

## RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING KINERJA AUTOMATIC TRANSFER SWITCH (ATS) BERBASIS ESP32 DAN PLATFORM FIREBASE

I Kadek Anggara Sastra Wijaya Putra<sup>1</sup>, Lie Jasa<sup>2</sup>, I Gusti Putu Raka Agung<sup>3</sup>

<sup>123</sup> Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana  
Jl. Raya Kampus Unud Jimbaran, Kec. Kuta Selatan, Kabupaten Badung, Bali 80361  
[anggarasastra5@gmail.com](mailto:anggarasastra5@gmail.com), [liejasa@unud.ac.id](mailto:liejasa@unud.ac.id), [rakaagung@unud.ac.id](mailto:rakaagung@unud.ac.id)

### ABSTRAK

Pada era transisi energi dan digitalisasi, pemantauan konsumsi daya secara langsung menjadi kunci untuk optimalisasi dan integrasi sumber energi terbarukan. Penelitian ini merancang sebuah sistem monitoring energi berbasis Internet of Things (IoT) untuk memantau parameter listrik tegangan, arus, dan daya dari sumber PLTS, jaringan PLN, serta beban, sekaligus menganalisis kontribusi energi terbarukan terhadap total konsumsi harian. Prototipe ini menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan sensor arus (ACS712) dan tegangan (ZMPT101B), di mana data dikirim ke Firebase Realtime Database dan divisualisasikan melalui aplikasi mobile Android. Hasil pengujian menunjukkan sistem berhasil memvalidasi fungsionalitas monitoring secara langsung. Namun, ditemukan adanya error akurasi sistematis yang signifikan: sensor arus menunjukkan offset pembacaan akibat interferensi perangkat lain, sementara sensor tegangan mengalami kelambatan respons akibat implementasi filter perangkat lunak. Kesimpulannya, sistem monitoring ini terbukti efektif untuk pemantauan fungsional dan evaluasi tren penggunaan energi hibrida, namun memerlukan kalibrasi sensor dan optimasi filter untuk mencapai akurasi data yang presisi. Implikasi praktisnya, prototipe ini menjadi landasan untuk pengembangan sistem manajemen energi cerdas pada instalasi PLTS skala kecil atau microgrid guna meningkatkan efisiensi dan transparansi penggunaan energi.

**Kata kunci:** IoT, pemantauan energi, PLTS hibrida, ESP32, Firebase

### ABSTRACT

*In the concurrent eras of energy transition and digitalization, real-time power consumption monitoring is crucial for the optimization and integration of renewable energy sources. This research details the design of an Internet of Things (IoT)-based energy monitoring system to track key electrical parameters voltage, current, and power from a photovoltaic (PV) system, the utility grid, and the load. The system is further designed to analyze the contribution of renewable energy to the total daily consumption. The prototype utilizes an ESP32 microcontroller interfaced with an ACS712 current sensor and a ZMPT101B voltage sensor. Data is transmitted to a Firebase Realtime Database and visualized through a dedicated Android mobile application. Experimental results successfully validated the system's real-time monitoring functionality. However, significant systematic accuracy errors were identified: the current sensor exhibited a reading*

### Article History

Received: Januari 2026

Reviewed: Januari 2026

Published: Januari 2026

Plagiarism Checker No 821

Prefix DOI : Prefix DOI :

10.8734/Kohesi.v1i2.365

Copyright : Author

Publish by : Kohesi



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



*offset attributed to interference from other devices, while the voltage sensor experienced response latency due to the implementation of a software filter. In conclusion, the system is effective for functional monitoring and evaluating hybrid energy usage trends, but requires meticulous sensor calibration and filter optimization to achieve high-fidelity data. As a practical implication, this prototype serves as a foundational framework for the development of smart energy management systems (EMS) in small-scale PV installations or microgrids, aiming to enhance energy efficiency and transparency.*

**Key words:** IoT, Energy Monitoring, Hybrid PV System, ESP32, Firebase

## 1. PENDAHULUAN

Transisi global menuju energi bersih telah menjadi agenda utama yang didorong oleh urgensi perubahan iklim dan kebutuhan akan kemandirian energi. Sejalan dengan tren ini, pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) terus mengalami peningkatan signifikan, terutama pada skala residensial dan komersial dalam konfigurasi sistem hibrida yang terhubung dengan jaringan listrik utama (PLN) [9]. Sistem hibrida ini menjanjikan keandalan dan efisiensi, namun di sisi lain menciptakan sebuah tantangan fundamental: kurangnya transparansi data kinerja bagi pengguna akhir. Mayoritas pengguna tidak memiliki akses mudah untuk memvalidasi seberapa efektif sistem PLTS mereka dalam mengurangi ketergantungan pada jaringan konvensional [4].

