

Pemantauan Catu Daya untuk Proteksi Listrik Menggunakan ESP32 Berbasis *Internet of Things* (IOT)

Suryanto¹, Muhamad Khoerudin², Sri Watmah³

^{1,2} Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Bina Sarana Informatika
e-mail: suryanto.syt@bsi.ac.id

Diterima	Direvisi	Disetujui
----------	----------	-----------

Abstrak - Keandalan sistem tenaga listrik merupakan faktor kritis dalam menjamin kontinuitas pasokan energi, khususnya pada jaringan distribusi PT. PLN (Persero). Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem pemantauan berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk memonitor kondisi Catu Daya pada *relay* proteksi guna meningkatkan efisiensi pengawasan. Sistem ini dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor PZEM-004T (AC) untuk mengukur parameter listrik meliputi tegangan, arus, daya aktif, dan konsumsi energi secara real-time. Data hasil pengukuran ditampilkan secara lokal melalui modul LCD serta dapat diakses secara jarak jauh melalui *platform* IoT berbasis aplikasi *Blynk*. Tahapan implementasi meliputi tahap perancangan perangkat keras dan lunak, kalibrasi sensor, serta pengujian performa sistem. Hasil pengujian menunjukkan akurasi pembacaan tegangan dengan tingkat *error* 0,44% (PZEM-004T). Namun, ditemukan adanya selisih yang signifikan dalam pembacaan arus dan daya, yang dipengaruhi oleh karakteristik beban yang tidak linier. Sistem ini berhasil mengimplementasikan notifikasi real-time melalui *platform* IoT, memungkinkan pemantauan jarak jauh secara efektif. Implementasi solusi ini dapat meningkatkan keandalan sistem distribusi tenaga listrik melalui deteksi dini anomali daya.

Kata kunci: Pemantauan Catu Daya; Pemantauan berbasis IoT; Mikrokontroler ESP32

Abstract - The reliability of the electric power system is a critical factor in ensuring the continuity of energy supply, especially in the distribution network of PT. PLN (Persero). This study aims to develop an *Internet of Things* (IoT)-based monitoring system to monitor the condition of the power supply on the protection relay in order to improve monitoring efficiency. This system is designed using an ESP32 microcontroller integrated with PZEM-004T (AC) sensors to measure electrical parameters including voltage, current, active power, and energy consumption in real-time. The measurement data is displayed locally via an LCD module and can be accessed remotely via an IoT platform based on the *Blynk* application. The implementation stages include hardware and software design, sensor calibration, and system performance testing. The test results show the accuracy of voltage readings with an error rate of 0.44% (PZEM-004T). However, a significant difference was found in the current and power readings, especially on the PZEM-004T sensor, which was influenced by the non-linear load characteristics. This system successfully implements real-time notification through the IoT platform, enabling effective remote monitoring. Implementation of this solution can improve the reliability of the power distribution system through early detection of power anomalies.

Keywords: Power Supply Monitoring; IoT-based Monitoring; ESP32 Microcontroller

PENDAHULUAN

Listrik telah menjadi tulang punggung peradaban modern, di mana ketergantungan masyarakat terhadap energi listrik terus meningkat seiring dengan perkembangan teknologi dan digitalisasi. Menurut Undang-Undang No. 30 Tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan, ketersediaan listrik yang andal merupakan hak dasar masyarakat yang harus dipenuhi oleh penyedia layanan. PT PLN (Persero) sebagai penyedia utama listrik di Indonesia bertanggung jawab untuk menjaga kontinuitas pasokan energi melalui sistem distribusi yang efisien. Namun, dalam praktiknya, pemantauan kondisi *power supply* pada gardu distribusi masih dilakukan

secara konvensional dengan inspeksi fisik, yang tidak hanya memakan waktu tetapi juga berpotensi menimbulkan *delay* dalam identifikasi gangguan (Pramono et al., 2022).

