

Analisis Akurasi Sensor PZEM-004T dalam Pengukuran Tegangan dan Arus Listrik pada Sistem ATS-AMF Berbasis IoT

Prananda Suni Veda¹, I Gede Dyana Arjana², I Made Suartika³,

Anak Agung Gede Maharta Pelayun⁴

[Submission: 11-10-2025, Accepted: 26-02-2026]

Abstract— Electrical energy is a vital requirement in supporting the operation of Internet of Things (IoT)-based systems, particularly in electrical monitoring and power source switching systems such as Automatic Transfer Switch–Automatic Main Failure (ATS-AMF). The accuracy of electrical parameter measurements, especially voltage and current, plays a crucial role in ensuring system stability, equipment safety, and energy efficiency. This study aims to analyze the accuracy of the PZEM-004T sensor in measuring voltage and current in an IoT-based electrical monitoring system. The research method was conducted by comparing the measurement results of the PZEM-004T sensor with a conventional digital AVO meter under various operational load conditions in an office environment. The sensor was integrated with a Wemos D1 R32 microcontroller and a Blynk-based monitoring system to enable real-time data acquisition. Testing was performed using two power sources, namely the utility grid (PLN) and a generator set, with repeated measurements to obtain deviation values and percentage errors. The results show that the average voltage measured by the PZEM-004T sensor was 224.34 V, while the conventional measuring instrument recorded 224.82 V, resulting in an average error of 0.214%. For current measurement, the sensor recorded a maximum value of 11.3 A, whereas the conventional instrument recorded 11.8 A, with an average error of 3.84% and a maximum error of 4.55%. These error values remain within acceptable tolerance limits for non-industrial monitoring applications. Based on these findings, the PZEM-004T sensor can be considered sufficiently reliable for IoT-based electrical monitoring systems, particularly for household to medium-scale applications, although additional calibration is recommended for applications requiring high measurement precision.

Intisari— Energi listrik merupakan kebutuhan vital dalam mendukung operasional sistem berbasis Internet of Things (IoT), khususnya pada sistem monitoring dan pengalihan sumber daya listrik seperti Automatic Transfer Switch–Automatic Main Failure (ATS-AMF). Akurasi pengukuran parameter listrik, terutama tegangan dan arus, menjadi faktor penting untuk menjamin kestabilan sistem, keamanan perangkat, serta efisiensi penggunaan energi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat akurasi sensor PZEM-004T dalam mengukur tegangan dan arus listrik pada sistem monitoring berbasis IoT. Metode penelitian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor PZEM-004T terhadap alat ukur konvensional berupa AVO meter digital pada berbagai kondisi beban operasional di lingkungan perkantoran. Sensor diintegrasikan dengan mikrokontroler Wemos D1 R32 dan sistem monitoring berbasis

aplikasi Blynk untuk memperoleh data secara real-time. Pengujian dilakukan pada dua sumber daya listrik, yaitu PLN dan genset, dengan pengambilan data secara berulang untuk memperoleh nilai deviasi dan persentase error pengukuran. Hasil pengujian menunjukkan bahwa rata-rata pengukuran tegangan menggunakan sensor PZEM-004T sebesar 224,34 V, sedangkan alat ukur konvensional menunjukkan 224,82 V dengan rata-rata error sebesar 0,214%. Pada pengukuran arus, sensor mencatat nilai maksimum sebesar 11,3 A, sementara alat ukur konvensional mencatat 11,8 A, dengan rata-rata error sebesar 3,84% dan error tertinggi sebesar 4,55%. Nilai error tersebut masih berada dalam batas toleransi untuk aplikasi monitoring non-industri. Berdasarkan hasil tersebut, sensor PZEM-004T dinyatakan cukup andal untuk digunakan pada sistem monitoring kelistrikan berbasis IoT, khususnya pada aplikasi rumah tangga hingga skala menengah, meskipun kalibrasi tambahan tetap diperlukan untuk aplikasi dengan tuntutan presisi tinggi.