Masalah utama yang muncul adalah adanya kesenjangan informasi antara sistem energi yang terpasang dengan penggunanya. Tanpa perangkat monitoring yang terperinci dan real-time, pengguna tidak dapat menjawab pertanyaan krusial mengenai pola konsumsi energi mereka, seperti berapa besar kontribusi energi surya terhadap total beban harian atau kapan beban puncak terjadi [1], [3]. Fenomena "kotak hitam" ini menyebabkan potensi penghematan dari energi terbarukan tidak dapat dimaksimalkan, karena keputusan penggunaan energi tidak didasarkan pada data aktual. Oleh karena itu, pengembangan sistem monitoring berbiaya rendah yang mampu menyediakan analisis data yang mudah dipahami menjadi sangat relevan.

Berbagai penelitian sebelumnya telah merintis pengembangan sistem monitoring energi berbasis Internet of Things (IoT). Studi-studi awal telah berhasil membuktikan kelayakan penggunaan berbagai platform seperti Arduino dan Raspberry Pi untuk memantau konsumsi energi secara umum [1]. Perkembangan selanjutnya mengarah pada pemanfaatan mikrokontroler ESP32 yang dinilai lebih unggul karena integrasi Wi-Fi dan efisiensi biaya yang tinggi [3]. Untuk manajemen data, platform cloud seperti Firebase telah divalidasi sebagai solusi yang andal untuk penanganan data IoT secara real-time dan visualisasi pada aplikasi mobile [5], [10]. Meskipun demikian, celah penelitian yang ada adalah kurangnya sistem terintegrasi yang tidak hanya memonitor, tetapi juga secara spesifik menganalisis dan membedah aliran daya dari kedua sumber (PLTS dan PLN) dalam sistem hibrida, lalu menyajikannya dalam format persentase kontribusi yang intuitif bagi pengguna non-teknis.

Maka dari itu, penelitian ini bertujuan untuk mengisi celah tersebut dengan merancang dan membangun sebuah prototipe sistem monitoring energi berbasis IoT. Tujuan utamanya adalah untuk membaca parameter kelistrikan (tegangan, arus, dan daya) secara terpisah dari sumber PLTS, PLN, dan keluaran beban. Lebih lanjut,

penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan menyajikan data tersebut dalam bentuk persentase kontribusi energi terbarukan terhadap total konsumsi harian. Manfaat yang diharapkan adalah memberdayakan pengguna dengan data yang transparan untuk mengoptimalkan penggunaan energi, sekaligus menyediakan arsitektur dasar untuk pengembangan sistem manajemen energi cerdas di masa depan [2], [7].

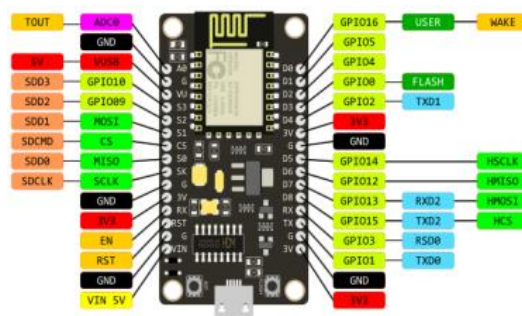
## 2. STUDI PUSTAKA

## 2.1 *Internet of Things (IoT)* untuk *Monitoring Energi*

Sistem monitoring energi berbasis Internet of Things (IoT) telah menjadi fokus utama dalam berbagai penelitian yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi energi dan menyediakan pengelolaan beban listrik yang lebih baik [1]. Konsep smart monitoring memanfaatkan teknologi IoT untuk memungkinkan pemantauan konsumsi energi secara real-time dari jarak jauh [2]. Penelitian sebelumnya telah banyak berfokus pada pengembangan sistem monitoring energi IoT berbiaya rendah (low-cost) [7]. Sistem semacam ini terbukti mampu memberikan data yang akurat untuk analisis pola konsumsi energi di berbagai lingkungan, seperti pada skala rumah tangga [1], sistem fotovoltaiik (PV) off-grid [4], [9], maupun pada bangunan komersial [2]. Penggunaan teknologi IoT dalam monitoring energi tidak hanya terbatas pada pengumpulan data, tetapi juga untuk pengendalian beban listrik, yang merupakan langkah penting menuju manajemen energi yang cerdas [1].

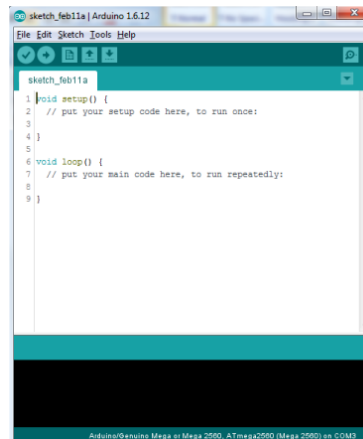
## 2.2 Mikrokontroler ESP32 dan Arduino IDE

Inti dari sebagian besar perangkat IoT modern adalah mikrokontroler. ESP32 adalah System on a Chip (SoC) yang sangat populer di kalangan peneliti dan pengembang IoT karena kinerjanya yang tinggi, konsumsi daya yang rendah, serta telah terintegrasi dengan modul Wi-Fi dan Bluetooth [3]. Kemampuan konektivitas nirkabel yang tertanam ini menjadikannya pilihan ideal untuk proyek monitoring real-time yang membutuhkan pengiriman data secara nirkabel ke cloud atau server [10].