Permasalahan utama terletak pada keterbatasan sistem pemantauan *real-time* yang dapat mendeteksi anomali daya secara dini. Data dari PT PLN Distribusi Jawa Barat menunjukkan bahwa 40% gangguan pada jaringan distribusi disebabkan oleh fluktuasi tegangan dan arus yang tidak terdeteksi tepat waktu (PLN, 2023). Kondisi ini diperparah oleh karakteristik beban yang semakin kompleks dan tidak linier akibat masifnya penggunaan peralatan elektronik modern. Padahal, *relay proteksi* sebagai



komponen kritis dalam sistem distribusi membutuhkan suplai daya yang stabil untuk berfungsi optimal. Kegagalan dalam memantau *power supply* ke *relay* dapat berujung pada *tripping* yang tidak diinginkan, berpotensi memicu pemadaman luas.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini mengusulkan solusi inovatif berupa sistem pemantauan berbasis *Internet of Things* (IoT) yang terintegrasi dengan *sensor* presisi. Sistem ini dirancang untuk memantau parameter kualitas daya (tegangan, arus, daya aktif, dan energi) secara *real-time* menggunakan mikrokontroler ESP32 dan *sensor* PZEM-004T/PZEM-017, memberikan notifikasi dini melalui *platform Blynk* IoT saat terdeteksi anomali dan mengurangi ketergantungan pada inspeksi fisik dengan menyajikan data terpusat yang dapat diakses jarak jauh. Kajian ini tidak hanya menjawab tantangan teknis PT PLN dalam meningkatkan keandalan sistem distribusi, tetapi juga berkontribusi pada literatur terkait penerapan IoT untuk *smart grid*. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi model rujukan untuk pengembangan sistem pemantauan daya yang lebih adaptif di masa depan.

METODE PENELITIAN

1. Tahap Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode prototyping. Tahapan pertama yang dilakukan pada penelitian ini yaitu merumuskan permasalahan yang menjadi latar belakang mengapa pentingnya sistem pemantauan berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk memonitor kondisi *power supply* pada *relay* proteksi, kemudian dilakukan studi literatur, pengumpulan beberapa komponen, lalu dilanjutkan dengan pembuatan desain sistem, pengukuran nilai *sensor* menggunakan clamp multimeter dan power meter. Pengujian dilakukan dengan beberapa jenis perangkat elektronik, yaitu kulkas, kipas angin, dan *charger smartphone*, untuk melihat bagaimana variasi konsumsi daya dan akurasi *sensor* dalam kondisi penggunaan nyata. Setelah didapatkan nilai *sensor*, melakukan pengiriman data ke *database*. Nilai yang terdapat pada *database* akan dibaca melalui aplikasi android (*blynk*)

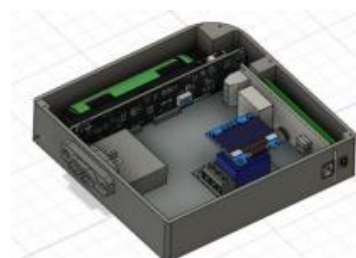
2. Desain Sistem

Desain sistem bertujuan untuk menentukan posisi dari setiap komponen alat agar mempermudah dalam tahap pengerjaan perakitan. Pada desain alat sistem memonitor kondisi *power supply* pada *relay* proteksi mencakup 3 bagian utama: *Input*, proses dan *Output*.

a. **Input:** Bagian yang menerima hasil pengukuran dari *sensor* modul PZEM-004T untuk listrik AC.

b. **Proses:** ESP32 berfungsi sebagai pusat pemrosesan yang membaca data dari kedua *sensor* secara berkala. Data yang diterima kemudian diolah agar dapat ditampilkan dengan format yang mudah dipahami. Selain itu, ESP32 juga dapat mengirimkan data secara *Real-time* ke *platform* IoT untuk pemantauan jarak jauh.

c. **Output:** Hasil pemrosesan data yang dibaca selanjutnya ditampilkan pada LCD I2C untuk pemantauan langsung, sehingga pengguna dapat melihat nilai tegangan, arus, daya, dan energi listrik secara instan. Selain itu, data juga dikirim ke aplikasi *Blynk*, memungkinkan pengguna untuk memonitor konsumsi daya dari perangkat *mobile* atau komputer melalui jaringan internet serta mendapatkan notifikasi



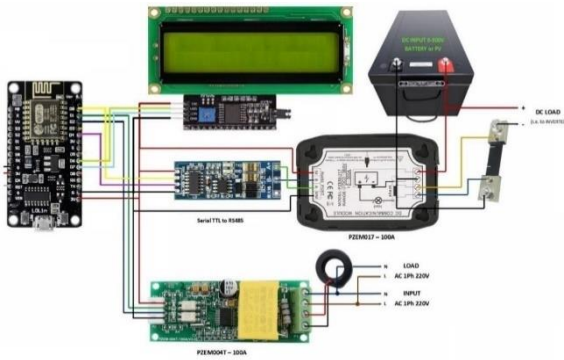
Sumber: Hasil Penelitian

Gambar 1. Desain Sistem

3. Perancangan Alat

Penelitian ini menggunakan konsep rancang bangun sistem *Monitoring* daya listrik berbasis ESP32 yang menggunakan *sensor* PZEM-004T untuk AC dan PZEM-017 untuk DC. *Sensor* PZEM-004T mengukur tegangan, arus, daya, dan energi listrik pada jalur AC