Kata Kunci— Sensor PZEM-004T; Akurasi Pengukuran; Monitoring Kelistrikan; Internet of Things (IoT); ATS-AMF.

I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan elemen fundamental dalam mendukung operasional berbagai perangkat elektronik dan sistem otomasi, baik pada sektor rumah tangga, industri, maupun sistem berbasis *Internet of Things* (IoT). Pada sistem *monitoring* kelistrikan, akurasi pengukuran parameter listrik seperti tegangan dan arus memiliki peranan penting untuk menjamin kestabilan sistem, keselamatan peralatan, serta efisiensi penggunaan energi. Ketidakakuratan dalam pengukuran dapat menyebabkan kesalahan analisis, gangguan operasional, hingga kerugian ekonomi, terutama pada sistem yang bekerja secara kontinu dan *real-time*.

Perkembangan teknologi IoT mendorong penggunaan sensor kelistrikan yang mampu melakukan pengukuran secara otomatis dan terintegrasi. Salah satu sensor yang banyak digunakan adalah PZEM-004T, yaitu modul pengukuran listrik berbasis mikrokontroler yang mampu mengukur tegangan, arus, daya, dan energi listrik dalam satu perangkat [1][2]. Sensor ini banyak diterapkan pada sistem *monitoring* energi karena kemudahan integrasi dengan *platform* mikrokontroler seperti Arduino, ESP8266, dan ESP32, serta dukungan komunikasi data yang sesuai untuk aplikasi IoT [6][9][21][22].

Beberapa penelitian sebelumnya mengimplementasikan sensor PZEM-004T dalam berbagai aplikasi *monitoring* energi

¹Mahasiswa, Universitas Udayana, Jl. Tukad Irawadi Gg.18x No.1, Sesetan, Denpasar Selatan, 80225 (telp:082146696577; e-mail: 1suni.veda@student.unud.ac.id)

^{2,3,4} Dosen, Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana, Jln. Jalan Kampus Bukit Jimbaran 80361 INDONESIA (telp: 0361-703315; fax: 0361-4321; e-mail:

²dyanaarjana@unud.ac.id, ³madesuartika@unud.ac.id,

⁴maharta.pelayun@unud.ac.id)



dan sistem IoT. Zuchriadi dan Julian [1] serta Syahrul dan Nugraha [2] menunjukkan bahwa sensor PZEM-004T mampu digunakan untuk pemantauan parameter listrik secara *real-time* melalui *platform* IoT. Penelitian lain juga mengembangkan sistem *monitoring* berbasis PZEM-004T untuk aplikasi rumah pintar dan pencatatan konsumsi daya listrik [6][7][14]. Selain itu, penggunaan sensor ini juga dilaporkan pada sistem *monitoring* panel surya dan sistem energi terbarukan [7][9].

Meskipun sensor PZEM-004T menawarkan kemudahan implementasi, harga yang relatif terjangkau, serta kemampuan pengukuran multiparameter, aspek akurasi pengukuran tetap menjadi perhatian utama. Beberapa studi telah mengevaluasi tingkat akurasi sensor ini dengan pendekatan yang berbeda. Ramadhani et al. [3] mengusulkan peningkatan akurasi sensor PZEM-004T menggunakan metode jaringan saraf tiruan, sedangkan Irwansyah dan Kurniawan [4] melakukan perbandingan tingkat akurasi PZEM-004T dengan sensor daya listrik lainnya. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa meskipun sensor PZEM-004T cukup andal, masih terdapat deviasi pengukuran yang perlu diperhatikan, terutama pada kondisi beban tertentu.

