *HTTP 200* dan kemunculan baris baru dengan skema kolom yang benar pada Log digunakan sebagai indikator penerimaan data yang sukses. (Seto, 2025)



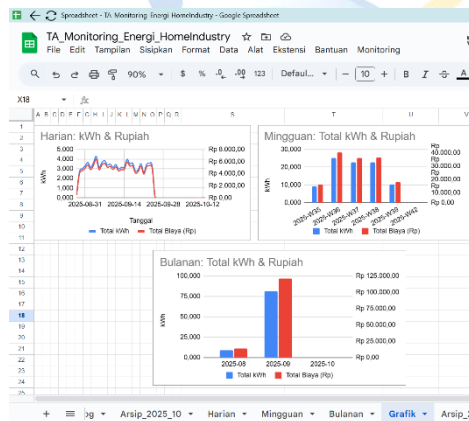
Gambar 3.1 Tampilan Halaman *Web App* yang Berhasil Dijalankan pada Mode LOG

Setelah aliran data stabil ( $\geq 10$  entri per hari), sistem diverifikasi menghasilkan agregasi pada lembar Harian, kemudian diuji lintas hari untuk memastikan rekap Mingguan dan Bulanan konsisten terhadap data mentah; proses Arsip Bulanan juga dijalankan untuk memindahkan data periode aktif ke *worksheet* Arsip\_YYYY\_MM sekaligus mereset.



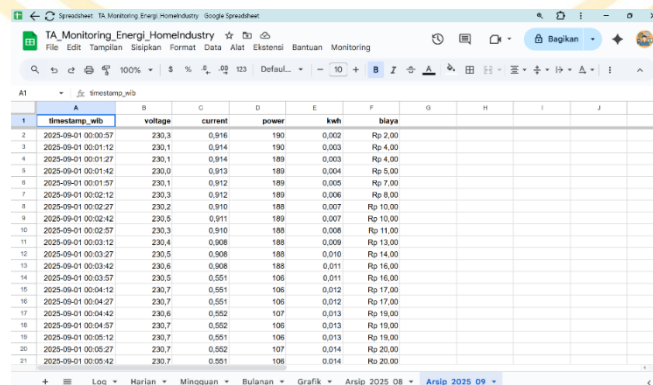
Gambar 3.2 Tampilan data kwh Harian pada Google Sheets

Selanjutnya, menu Bangun Grafik dieksekusi guna membentuk/menyegarkan visualisasi tren (mis. kWh harian dan parameter utama), dan hasilnya diperiksa kecocokannya dengan nilai pada lembar rekap.



Gambar 3.3 Tampilan grafik Harian, Mingguan dan Bulanan pada Google Sheets

Ketahanan sistem diuji dengan mensimulasikan kegagalan jaringan singkat: *payload* yang gagal dikirim dipicu ulang dengan mekanisme *retry/back-off*, sementara *payload* duplikat tidak boleh menggandakan agregat; status keberhasilan/kesalahan ditampilkan pada LCD untuk memudahkan pemantauan. Uji-uji tersebut menyimpulkan bahwa jalur doPost → Log → Rekap → Grafik bekerja sesuai rancangan, sehingga data yang masuk dapat langsung dipakai untuk pemantauan *real-time* dan analisis periodik. (Saptiaji, 2016)



Gambar 3.4 Tampilan Data Arsip Bulan September 2025 pada Google Sheets

Tabel 3.1 hasil perbandingan

Kode uji	deskripsi	Langkah singkkat	Hasil yang di harapkan
SW-01	Uji doGet	Akses URL <i>Web App</i>	Menampilkan teks “ <i>Web App Ready —</i> ”
SW-02	Uji ringkasan	Jalankan Update Ringkasan	Harian=MAX; Mingguan/Bulanan=SUM dari Harian
SW-03	Uji arsip	Klik Arsip Bulanan	Data pindah ke Arsip_YYYY_MM, Log bersih
SW-04	Uji grafik	Jalankan Bangun Grafik	Tiga grafik terbuat di sheet Grafik

### 3.2 Uji Validasi tegangan, arus, dan daya

Pengujian parameter instan dilaksanakan secara serentak antara sistem ESP32–PZEM–Sheets dan instrumen acuan pada kondisi beban stabil. Hasil pengukuran menunjukkan kedekatan yang tinggi: tegangan 225,3 V (acuan) dibanding 225,1 V (sistem) dengan galat 0,089%; arus 0,896 A dibanding 0,895 A dengan galat 0,11%; serta daya 159,88 W dibanding 159 W dengan galat 0,55%. Seluruh galat berada di bawah 1%, menandakan ketepatan baca yang memadai untuk keperluan pemantauan Real Time pada skala home-*industry*.