### Gambar 1. Mikrokontroler ESP32

Pengembangan perangkat lunak untuk ESP32 seringkali dilakukan menggunakan Arduino IDE (Integrated Development Environment). Arduino IDE adalah platform open-source yang menyediakan editor kode, compiler, dan uploader program dalam satu paket yang mudah digunakan [5]. Platform ini mendukung berbagai macam board, termasuk ESP32, dan memiliki pustaka (library) yang sangat kaya untuk mengintegrasikan berbagai jenis sensor dan modul.

**Gambar 2. Arduino IDE**

Kombinasi antara hardware ESP32 yang mumpuni dan kemudahan pengembangan perangkat lunak menggunakan Arduino IDE telah terbukti sangat efektif dalam berbagai implementasi sistem monitoring IoT berbiaya rendah [3], [5].

### 2.3 Sensor Sistem Monitoring

Untuk memperoleh data listrik yang akurat, diperlukan sensor yang andal. Penelitian ini memanfaatkan dua jenis sensor utama untuk mengukur parameter listrik AC, yaitu PZEM-004T untuk arus dan daya, serta ZMPT101B untuk tegangan

#### 2.3.1 Sensor Arus dan Daya (PZEM-004T)

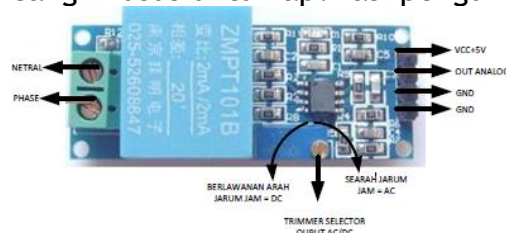
Dalam sistem monitoring energi AC, sensor PZEM-004T adalah komponen yang umum digunakan. Sensor ini merupakan modul non-invasif yang mampu mengukur empat parameter listrik sekaligus: tegangan (V), arus (A), daya aktif (W), dan konsumsi energi (kWh) [8].

**Gambar 3. Modul Sensor Pzem-004T**

Keunggulan utama sensor ini adalah penggunaannya yang tidak memerlukan pemotongan kabel (menggunakan Current Transformer / CT split-core) dan kemampuannya berkomunikasi data secara digital melalui antarmuka serial (UART). Penelitian oleh Allang dkk. [8] telah berhasil memanfaatkan sensor PZEM-004T untuk membangun sistem monitoring daya berbasis web, yang menunjukkan keandalan sensor ini untuk aplikasi pengumpulan data listrik secara akurat.

#### 2.3.2 Sensor Tegangan (ZMPT101B)

Untuk pengukuran tegangan AC yang presisi dan aman, sensor ZMPT101B sering menjadi pilihan. ZMPT101B adalah sebuah modul trafo tegangan (potential transformer) berukuran kecil yang dirancang khusus untuk aplikasi pengukuran [11].

**Gambar 4. Modul Sensor ZMPT101B**

Modul ini bekerja dengan mentransformasi tegangan AC tinggi (misalnya 220V) menjadi sinyal tegangan AC level rendah yang aman untuk dibaca oleh pin Analog-to-Digital Converter (ADC) pada mikrokontroler seperti ESP32. Sensor ini memiliki linearitas yang sangat baik dan menyediakan isolasi galvanis, yang krusial untuk melindungi rangkaian mikrokontroler dari tegangan tinggi jala-jala listrik [11], [12].

### 2.3.3 Platform Real-Time Database (Firebase)

Data yang telah dikumpulkan oleh sensor dan diolah oleh ESP32 perlu disimpan dan diakses dari jarak jauh. Firebase, sebuah platform Backend-as-a-Service (BaaS) yang dikembangkan oleh Google, menyediakan solusi komprehensif untuk kebutuhan ini. Salah satu layanan utamanya adalah Firebase Realtime Database, sebuah database NoSQL berbasis cloud yang memungkinkan sinkronisasi data secara real-time [5].

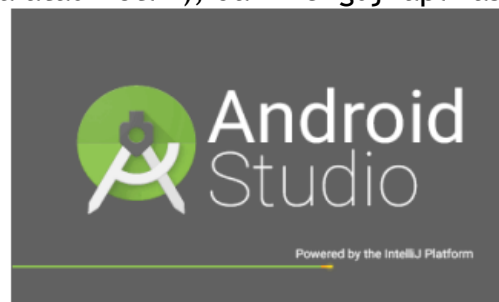


**Gambar 5.** Firebase Real-Time Database

Ketika ESP32 mengirimkan data pembacaan sensor ke Firebase, data tersebut akan langsung diperbarui dan didistribusikan ke semua perangkat klien yang terhubung, seperti aplikasi mobile atau dashboard web, dalam hitungan milidetik [10]. Penelitian oleh Sanchez-Pantoja dkk. [5] dan Priyatham dkk. [10] telah membuktikan efektivitas Firebase sebagai backend untuk sistem monitoring IoT, menyoroti kemudahan implementasi, skalabilitas, dan kapabilitas real-time yang ditawarkannya.