Dalam pengujian kelistrikan, penggunaan alat ukur standar sebagai pembanding merupakan langkah penting untuk menilai keandalan suatu sensor. AVO meter telah lama digunakan sebagai alat ukur referensi dalam pengukuran tegangan dan arus listrik karena karakteristiknya yang stabil dan tingkat keakuratannya yang dapat diandalkan [5][18]. Analisis deviasi dan kesalahan pengukuran umumnya dinyatakan dalam bentuk persentase *error*, yang perhitungannya harus dilakukan secara tepat agar hasil evaluasi bersifat objektif dan dapat dipertanggungjawabkan [19][20].

Berdasarkan uraian tersebut, masih diperlukan pengujian yang secara khusus membandingkan hasil pengukuran sensor PZEM-004T dengan alat ukur standar pada berbagai variasi beban untuk mengetahui tingkat akurasi dan konsistensi pengukuran. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi akurasi sensor PZEM-004T melalui perbandingan langsung dengan AVO meter sebagai alat referensi. Pengujian difokuskan pada pengukuran tegangan dan arus listrik dengan variasi beban yang berbeda, sehingga dapat dianalisis besarnya deviasi pengukuran yang terjadi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai keandalan sensor PZEM-004T untuk implementasi nyata, khususnya pada sistem *monitoring* berbasis IoT, sistem kontrol beban otomatis, serta aplikasi kelistrikan seperti *Automatic Transfer Switch* (ATS) [11][12].

II. STUDI PUSTAKA

Penelitian ini didasarkan pada beberapa referensi penelitian dan jurnal yang sejenis. Adapun salah satu penelitian terdahulu mengenai sensor PZEM-004T yaitu rancang bangun sistem *monitoring* parameter listrik menggunakan NodeMCU V3 dan sensor PZEM-004T V3 yang terbukti efektif dalam mencatat nilai tegangan, arus, dan daya [2]. Temuan ini menunjukkan bahwa kombinasi mikrokontroler dengan sensor

mampu memberikan solusi praktis dalam pemantauan energi listrik. Penelitian lain, mengembangkan pendekatan berbeda dengan mengimplementasikan sistem *monitoring* berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk arus dan tegangan pada instalasi rumah tangga [8]. Penerapan konsep IoT memberikan nilai tambah berupa kemudahan akses data secara daring, sehingga pengguna dapat melakukan pengawasan jarak jauh terhadap konsumsi energi listrik. Hal ini menegaskan bahwa integrasi IoT semakin relevan dalam mendukung pengembangan teknologi smart home.

Selain itu, penelitian terdahulu menggunakan Arduino Uno sebagai basis *monitoring* sekaligus pengendalian daya listrik dengan sensor PZEM-004T [6]. Sistem ini tidak hanya berfungsi sebagai pencatat data, tetapi juga dapat dijadikan sebagai dasar untuk mengontrol penggunaan daya secara langsung, sehingga menambah dimensi baru pada aplikasi sensor. Pendekatan yang lebih mutakhir dapat ditemukan pada penelitian [9], yang memanfaatkan ESP32 untuk pencatatan daya listrik secara *real-time*. Keunggulan utama dari penggunaan ESP32 terletak pada kemampuan pemrosesan yang lebih cepat serta dukungan konektivitas nirkabel yang lebih stabil, sehingga data dapat disajikan secara akurat dan terkini. Tidak hanya terbatas pada sistem satu fasa, penelitian lain merancang *multifunction meter* tiga fasa berbasis NodeMCU ESP8266 dan sensor PZEM-004T [10]. Inovasi ini memperluas cakupan aplikasi sensor, menjadikannya relevan tidak hanya untuk kebutuhan rumah tangga, tetapi juga untuk pemantauan sistem kelistrikan berskala lebih besar seperti industri. Dengan demikian, rangkaian penelitian tersebut memberikan gambaran bahwa sensor PZEM-004T memiliki fleksibilitas tinggi dan dapat diintegrasikan dengan berbagai *platform* mikrokontroler sesuai kebutuhan aplikasi *monitoring* maupun pengendalian energi listrik.