Gambar 3.5 perbandingan Tegangan Arus dan Daya pada meteran dan sensor Pzem\_004T. (Syahri, 2025)



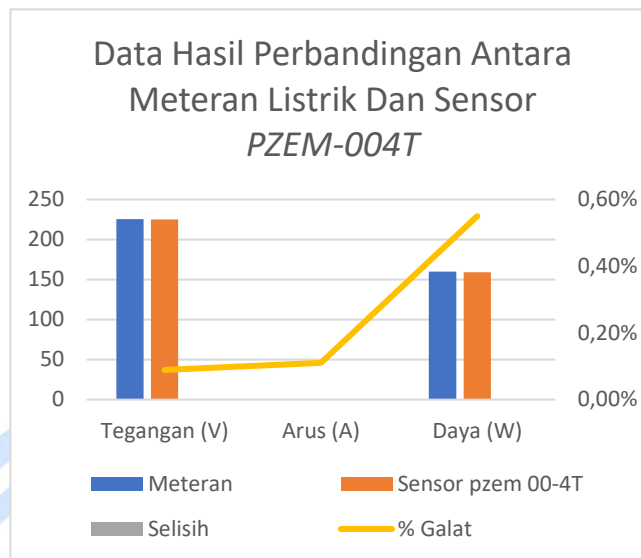
Gambar 3.6 perbandingan Tegangan Arus dan Daya pada meteran dan sensor Pzem\_004T. (Syahri, 2025)

Prosedur validasi ditempuh dengan penyeragaman *timestamp*, penempatan *current transformer* (CT) pada konduktor fase, serta penetapan jeda stabilisasi sebelum pencatatan untuk meminimalkan *sampling offset* dan fluktuasi transien. Persentase galat dihitung dengan rumus  $|x_{\text{Alat}} - x_{\text{acuan}}| / x_{\text{acuan}} \times 100\%$  per parameter. Faktor-faktor seperti toleransi instrumen, pembulatan tampilan, dan sifat beban nonlinier diperkirakan berkontribusi terhadap sisa selisih, namun tidak memengaruhi kesimpulan bahwa akurasi V–I–P sistem telah memenuhi kebutuhan pemantauan, alarm konsumsi, dan audit beban dasar.

Tabel 3.2 hasil perbandingan

Parameter	Meteran	Sensor pzem 00-4T	Selisih	% Galat
Tegangan(V)	225,3	225,1	0,2 V	0,089 %
Arus (A)	0,896	0,895	0,001 A	0,11 %
Daya (W)	159,88	159	0,88 W	0,55 %

Hasil pengujian fungsional *Google Apps Script* menunjukkan alur doPost → Log → Rekap (Harian/Mingguan/Bulanan) → Grafik berjalan sesuai rancangan: *payload* valid diterima (*HTTP 200*) dan tercatat rapi, rekap terbentuk konsisten, menu Arsip Bulanan dan Bangun Grafik berfungsi, serta *time-trigger* menjaga pembaruan berkala. Uji ketahanan juga memadai—*payload* tidak valid ditolak tanpa merusak skema, duplikasi tidak mengandakan agregat, dan mekanisme *retry/back-off* memulihkan kirim setelah gangguan jaringan. Dengan demikian, modul software layak untuk pemantauan *real-time* dan analisis periodik.



Gambar 3.7 Bagan Hasil Perbandingan Antara Meteran Listrik Dan Sensor PZEM-004T

### 3.3 Uji Validasi energi harian (kWh) terhadap meter PLN

Validasi akumulasi energi dilakukan dengan membandingkan hasil rekap *Google Sheets* terhadap dokumentasi foto kWh meter PLN pada beberapa interval hari. Total energi tercatat sebesar 19,358 kWh (Sheets) dan 19,310 kWh (foto meter), menghasilkan selisih kumulatif 0,048 kWh atau  $\approx 0,25\%$ . Pada masing-masing interval, persentase selisih tidak melebihi 0,39%. Temuan ini menunjukkan bahwa mekanisme akuisisi, pencatatan, dan agregasi pada sistem telah konsisten terhadap nilai rujukan utilitas.