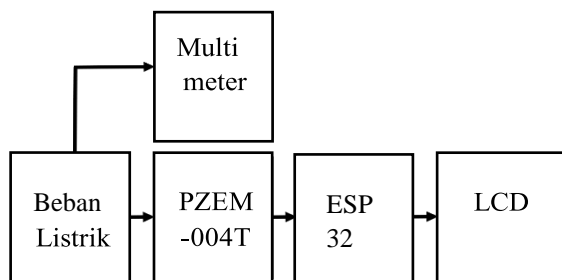
Mikrokontroler ESP32 berkomunikasi dengan PZEM-004T melalui UART (TX, RX), sedangkan PZEM-017 menggunakan RS485, sehingga diperlukan modul konverter Serial TTL ke RS485. Data hasil pengukuran ditampilkan pada LCD 16x2 untuk pemantauan langsung dan dapat dikirim ke *platform* IoT seperti *Blynk* untuk pemantauan jarak jauh. Dengan sistem ini, pengguna dapat memonitor konsumsi daya listrik secara *Real-time* untuk keperluan pengelolaan energi yang lebih efisien.



Sumber: Hasil Penelitian

Gambar 2. Skematik Alat

Pengukuran alat monitoring daya listrik menggunakan multimeter sebagai pembanding. Proses pengukuran dapat dilihat pada Gambar 3. Beban listrik yang masuk akan diukur oleh sensor *PZEM-004t*, multimeter, dan *power meter* secara bersamaan. Nilai sensor dilihat melalui tampilan LCD, sedangkan untuk multimeter dapat dilihat pada tampilan yang terdapat pada layar digital alat tersebut. Kemudian nilai yang dihasilkan akan dibandingkan dan melihat seberapa besar *error* dari sensor *PZEM-004t*.



Sumber: Hasil Penelitian

Gambar 3. Proses Pengukuran

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Rangkaian Alat

Pada bagian ini dibahas tentang hasil dari penelitian yang telah dilakukan. *Prototype* alat yang telah dibuat sesuai dengan rancangan yang telah dibuat diawal, bagian ini juga dibahas tentang hasil dari pengujian alat yang dibuat dan analisa terhadap hasil pengujian alat yang sudah direalisasikan. Analisa dari pengujian ini meliputi pegujian terhadap *input* serta *output* yang diperoleh. Untuk mendapatkan *output* dari sistem pemantauan berbasis *Internet of Things (IoT)* untuk memonitor kondisi *power supply* pada *relay* proteksi. Hal ini dapat diketahui dari hasil-hasil yang telah diperoleh dari pengujian sistem serta juga dapat mengetahui kelebihan dan kekurangan sistem yang telah dibuat.



Sumber: Hasil Penelitian

Gambar 4. Hasil Rangkaian sistem pemantauan kondisi Catu Daya pada *relay* proteksi

Pengujian pada alat ini dilakukan dengan cara membandingkan nilai tegangan, arus, daya, dan energi dari sensor *PZEM-004T* dengan multimeter. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali pada masing-masing beban yang bertujuan untuk mendapatkan nilai rata-rata dari *error* yang cukup baik. Hasil pengukuran tegangan dengan nilai rata-rata tegangan dan *error* dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 5.



Sumber: Hasil Penelitian

Gambar 5. Tampilan Tegangan dari sensor

Tabel 1. Hasil Pengukuran Tegangan

Beban	Sensor <i>PZEM-004T</i>		
	<i>PZEM-004T</i> (V)	Multimeter (V)	<i>Error</i> (%)
Kulkas	218,5	217	0,69
Kipas	215,7	216	0,14
<i>Charger Smartphone</i>	219,8	219,7	0,5

Sumber: Hasil Penelitian

Pada pengujian daya, nilai daya pada sensor Berdasarkan data dari hasil pengujian diatas maka dapat dicari nilai *error* rata-rata dari nilai tegangan pada sensor *PZEM-004t* dengan perhitungan

menggunakan rumus pada persamaan 1 (Bennet, 2008:1).

$$Error \text{ rata - rata} = \frac{\text{Jumlah nilai error}}{\text{Banyaknya error yang terjadi}} \quad (1)$$

Sehingga hasil pengukuran tegangan dari pengujian sensor *PZEM-004t* dengan perhitungan pada rumus persamaan 1, maka didapatkan hasil nilai *error* rata-rata pada pengukuran tegangan sebesar 0,44%.