### 2.3.4 Pengembangan Aplikasi Mobile (Android Studio)

Untuk menyajikan data monitoring kepada pengguna akhir secara portabel dan interaktif, aplikasi mobile menjadi solusi yang paling umum. Android Studio adalah Integrated Development Environment (IDE) resmi yang digunakan untuk mengembangkan aplikasi pada platform Android [13]. Android Studio menyediakan perangkat lengkap untuk merancang antarmuka pengguna (UI), menulis kode (umumnya menggunakan bahasa Java atau Kotlin), dan menguji aplikasi.



**Gambar 6.** Android Studio

Dalam konteks sistem IoT, Android Studio memiliki keunggulan dalam kemudahan integrasi dengan layanan backend seperti Firebase [14]. Pengembang dapat dengan mudah mengonfigurasi aplikasi Android untuk "mendengarkan" (listen) perubahan data pada Firebase Realtime Database. Dengan demikian, setiap kali data baru masuk dari ESP32 ke Firebase, data tersebut dapat secara otomatis ditarik dan ditampilkan pada antarmuka aplikasi smartphone pengguna, memberikan pengalaman monitoring yang instan dan real-time [5], [13].

## 2.4 Validasi Sensor dan Perhitungan Error

Dalam implementasi sistem monitoring yang menggunakan sensor berbiaya rendah (low-cost), proses validasi dan kalibrasi menjadi tahapan krusial untuk menjamin keandalan data yang dihasilkan [6], [7]. Validasi dilakukan dengan

membandingkan hasil pembacaan sensor pada prototipe (nilai terukur) dengan hasil pengukuran dari instrumen standar atau alat ukur yang telah terkalibrasi (nilai acuan), seperti multimeter True RMS atau power analyzer [12].

Untuk mengukur tingkat akurasi atau penyimpangan, metode perhitungan persentase error umum digunakan. Rumus untuk menghitung persentase error adalah sebagai berikut:

$$\%Error = x = \frac{x - x^i}{x} \times 100\% \quad (1)$$

Di mana:

- $x'$  adalah nilai acuan,
- $x^i$  adalah nilai terukur,

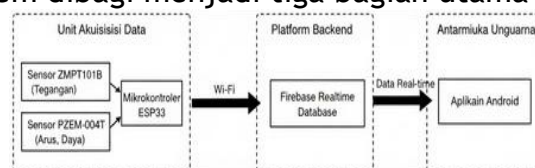
Penerapan perhitungan persentase galat tidak terbatas pada sensor kelistrikan, tetapi merupakan metode fundamental dalam validasi berbagai jenis sensor. Sebagai contoh, dalam sebuah studi ulasan (review) oleh Ivory dkk. [15] mengenai penggunaan sensor suhu pada inkubator bayi, persentase error menjadi tolok ukur utama. Penelitian tersebut meninjau berbagai studi untuk membandingkan respon pembacaan skala dan tingkat galat dari sensor yang berbeda. Hasil ulasan tersebut menegaskan bahwa perhitungan error sangat krusial untuk menentukan akurasi dan kelayakan sebuah sensor, terutama dalam aplikasi yang menuntut presisi tinggi seperti perangkat medis [15]. Hal ini memperkuat pentingnya melakukan uji validasi dengan menghitung persentase galat untuk memastikan data yang dihasilkan oleh sistem monitoring dapat diandalkan.

### 3. METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian ini menguraikan tahapan-tahapan yang dilakukan secara sistematis dalam perancangan dan implementasi sistem monitoring IoT untuk penggunaan energi terbarukan. Penelitian ini berfokus pada alur kerja sistem monitoring secara menyeluruh, mulai dari proses akuisisi data di sisi sensor, pengolahan data oleh mikrokontroler, pengiriman data ke database cloud, hingga visualisasi data pada aplikasi pengguna akhir.

#### 3.1 Perancangan Umum Sistem Monitoring IoT

Secara umum, sistem monitoring IoT ini dirancang untuk memantau parameter kelistrikan vital—meliputi tegangan, arus, dan daya—dari dua sumber daya yang berbeda, yaitu jaringan PLN dan sistem Inverter (PLTS). Untuk mencapai tujuan tersebut, arsitektur sistem dibagi menjadi tiga bagian utama yang saling terintegrasi:

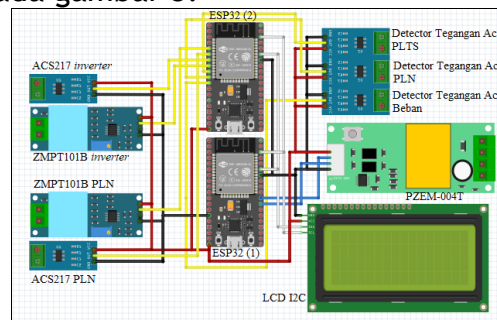


Gambar 7. Diagram Blok Monitoring IoT

#### 3.2 Desain dan Komponen Unit Akuisisi Data

Perancangan unit akuisisi data berfokus pada pemilihan komponen yang andal. Inti dari sistem ini adalah mikrokontroler ESP32 yang bertindak sebagai unit pemrosesan utama. Modul ini dipilih karena keunggulan utamanya yang telah memiliki fungsionalitas Wi-Fi built-in, memungkinkannya terhubung ke internet dan mengirim data langsung ke cloud tanpa modul tambahan. Untuk mengukur parameter listrik, ESP32 ini terhubung dengan dua jenis sensor: Sensor PZEM-004T yang digunakan untuk mengukur arus (A) dan daya (W) secara non-invasif melalui Current Transformer (CT) pada jalur PLN dan Inverter, serta Sensor ZMPT101B yang bertugas mengukur tegangan AC (V) dari kedua

sumber dengan aman, menggunakan pin Analog-to-Digital Converter (ADC) mikrokontroler. Dilihat pada gambar 5.



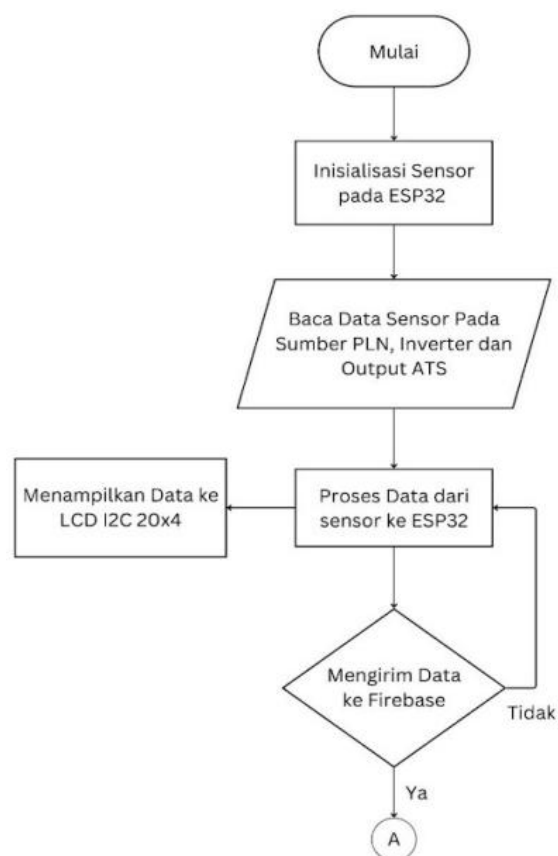
**Gambar 8.** Desain Alat *Monitoring IoT*

### 3.3 Pengembangan Platform dan Antarmuka

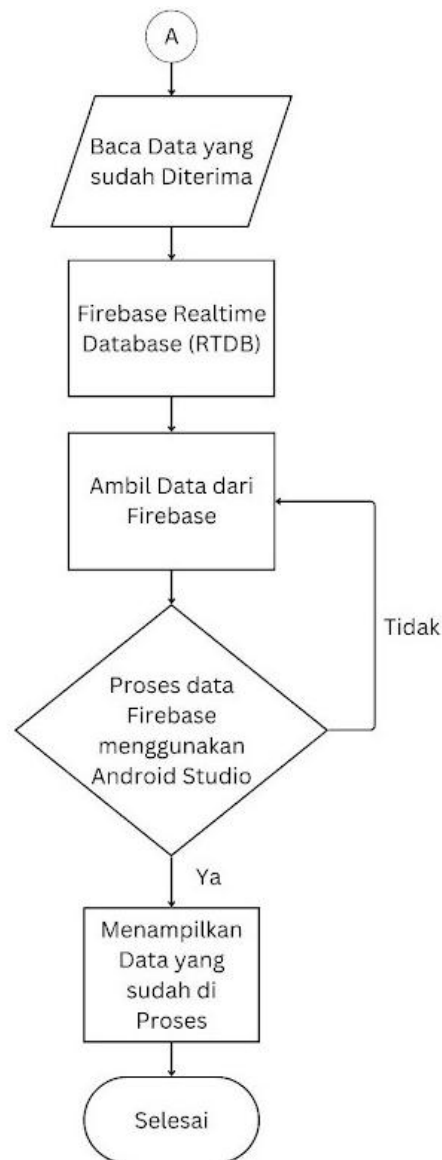
Pengembangan platform merupakan aspek krusial yang menjembatani unit akuisisi data dengan pengguna. Logika program (firmware) untuk mikrokontroler ESP32 dikembangkan menggunakan Arduino IDE. Firmware ini bertugas untuk melakukan inisialisasi koneksi Wi-Fi, membaca data sensor secara periodik, dan mengirimkan data terformat ke cloud. Sebagai backend, platform Firebase Realtime Database dimanfaatkan sebagai server NoSQL berbasis cloud. Firebase dipilih karena kemampuannya menyinkronkan data secara real-time ke semua klien yang terhubung. Terakhir, untuk frontend, sebuah aplikasi mobile dikembangkan menggunakan Android Studio. Aplikasi ini terhubung langsung ke Firebase dan memanfaatkan fitur listener untuk secara otomatis memperbarui tampilan (seperti gauge atau teks) setiap kali ada data baru yang masuk dari ESP32.