Metodologi perbandingan menekankan konsistensi penandaan waktu, pengambilan foto meter pada awal–akhir interval, serta penggunaan skema kolom yang seragam di lembar log untuk mengurangi bias perhitungan. Persentase selisih dihitung menggunakan  $|E_{\text{Sheets}} - E_{\text{Foto}}| / E_{\text{Foto}} \times 100\%$ . Potensi sumber deviasi—antara lain pembulatan digit pada meter, ketidaksinkronan momen pembacaan, dan agregasi di tingkat rekap—diidentifikasi sebagai penyebab residu kecil, namun tidak mengubah kesimpulan bahwa ketelitian akumulasi energi berada pada rentang yang dapat diterima untuk estimasi biaya periodik dan penilaian tren konsumsi.



Gambar 3.8 Tampilan Pembacaan Kwh



Gambar 3.9 Tampilan Pembacaan Kwh



Gambar 3.10 Tampilan Pembacaan Kwh

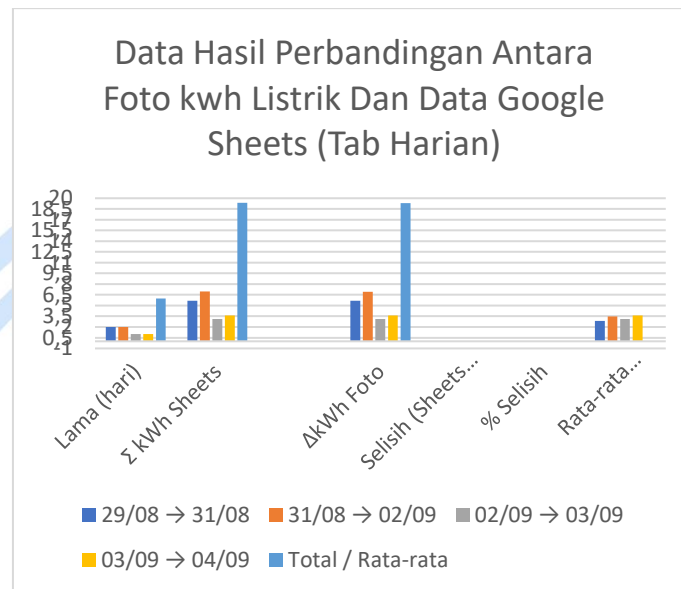
Tanggal	Total kWh	Total Biaya (Rp)	Keterangan
2025-08-28	0,294	Rp 437,00	
2025-08-29	2,674	Rp 3.976,00	DATA UJI
2025-08-30	2,999	Rp 4.460,00	DATA UJI
2025-08-31	3,293	Rp 4.897,00	DATA UJI
2025-09-01	3,652	Rp 5.431,00	DATA UJI
2025-09-02	3,126	Rp 4.649,00	DATA UJI
2025-09-03	3.814	Rp 5.724,00	DATA UJI
2025-09-04	4,281	Rp 6.368,00	DATA UJI
2025-09-05	3,137	Rp 4.665,00	
2025-09-06	3,625	Rp 5.391,00	
2025-09-07	3,844	Rp 5.718,00	
2025-09-08	3,383	Rp 5.031,00	
2025-09-09	3,486	Rp 5.194,00	
2025-09-10	3,141	Rp 4.671,00	
2025-09-11	3,446	Rp 5.124,00	
2025-09-12	2,974	Rp 4.422,00	
2025-09-13	3,151	Rp 4.688,00	
2025-09-14	3,132	Rp 4.657,00	
2025-09-15	3,982	Rp 5.922,00	
2025-09-16	3,512	Rp 5.223,00	

Gambar 3.11 Tampilan Data Konsumsi Harian Energi Listrik pada Google Sheets

Tabel 3.3 Perbandingan Hasil Pembacaan kWh antara Google Sheets dan Foto kWh Meter

Interval	Lama (hari)	Σ kWh Sheets	ΔkWh Foto	Selisih (Sheets – Foto)	% Selisih	Rata-rata (kWh/hari)
29/08 → 31/08	2	5,673	5,660	0,013	0,23%	2,83
31/08 → 02/09	2	6,945	6,930	0,015	0,22%	3,47

02/09 → 03/09	1	3,126	3,120	0,006	0,19%	3,12
03/09 → 04/09	1	3,614	3,600	0,014	0,39%	3,60
<b>Total / Rata-rata</b>	6	19,358	19,310	0,048	≈0,25%	≈3,22



**Gambar 3.12** Data Hasil Perbandingan Antara Foto kwh Listrik Dan Data *Google Sheets* pada Tab Harian

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan memvalidasi sistem monitoring konsumsi energi listrik *real-time* berbasis ESP32–PZEM-004T dengan *backend Google Sheets + Google Apps Script (GAS)*. Arsitektur yang diusulkan mencakup akuisisi parameter utama (V, I, P, kWh), transmisi *HTTP/HTTPS*, pencatatan terstruktur, rekap otomatis (harian–mingguan–bulanan), dan *dashboard* visual yang mudah diakses.