A. ATS (*Automatic Transfer Switch*)

Automatic Transfer Switch (ATS) berfungsi sebagai sistem otomatis yang mengatur perpindahan sambungan listrik antar sumber tegangan [11]. Salah satu contoh penggunaan ATS adalah dalam perpindahan koneksi dari sumber tegangan listrik PLN (Perusahaan Listrik Negara) ke sumber tegangan cadangan seperti Genset. Ketika sumber tegangan PLN terputus atau tidak tersedia, ATS akan mendeteksi kondisi ini dan secara otomatis mengalihkan beban listrik ke Genset sebagai sumber tegangan pengganti.

B. AMF (*Automatic Main Failure*)

Automatic Main Failure (AMF) adalah sebuah metode otomatis yang berfungsi mendeteksi gangguan pada pasokan listrik utama dan secara otomatis mengalihkan sambungan ke sumber listrik cadangan [12]. Sistem AMF bertujuan untuk menjaga kelangsungan daya listrik pada suatu bangunan atau instalasi yang membutuhkan pasokan listrik yang terus menerus. Sistem AMF biasanya terdiri dari komponen seperti sensor pemantau tegangan, *relay* atau saklar pengendali, dan kontroler logika. Sensor pemantau tegangan digunakan untuk memonitor kondisi pasokan listrik utama, sedangkan *relay* atau saklar pengendali digunakan untuk mengontrol

beralihnya pasokan listrik antara sumber daya utama dan sumber daya cadangan. Kontroler logika 20 bertanggung jawab atas pemantauan dan pengendalian sistem AMF secara otomatis.

C. IoT (Internet of Things)

Internet of Things (IoT) merupakan suatu konsep dimana perangkat mampu berkomunikasi dan bertukar data melalui jaringan tanpa membutuhkan interaksi langsung dari manusia maupun komputer [13]. Dalam operasinya, IoT menggunakan algoritma bahasa pemrograman untuk menghasilkan argumen yang digunakan dalam interaksi. Setiap argumen tersebut berperan dalam memungkinkan perangkat keras atau mesin untuk mengeksekusi fungsi atau tugas yang telah ditentukan. Dengan demikian, mesin tidak lagi memerlukan intervensi manusia dan dapat beroperasi secara mandiri. Jaringan internet berperan sebagai penghubung antara sistem dan perangkat keras, dan menjadi faktor kunci dalam menjalankan program tersebut [14].

D. Wemos

Wemos merupakan sebuah mikrokontroler yang mengadopsi konsep *Internet of Things* IoT [15]. Dalam pengoperasiannya, Wemos memiliki modul board yang dapat berfungsi secara independen tanpa harus terhubung ke mikrokontroler.

E. Arduino IDE

Arduino IDE adalah sebuah *platform* berguna sebagai memprogram papan Arduino. Peran utamanya meliputi pembuatan, pengeditan, pengunggahan program ke papan Arduino yang diinginkan, serta penyusunan kode program tertentu [16]. Dengan bantuan Arduino IDE, pengguna dapat dengan mudah mengembangkan program untuk mengendalikan perangkat keras pada papan Arduino secara efisien.

F. Sensor PZEM-004T

PZEM-004T merupakan modul sensor serbaguna yang digunakan untuk melakukan pengukuran tegangan, arus, daya, faktor daya, serta energi pada suatu aliran listrik [1]. Modul ini dirancang dengan integrasi sensor tegangan dan sensor arus (CT) secara langsung, sehingga meminimalkan kebutuhan perangkat tambahan dan mempermudah proses instalasi serta pengoperasian. Dalam penerapannya, alat ini secara khusus ditujukan untuk penggunaan di dalam ruangan (*indoor*) dengan kondisi lingkungan yang terkontrol, dan perlu memperhatikan batasan daya yang telah ditetapkan. Beban listrik yang terpasang tidak boleh melebihi kapasitas maksimum modul agar sensor dapat beroperasi secara optimal dan aman. Karakteristik ini menjadikan PZEM-004T sangat cocok digunakan sebagai komponen inti dalam sistem *monitoring* energi listrik berbasis IoT, dimana data

pengukuran dapat dikirimkan secara langsung melalui jaringan internet dan dianalisis secara *real-time*.