Setelah itu dilakukan pengujian selanjutnya yaitu pengukuran nilai arus pada sensor *PZEM-004t* menggunakan multimeter dengan beban berupa solder, *heatgun*, dan *vacuum cleaner*. Pengukuran dilakukan sebanyak 10 kali percobaan untuk masing-masing beban. Pengukuran nilai arus pada sensor dapat dilihat pada gambar 8 dan nilai rata-rata dari hasil pengukuran arus dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Arus

Beban	Sensor <i>PZEM-004T</i> (A)	Multimeter (A)	<i>Error</i> (%)
Kulkas	0,55	0,8	28,75
Kipas	0,14	0,11	27,27
<i>Charger Smartphone</i>	0,07	0,1	30

Sumber: Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil pengukuran arus di atas maka dapat dilakukan perhitungan untuk mencari nilai *error* rata-rata pada sensor *PZEM-004T*. Perhitungan menggunakan rumus persamaan 1 di atas dan didapatkan hasil nilai *error* rata-rata pada pengukuran arus sebesar 28,67%.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Daya

Beban	Sensor <i>PZEM-004T</i> (W)	Multimeter (W)	<i>Error</i> (%)
Kulkas	68,8	173	60,36
Kipas	30,20	23,76	27,1
<i>Charger Smartphone</i>	5,2	21,87	76,22

Sumber: Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil pengukuran daya di atas maka dapat dilakukan perhitungan untuk mencari nilai *error* rata-rata pada sensor *PZEM-004T*. Perhitungan menggunakan rumus persamaan 1 di atas dan didapatkan hasil nilai *error* rata-rata pada pengukuran daya sebesar 54,58%.

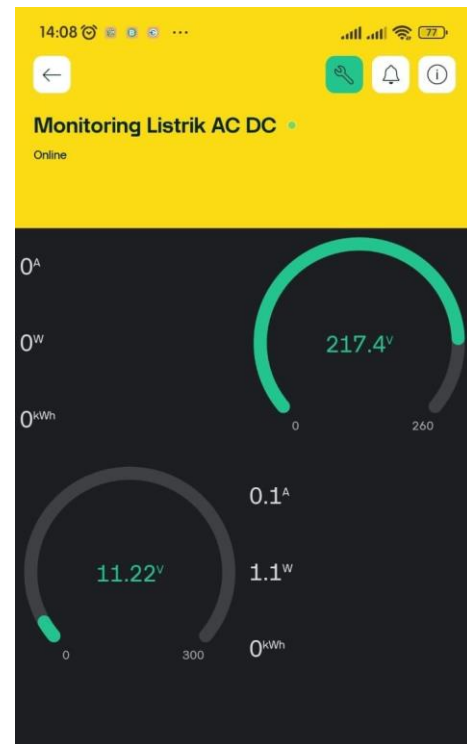
Selanjutnya melakukan pengujian besar energi yang terpakai pada listrik dengan beban yang sama menggunakan sensor *PZEM-004t* dan *power meter*.. Pengujian energi ini dilakukan dalam waktu 5 menit, pada masing-masing beban. Hasil pengukuran dan pengujian dapat dilihat pada Tabel 4

Tabel 4. Hasil Pengukuran Energi

No	Beban	Hasil Pengukuran Energi (kWh)		
		Sensor <i>PZEM-004t</i>	<i>Power meter</i>	<i>Error</i> (%)
1.	<i>Charger Smartphone</i>	0,002	0,003	5
2.	Kipas	0,129	0,117	10,3
3.	Kulkas	0,265	0,245	8,2

Sumber: Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil pengukuran energi selama 5 menit di atas maka dapat dilakukan perhitungan untuk mencari nilai *error* rata-rata pada sensor *PZEM-004t*. Perhitungan menggunakan rumus persamaan 1 dan didapatkan hasil nilai *error* rata-rata sebesar 7,8%.