Uji metrologi menunjukkan akurasi yang tinggi: galat parameter instan (tegangan, arus, daya) < 1%, sedangkan deviasi akumulasi energi harian ≈ 0,25% terhadap kWh meter PLN. Hasil ini dicapai melalui prosedur validasi serempak (sinkronisasi waktu), penempatan CT pada konduktor fase, dan pengendalian kondisi beban, sehingga sistem layak untuk pemantauan, audit beban, dan estimasi biaya pada skala *home-industry*.

Dari sisi operasional, integrasi ujung-ke-ujung berjalan stabil: data tampil di LCD, tersimpan di *Sheets*, dan otomatis direkap menjadi ringkasan serta grafik tren. Kontribusi utama penelitian ini adalah kombinasi biaya-efektif (tanpa server khusus) dengan metodologi validasi yang jelas, sehingga mudah direplikasi dan diterapkan pengguna non-teknis. [12]

Batasan penelitian meliputi fokus pada jaringan satu fasa, ketergantungan pada kualitas Wi-Fi, dan asumsi tarif tetap. Ke depan, sistem dapat dikembangkan menuju notifikasi lonjakan beban, multi-titik pemantauan, dukungan tarif dinamis, serta integrasi kendali beban otomatis untuk pengelolaan energi yang lebih efisien.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, S., & Artono, T. (2019). Pengukuran energi listrik berbasis PZEM-004T. *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*, 3(1).
- Dinata, I. (2015). Implementasi wireless monitoring energi listrik berbasis web database. 4(1).
- Erintafifah. (2021, October 8). Mengenal perangkat lunak Arduino IDE. *KMTech*. [HTTPS://www.kmtech.id/post/mengenal-perangkat-lunak-arduino-ide](https://www.kmtech.id/post/mengenal-perangkat-lunak-arduino-ide)
- Espressif Systems. (n.d.). ESP32 Wi-Fi & Bluetooth SoC. *Espressif*. Diakses 12 September 2025, dari [HTTPS://www.espressif.com/en/products/socs/esp32](https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32)
- HC Software. (2023, May 21). Google Sheet: Pengertian, kegunaan, cara menggunakannya. *LinovHR*. [HTTPS://www.linovhr.com/google-sheet-adalah/](https://www.linovhr.com/google-sheet-adalah/)
- Ibrahim, R., & Jurnal, B. Y.-. (2022). Rancang bangun monitoring pemakaian arus listrik PLN berbasis IoT.
- Ilmi, U. (2019). Studi persamaan regresi linear untuk penyelesaian persoalan daya listrik. 11(1).
- Nirwan, S. (2020). *Rancang bangun aplikasi untuk prototipe sistem monitoring konsumsi energi listrik pada peralatan elektronik berbasis PZEM-004T*.
- Pangestu, A. (2019). Sistem monitoring beban listrik berbasis Arduino NodeMCU ESP8266.
- Saptaji. (2016, June 27). Bekerja dengan I2C LCD dan Arduino. *Saptaji.com*. [HTTPS://saptaji.com/2016/06/27/bekerja-dengan-i2c-lcd-dan-arduino/](https://saptaji.com/2016/06/27/bekerja-dengan-i2c-lcd-dan-arduino/)
- Sasmita, & Ningrum. (2023). Sistem monitoring kualitas udara pada gas karbon.
- Seto, F. (2025, March 28). *Google Apps Script tutorial with Google Sheets*. *Coupler.io Blog*. [HTTPS://blog.coupler.io/google-apps-script-tutorial/](https://blog.coupler.io/google-apps-script-tutorial/)
- Sufiatika, R. (2024). Sistem monitoring penggunaan energi perangkat listrik rumah via bot Telegram.
- Syahri, A., & Bintoro, A. (n.d.). Monitoring dan controlling daya berbasis Arduino Uno menggunakan sensor PZEM-004T.
- Yahwe, C. P., Isnawaty, & Aksara, L. M. F. (2016). Rancang bangun prototype sistem monitoring kelembaban tanah melalui SMS berdasarkan hasil penyiraman tanaman: Studi kasus tanaman cabai. 2(1), 97–110.
- Zaen, S. L. (2021). Sistem monitoring pemakaian energi listrik rumah tangga berbasis web