G. LCD I2C

LCD I2C 16x2 adalah modul tampilan karakter berbasis *Liquid Crystal Display* (LCD) yang difungsikan untuk menampilkan teks hingga dua baris pada layar [17]. Modul ini sangat populer karena kemampuannya untuk berkomunikasi dengan Arduino melalui antarmuka I2C, sebuah protokol komunikasi serial yang sederhana, cepat, dan efisien.

H. Avometer

Avometer atau multimeter merupakan alat ukur serbaguna yang digunakan untuk melakukan pengukuran beberapa parameter listrik, antara lain tegangan, arus, dan hambatan [18]. Terdapat dua tipe alat ini, yaitu analog dan digital, yang masing-masing memiliki mekanisme berbeda dalam menampilkan hasil pengukuran. Avometer analog memperlihatkan hasil pengukuran melalui jarum penunjuk pada skala tertentu, sedangkan avometer digital menampilkan hasil tersebut secara numerik pada layar. Dalam penggunaannya, avometer harus dioperasikan sesuai dengan batas ukur yang tersedia pada alat, sebab kesalahan dalam pemilihan skala atau melebihi batas kemampuan alat dapat menyebabkan hasil pengukuran tidak akurat maupun berisiko merusak komponen internal.

III. METODOLOGI

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan utama yang disusun secara sistematis, meliputi perancangan sistem IoT, perancangan dan integrasi sensor PZEM-004T, pengumpulan data, serta analisis dan pengolahan data. Alur tahapan penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1: Diagram Alir Tahapan Penelitian Analisis Sensor PZEM-004T



Pada tahap perancangan sistem IoT, dilakukan perancangan arsitektur sistem *monitoring* yang mengintegrasikan sensor, mikrokontroler, dan *platform* IoT. Tahap berikutnya adalah perancangan sensor PZEM-004T yang mencakup penentuan konfigurasi pemasangan sensor pada jalur beban serta integrasinya dengan mikrokontroler. Setelah sistem terpasang, dilakukan proses pengumpulan data melalui pengujian langsung dengan variasi beban. Data hasil pengukuran kemudian dianalisis untuk menentukan tingkat akurasi sensor berdasarkan perhitungan deviasi dan nilai *error* pengukuran.

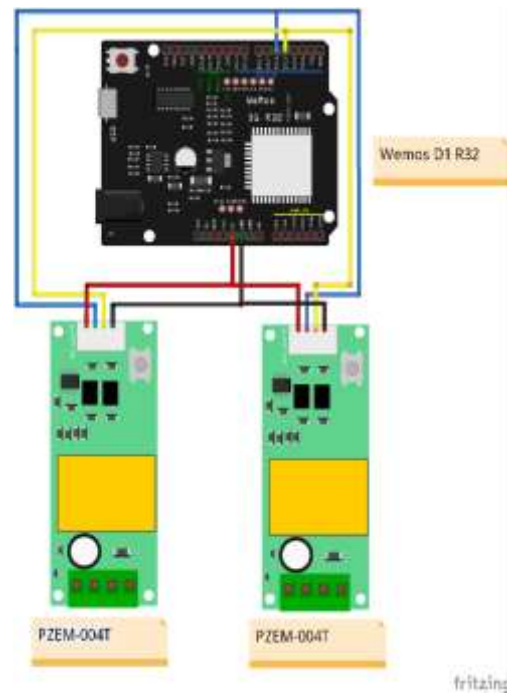
A. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di CV. Kross Sarana Teknik yang berlokasi di Jalan Danau Tamblingan Raya No.40 Taman Griya, Jimbaran, Bali. Waktu pelaksanaan penelitian berlangsung mulai bulan Mei 2023 hingga November 2024. Sistem pengujian menggunakan dua sumber tegangan, yaitu jaringan listrik PLN dan genset, yang berfungsi sebagai suplai daya pada sistem beban melalui panel *Automatic Transfer Switch – Automatic Main Failure* (ATS-AMF).