### 3.4 Alur Kerja Sistem Monitoring IoT

Keseluruhan komponen tersebut bekerja dalam alur yang terstruktur. Proses dimulai saat perangkat ESP32 melakukan inisialisasi dan terhubung ke jaringan Wi-Fi. Setelah terhubung, sensor PZEM-004T dan ZMPT101B mulai melakukan akuisisi data parameter listrik secara kontinu. ESP32 kemudian membaca data ini dalam interval waktu yang telah ditentukan, mengolahnya, dan mengirimkannya melalui koneksi internet ke Firebase Realtime Database. Saat data baru tiba di Firebase, layanan cloud ini secara otomatis menyebarkan (push) data tersebut ke semua klien yang terhubung. Aplikasi Android yang berjalan di smartphone pengguna menerima data baru ini secara instan dan langsung memperbarui antarmuka visualnya, sehingga pengguna dapat memantau kondisi kelistrikan dari PLTS dan PLN dari jarak jauh secara real-time, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7 dan 8 .



**Gambar 9.** *Flowchart Kerja Sistem IoT Bagian 1*



Gambar 10. Flowchart Kerja Sistem IoT Bagian 2

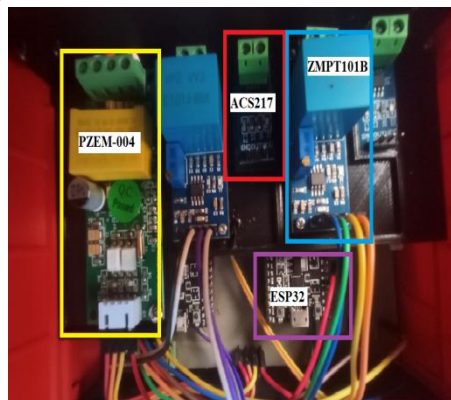
### 3.5 Metode Pengujian dan Analisis Hasil Pengujian.

pengujian penelitian ini berfokus pada dua aspek krusial: validasi akurasi sensor dan verifikasi fungsionalitas sistem IoT secara *end-to-end*. Validasi akurasi dilakukan melalui metode komparatif, di mana data terukur dari sensor prototipe dibandingkan dengan instrumen acuan terkalibrasi. Pengujian sensor tegangan (ZMPT101B) yang dibandingkan dengan *Multimeter Digital True RMS* menunjukkan akurasi sangat tinggi dengan nilai galat rata-rata hanya 0,26%. Untuk sensor arus (PZEM-004T), perbandingan dengan Tang Ampere menghasilkan rata-rata persentase galat sebesar 1,22%, sementara pengujian sensor daya (PZEM-004T) yang divalidasi menggunakan Watt Meter standar menunjukkan rata-rata galat 1,25%. Nilai galat yang rendah pada ketiga parameter tersebut (tegangan, arus, dan daya) mengkonfirmasi bahwa sensor *low-cost* yang digunakan memiliki presisi dan keandalan yang dapat diterima untuk aplikasi *monitoring* energi. Selain validasi sensor, pengujian fungsionalitas sistem IoT secara menyeluruh memverifikasi bahwa mikrokontroler ESP32 berhasil mengirimkan data secara konsisten ke Firestore Realtime Database. Data tersebut juga terbukti dapat diterima dan diperbarui secara instan pada antarmuka aplikasi Android, yang memvalidasi bahwa alur kerja sistem *monitoring* IoT berfungsi sesuai perancangan..

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Perangkat *Monitoring System*

Sistem monitoring IoT ini dirancang untuk memantau penggunaan daya listrik dari sumber Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) maupun PLN. Proses pemantauan diawali dengan sensor tegangan ZMPT101B dan sensor arus ACS217 yang bertugas mengakusisi data kelistrikan. Seluruh data mentah ini kemudian diterima dan diolah oleh mikrokontroler ESP32, yang berfungsi sebagai pusat kendali untuk mengkalkulasi total konsumsi daya. Setelah diolah, ESP32 mengikrman hasilnya melalui koneksi internet untuk disimpan secara langsung pada sebuah Realtime Database. Pada akhirnya, pengguna dapat dengan mudah memantau seluruh informasi tersebut dari mana saja melalui sebuah aplikasi Android yang menampilkan data dari database dalam antarmuka yang informatif.