Sumber: Hasil Penelitian

Gambar 10. Hasil Dashboard Perangkat Lunak

2. Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan terhadap tiga jenis perangkat elektronik, yaitu kulkas, kipas angin, dan *charger smartphone*, diperoleh perbandingan antara data yang dihasilkan oleh modul *PZEM-004T* dengan hasil pengukuran menggunakan multimeter sebagai alat referensi. Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi akurasi sistem Monitoring dalam mengukur parameter tegangan, arus, daya, dan energi listrik.

Dari hasil perhitungan persentase *error*,

diperoleh rata-rata *error* tegangan sebesar 0,44%, dengan tingkat akurasi sebesar 99,56%. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor PZEM-004T memiliki keakuratan yang tinggi dalam membaca tegangan.

Perubahan tegangan yang terjadi selama pengujian dapat disebabkan oleh fluktuasi pada sumber listrik, resistansi kabel, atau faktor beban yang digunakan. Dalam sistem kelistrikan, tegangan tidak selalu stabil karena dipengaruhi oleh perubahan arus listrik yang mengalir, terutama ketika beban berubah atau ketika ada perangkat lain yang menyala dan mati dalam jaringan listrik yang sama.

Pada pengujian arus menunjukkan rata-rata *error* sebesar 28,67%, dengan tingkat akurasi 71,33%. Perbedaan ini cukup signifikan, yang dapat disebabkan oleh keterbatasan sensor dalam mendeteksi perubahan arus dengan presisi tinggi. Selain itu, faktor lain yang memengaruhi adalah metode pengukuran multimeter yang mungkin lebih sensitif dibandingkan dengan PZEM-004T. Kesalahan pengukuran arus juga dapat terjadi akibat karakteristik beban non-linier seperti kulkas, yang memiliki lonjakan arus saat kompresor menyala.

Pengukuran daya menunjukkan rata-rata *error* sebesar 54,58%, dengan tingkat akurasi 45,42%. *Error* yang cukup tinggi ini dapat disebabkan oleh dua faktor utama, yaitu akumulasi kesalahan dari pengukuran tegangan dan arus serta metode pengukuran daya oleh PZEM-004T yang mungkin tidak sepenuhnya sesuai dengan karakteristik beban. Sebagai contoh, kulkas memiliki karakteristik daya yang fluktuatif karena kompresornya bekerja secara siklikal, yang dapat menyebabkan kesalahan dalam estimasi daya oleh sensor. Pada hasil pengukuran energi menunjukkan rata-rata *error* sebesar 7,8%, dengan tingkat akurasi 92,2%. Kesalahan dalam pengukuran energi ini dapat dikaitkan dengan akurasi daya yang rendah, mengingat energi listrik dihitung berdasarkan daya yang dikonsumsi dalam jangka waktu 5 menit. Ketidakesesuaian data antara PZEM-004T dan perhitungan manual menunjukkan bahwa sensor ini kurang akurat dalam menghitung konsumsi energi pada beberapa jenis beban, terutama yang memiliki pola penggunaan daya yang berubah-ubah, seperti kulkas.

KESIMPULAN

1. Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem Monitoring parameter listrik yang efektif dalam memantau tegangan, arus, daya, dan energi listrik secara Real-time. Sistem ini memungkinkan pengguna untuk memperoleh parameter Listrik melalui modul PZEM-004T, yang ditampilkan

pada LCD I2C dan aplikasi IoT *Blynk* berbasis android.