B. Desain Sistem Monitoring dengan Sensor PZEM-004T

Sistem *monitoring* dirancang untuk mengukur parameter tegangan dan arus listrik secara *real-time* pada sisi beban. Sensor PZEM-004T dipasang pada jalur beban sistem ATS-AMF dan berfungsi sebagai sensor utama dalam pengambilan data kelistrikan. Sensor ini dihubungkan dengan mikrokontroler WeMos D1 R32 menggunakan komunikasi serial RX/TX.

Data hasil pembacaan sensor selanjutnya dikirimkan ke *platform* IoT menggunakan koneksi WiFi dan ditampilkan pada aplikasi Blynk, sehingga parameter kelistrikan dapat dipantau secara jarak jauh dan *real-time*. Sensor PZEM-004T memiliki spesifikasi kemampuan pengukuran tegangan hingga 260 V dan arus hingga 10 A, sehingga sesuai untuk aplikasi *monitoring* daya listrik skala kecil hingga menengah. Pemilihan sensor ini didasarkan pada kompatibilitasnya dengan sistem IoT, kemudahan integrasi dengan mikrokontroler, serta ketersediaan pustaka pemrograman yang mendukung [1][2][6].



Gambar 2: Rangkaian Sistem Monitoring Menggunakan Sensor PZEM-004T dan Wemos D1 R32

C. Proses Pengujian Akurasi Sensor

Pengujian akurasi sensor dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sensor PZEM-004T terhadap alat ukur standar berupa AVO meter digital. AVO meter digunakan sebagai alat referensi karena telah umum dipakai dalam pengujian kelistrikan dan memiliki tingkat keandalan yang baik dalam pengukuran tegangan dan arus listrik [5][18].

Pengujian akurasi sensor dilakukan menggunakan beban listrik aktual yang terdapat pada lingkungan kantor CV. Kross Sarana Teknik. Jenis beban yang digunakan meliputi perangkat elektronik dan peralatan listrik operasional kantor, antara lain komputer, pendingin udara (AC), server, printer, serta pompa air. Penggunaan beban aktual ini bertujuan untuk merepresentasikan kondisi operasional nyata sistem kelistrikan, sehingga hasil pengujian mencerminkan karakteristik pengukuran sensor pada beban campuran yang bersifat resistif dan induktif. Setiap konfigurasi beban diuji secara berulang dengan kondisi operasi yang sama. Pembacaan nilai tegangan dan arus dari sensor PZEM-004T dan AVO meter digital dicatat secara bersamaan untuk memastikan kesetaraan kondisi pengukuran.

Nilai selisih pengukuran (deviasi) antara sensor dan AVO meter dihitung untuk setiap pengujian. Selanjutnya, nilai *error* relatif dinyatakan dalam bentuk persentase menggunakan persamaan berikut [19], [20]:

$$\%error = \frac{\text{nilai Avometer} - \text{nilai Sensor}}{\text{nilai Avometer}} \times 100\% \quad (1)$$

D. Analisis Data

Data hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel perbandingan antara hasil pembacaan sensor PZEM-004T dan AVO meter. Analisis dilakukan dengan menghitung nilai *error* untuk setiap pengujian, kemudian menentukan nilai rata-rata *error* pada pengukuran tegangan dan arus. Nilai rata-rata *error* tersebut digunakan sebagai indikator tingkat akurasi sensor pada berbagai variasi beban.

Hasil analisis selanjutnya digunakan untuk mengevaluasi keandalan sensor PZEM-004T serta kelayakannya dalam sistem *monitoring* daya listrik berbasis IoT, khususnya pada aplikasi ATS-AMF yang membutuhkan pemantauan parameter listrik secara kontinu dan *real-time*.