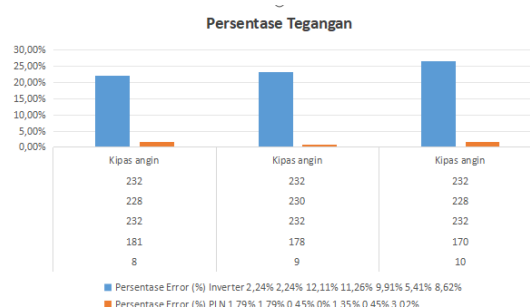


Gambar 11. Perangkat *Monitoring System*

### 4.2 Analisis Hasil Pengujian Persentase *Error Sensor*

Tahap pengujian ini bertujuan untuk memvalidasi akurasi dan presisi data yang dihasilkan oleh sensor-sensor berbiaya rendah yang digunakan dalam prototipe. Pengujian dilakukan dengan metode komparatif, yaitu membandingkan data pembacaan dari sensor sistem (nilai terukur) dengan data pembacaan dari instrumen standar yang telah terkalibrasi (nilai acuan). Instrumen acuan yang digunakan adalah Multimeter Digital True RMS untuk parameter tegangan, dan Tang Ampere (Clamp Meter) untuk parameter arus. Tingkat akurasi sistem kemudian dikuantifikasi menggunakan formula persentase galat (error) relatif untuk setiap parameter yang diukur..

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa akurat nilai pembacaan sensor tegangan pada sistem monitoring jika dibandingkan dengan alat ukur standar (multimeter). Tujuannya adalah untuk memastikan bahwa data yang ditampilkan dapat diandalkan dan memiliki tingkat penyimpangan yang rendah, sehingga pengguna dapat memantau kondisi tegangan listrik secara presisi, dapat dilihat pada grafik persentase *error tegangan* pada Gambar 12



Gambar 12. Grafik Persentase *Error Tegangan*

Hasil yang diberikan itu bagus. Namun, pada pengukuran tegangan (Volt), masih ditemukan nilai error yang cukup tinggi, ini dikarenakan oleh beberapa faktor yaitu kalibrasi sensor belum sepenuhnya optimal. Pada pengujian persentase error dari ketiga beban yang diuji (Lampu 7 W, Lampu LED, dan kipas angin), itu dilakukan dengan membandingkan nilai dari data sensor dengan power monitoring yang tersedia di lab konversi energi di kampus Jimbaran. Dimana hasil dari data sensor dan data yang keluar dari power monitoring itu disesuaikan dengan rumus agar bisa menentukan nilai persentase error yang terjadi saat pengujian.



**Gambar 13.** Hasil Pengujian pada beban

Secara komprehensif, analisis hasil pengujian menunjukkan bahwa kedua sensor utama yang digunakan dalam sistem, baik ZMPT101B untuk tegangan maupun PZEM-004T untuk arus, memiliki tingkat akurasi yang tinggi. Dengan persentase galat rata-rata di bawah 1,5% untuk kedua parameter, sistem monitoring ini terbukti mampu menyediakan data kelistrikan yang andal dan presisi, mendukung kelayakan dan kinerja prototipe yang dirancang.



**Gambar 14.** Hasil Pengukuran Multimeter

Berdasarkan hasil pengujian, sistem monitoring ini menunjukkan performa yang stabil dalam fungsi utamanya. Namun demikian, data monitoring yang dihasilkan mengindikasikan adanya galat (error) yang signifikan pada beberapa parameter, yang penyebabnya dapat diidentifikasi secara spesifik. Galat ini bukan disebabkan oleh kegagalan komponen acak, melainkan berasal dari dua faktor utama. Pertama, *error* pada sensor arus (PZEM-004T) disebabkan oleh interferensi dari modul charger (XH-M602) yang digunakan. Sensor secara keliru ikut membaca arus yang mengalir ke charger, menghasilkan offset pembacaan sekitar 0,03A lebih tinggi dari nilai sebenarnya. Meskipun selisih absolutnya kecil, offset ini secara substansial meningkatkan persentase galat pada kondisi beban yang sangat rendah, seperti pada penggunaan lampu LED. Kedua, *error* pada sensor tegangan (ZMPT101B) utamanya diakibatkan oleh kurangnya kalibrasi yang optimal. Hal ini menyebabkan nilai tegangan yang terbaca oleh sensor memiliki deviasi dari nilai acuan yang lebih presisi, terutama saat terjadi fluktuasi tegangan, sehingga mengurangi akurasi data yang ditampilkan.



## 5. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan membangun sebuah prototipe fungsional sistem monitoring energi berbasis IoT untuk sistem hibrida PLTS-PLN. Sistem ini mampu menjawab tujuan penelitian dengan menyediakan data parameter listrik secara real-time dan menganalisis persentase kontribusi energi terbarukan. Temuan kunci menunjukkan bahwa meskipun sistem berfungsi dengan baik untuk pemantauan tren dan memberikan wawasan operasional, akurasi pembacaan sensor berbiaya rendah menjadi batasan utama yang perlu diatasi.