2. Dengan adanya sistem ini, pemantauan daya listrik menjadi lebih efisien dan dapat dilakukan dari jarak jauh. Selain itu, sistem ini fleksibel dan dapat diadaptasi untuk berbagai kebutuhan monitoring daya listrik, baik pada perangkat industri maupun rumah tangga.
3. Hasil pengujian *output* PZEM-004T menunjukkan bahwa pembacaan tegangan memiliki akurasi sebesar 99,56% dengan rata-rata *error* 0,44%, menunjukkan hasil yang sangat mendekati sempurna. Namun, terdapat selisih pada pembacaan arus dengan rata-rata *error* sebesar 30%, sehingga akurasi mencapai 70%. Untuk daya, sensor memiliki *error* sebesar 32,5% dengan akurasi 67,5%, menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan dibandingkan perhitungan manual. Sementara itu, pembacaan energi menunjukkan rata-rata *error* 25% dengan akurasi 75%, yang berarti hasil pengukuran energi oleh sensor cukup mendekati hasil perhitungan manual.
4. Pengujian perangkat *Output* menunjukkan bahwa LCD I2C dan *Blynk* menampilkan data dengan akurasi 100%, tanpa perbedaan dengan hasil pembacaan sensor. Hal ini membuktikan bahwa sistem dapat menampilkan informasi secara Real-time dan andal, memastikan pengguna memperoleh data yang akurat baik melalui tampilan langsung maupun pemantauan jarak jauh.
5. Perubahan tegangan yang terjadi selama pengujian dapat disebabkan oleh fluktuasi pada sumber listrik, resistansi kabel, atau faktor beban yang digunakan. Dalam sistem kelistrikan, tegangan tidak selalu stabil karena dipengaruhi oleh perubahan arus listrik yang mengalir, terutama ketika beban berubah atau ketika ada perangkat lain yang menyala dan mati dalam jaringan listrik yang sama.
6. Pada pengujian arus menunjukkan rata-rata *error* sebesar 28,67%, dengan tingkat akurasi 71,33%. Perbedaan ini cukup signifikan, yang dapat disebabkan oleh keterbatasan sensor dalam mendeteksi perubahan arus dengan presisi tinggi. Selain itu, faktor lain yang memengaruhi adalah metode pengukuran multimeter yang mungkin lebih sensitif dibandingkan dengan PZEM-004T. Kesalahan pengukuran arus juga dapat terjadi akibat karakteristik beban non-linier seperti kulkas, yang memiliki lonjakan arus saat kompresor menyala.

7. Pengukuran daya menunjukkan rata-rata *error* sebesar 54,58%, dengan tingkat akurasi 45,42%. *Error* yang cukup tinggi ini dapat disebabkan oleh dua faktor utama, yaitu akumulasi kesalahan dari pengukuran tegangan dan arus serta metode pengukuran daya oleh PZEM-004T yang mungkin tidak sepenuhnya sesuai dengan karakteristik beban. Sebagai contoh, kulkas memiliki karakteristik daya yang fluktuatif karena kompresornya bekerja secara siklikal, yang dapat menyebabkan kesalahan dalam estimasi daya oleh sensor.
 8. Pada hasil pengukuran energi menunjukkan rata-rata *error* sebesar 7,8%, dengan tingkat akurasi 92,2%. Kesalahan dalam pengukuran energi ini dapat dikaitkan dengan akurasi daya yang rendah, mengingat energi listrik dihitung berdasarkan daya yang dikonsumsi dalam jangka waktu tertentu. Ketidaksesuaian data antara PZEM-004T dan perhitungan manual menunjukkan bahwa sensor ini kurang akurat dalam menghitung konsumsi energi pada beberapa jenis beban, terutama yang memiliki pola penggunaan daya yang berubah-ubah, seperti kulkas.
- Setiawan and F. Nugroho, "IoT-Based Real-Time Monitoring for Power Quality in Distribution Networks," *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, vol. 12, no. 3, pp. 2345–2352, Jun. 2022, doi: 10.11591/ijece.v12i3.pp2345-2352.
- Soraya, *Dasar-Dasar Teknik Tenaga Listrik*. Bandung: Penerbit ITB, 2021.
- Undang-Undang No. 30 Tahun 2009, *Tentang Ketenagalistrikan*. Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2009 Nomor 133. Jakarta: Kementerian Hukum dan HAM.

REFERENSI

- A. Pramono, B. Santoso, and C. Wijaya, "Challenges in Modern Power Distribution Systems: A Case Study of Indonesia," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 37, no. 2, pp. 1120–1129, Apr. 2022, doi: 10.1109/TPWRD.2021.3098765.
- Anderson and M. Rossi, "Smart Grid Protection Systems: Trends and Future Directions," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 156, pp. 111992, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.rser.2021.111992.
- Blynk Inc., *Blynk IoT Platform Documentation*. [Online]. Available: <https://docs.blynk.io/>
- Espressif Systems, *ESP32 Technical Reference Manual*. [Online]. Available: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32/resources>
- Lee and H. Kim, "Design of High-Accuracy Current Sensors for Non-Linear Load Applications," *IEEE Sensors Journal*, vol. 21, no. 15, pp. 16789–16798, Aug. 2021, doi: 10.1109/JSEN.2021.3078763.
- PT PLN (Persero), *Laporan Tahunan 2023: Kinerja Sistem Distribusi Jawa Barat*. Jakarta: PLN, 2023.
- PZEM-004T & PZEM-017 Datasheets, *Peacefair Electronic Co., Ltd.*, 2022.