Keterbatasan penelitian ini mencakup penggunaan sensor analog yang rentan terhadap interferensi dan belum dilakukannya uji coba jangka panjang untuk mengevaluasi keandalan prototipe. Saran untuk penelitian selanjutnya adalah melakukan kalibrasi perangkat keras dan perangkat lunak yang lebih cermat pada sensor, mengimplementasikan sensor digital seperti PZEM-004T untuk meningkatkan akurasi, serta mengembangkan fitur analisis prediktif berdasarkan data historis yang terkumpul untuk memberikan rekomendasi penghematan energi kepada pengguna.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. G. Abdullah, C. P. B. Adhitya, A. B. D. Nandiyanto, dan N. Widiaty, "Design of IoT-based electrical load monitoring and control system in households," *Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 18, no. 2, hlm. 1014-1027, Apr. 2023.
- [2] A. A. El-Baset, R. A. M. El-Sebah, dan H. M. H. Al-Moneim, "A Smart IoT-based system for monitoring and controlling electrical energy consumption in residential buildings," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 14, no. 6, art. 102220, Sep. 2023..
- [3] R. R. Ahmmad, F. A. Bizzan, M. S. Hossain, dan S. Paul, "IoT Based Real-time Energy Monitoring System using ESP32," dalam *2022 IEEE International Conference on IoT, Electronics and Mechatronics (IEMTRONICS)*, 2022, hlm. 1-6.
- [4] I. W. A. Arimbawa, I. M. A. D. U. P. K. P, dan I. A. D. Giriantari, "Smart Monitoring System for Off-Grid PV System based on IoT," dalam *2020 3rd International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT)*, 2020, hlm. 280-285..
- [5] A. S. Sanchez-Pantoja, D. F. Martinez-Lievano, dan J. S. Rodriguez-Pantoja, "Design and Implementation of a Low-Cost Monitoring System for Standalone Photovoltaic Systems Based on ESP32 and Firebase," dalam *2023 IEEE Colombian Conference on Communications and Computing (COLCOM)*, 2023, hlm. 1-6.
- [6] C. E. T. D'Ovidio, C. R. Garcia, dan M. G. Sotelo, "Challenges in the calibration of low-cost sensors for IoT-based air quality monitoring systems," *Heliyon*, vol. 9, no. 4, art. e15104, Apr. 2023..
- [7] A. P. Ramallo-González, A. González-Vidal, dan A. F. Skarmeta, "A Universal Methodology for the Deployment of Low-Cost IoT-Based Energy-Monitoring Systems," *Sensors*, vol. 23, no. 3, art. 1640, Feb. 2023.
- [8] D. D. C. Allang, F. D. T. II, dan J. M. V. Mag-isa, "Web-based Electrical Power Monitoring System using PZEM-004T Power and Energy Meter," dalam *2022 IEEE 14th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM)*, 2022, hlm. 1-6..
- [9] F. Harrou, Y. Sun, B. Taghezouit, A. Saidi, dan M. E. H. Djeghloud, "Reliable and efficient data-driven monitoring of photovoltaic systems: A comprehensive



- review," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 173, art. 113062, Feb. 2023..
- [10] S. S. Priyatham, S. Karthick, G. R. K. Varma, dan S. S. S. R. C. Raju, "Design and Development of Real-Time Monitoring of Solar Panel using ESP32 and Firebase," dalam 2023 7th International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC), 2023, hlm. 1-6.
- [11] N. K. S. T. Dewi, I. N. S. Kumara, dan I. M. A. S. Setiawan, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Daya Listrik Berbasis Mikrokontroler," Jurnal SPEKTRUM, vol. 5, no. 2, hlm. 82-87, 2018.
- [12] I. P. A. E. K. Y. W, I. G. A. P. R. A, dan I. M. A. W. P, "Implementasi Sensor ZMPT101B dan Sensor Arus ACS712 pada Prototip Alat Ukur Daya Listrik Berbasis Arduino Uno," Jurnal RESISTOR, vol. 2, no. 2, hlm. 81-90, Okt. 2019.
- [13] S. Muzid, A. B. H. G., dan I. S. W, "Rancang Bangun Aplikasi Monitoring Kualitas Udara Berbasis IoT Menggunakan Android Studio dan Firebase," Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer, vol. 4, no. 10, hlm. 3505-3512, 2020.
- [14] A. R. D. P, dan A. S, "Sistem Monitoring Konsumsi Energi Listrik pada Perangkat Rumah Tangga Menggunakan Wemos D1 Mini dan Aplikasi Android," Jurnal ELKOMIKA, vol. 8, no. 1, hlm. 159-170, 2020.
- [15] R. A. Ivory, N. Kholis, Nurhayati, dan F. Baskoro, "Review Penggunaan Sensor Suhu Terhadap Respon Pembacaan Skala Pada Inkubator Bayi," Jurnal Teknik Elektro, vol. 10, no. 1, hlm. 185-194, 2021.