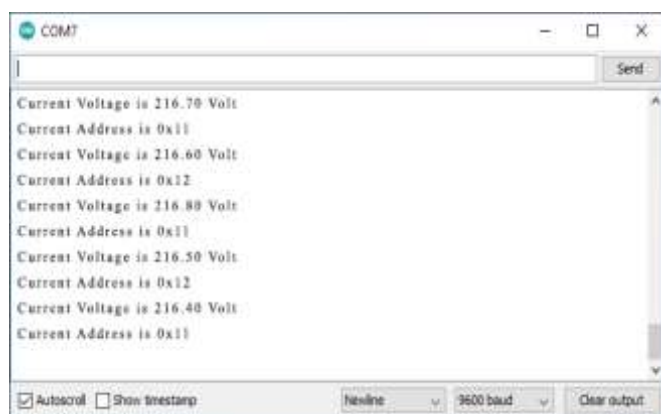
E. Kriteria Keberhasilan

Sensor PZEM-004T dinyatakan memiliki tingkat akurasi yang baik apabila nilai *error* pengukuran tegangan berada di bawah 1% dan nilai *error* pengukuran arus berada di bawah 5%. Batas toleransi tersebut mengacu pada standar umum aplikasi *monitoring* non-industri, dimana ketelitian tinggi diperlukan untuk pemantauan dan analisis, namun tidak bersifat pengukuran metrologi presisi. Kriteria ini digunakan sebagai acuan dalam menentukan kelayakan sensor PZEM-004T untuk diterapkan pada sistem *monitoring* daya otomatis berbasis IoT.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Sensor PZEM-004T

Pengujian awal dilakukan untuk memastikan sensor PZEM-004T dapat berfungsi dengan baik dalam membaca parameter listrik berupa tegangan dan arus. Sensor dihubungkan dengan mikrokontroler WeMos D1 R32, dan hasil pembacaan ditampilkan melalui serial monitor pada Arduino IDE. Tampilan ini digunakan untuk memverifikasi bahwa data yang dihasilkan sensor stabil dan dapat dibaca secara *real-time* sebelum dilakukan pengujian akurasi secara kuantitatif.



Gambar 3: Tampilan Hasil Pembacaan Sensor PZEM-004T pada Serial Monitor Arduino IDE

Hasil pengujian awal menunjukkan bahwa sensor PZEM-004T mampu menampilkan nilai tegangan dan arus secara kontinu tanpa gangguan komunikasi data. Hal ini menandakan bahwa sistem perangkat keras dan perangkat lunak telah berfungsi dengan baik dan siap digunakan untuk tahap pengujian akurasi lebih lanjut.

B. Pengujian Perbandingan Sensor PZEM-004T dengan Alat Ukur Konvensional

Pengujian akurasi sensor PZEM-004T dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sensor terhadap AVO meter digital sebagai alat ukur referensi. Pengujian dilakukan pada sistem kelistrikan kantor CV. Kross Sarana Teknik dengan menggunakan beban aktual operasional kantor, sehingga kondisi pengujian merepresentasikan keadaan nyata sistem kelistrikan. Pengujian dilakukan pada dua sumber daya listrik, yaitu jaringan PLN dan genset.

1. Hasil Pengujian Menggunakan Sumber PLN

Hasil pengujian sensor PZEM-004T pada sumber listrik PLN ditunjukkan pada Tabel I. Pengukuran dilakukan sebanyak 10 kali dengan interval waktu pengambilan data setiap 10 menit. Parameter yang diukur meliputi tegangan dan arus listrik, kemudian dihitung nilai *error* relatif berdasarkan perbandingan antara hasil pembacaan sensor dan AVO meter.

TABEL I
HASIL PENGUJIAN SENSOR PZEM-004T PADA SUMBER PLN

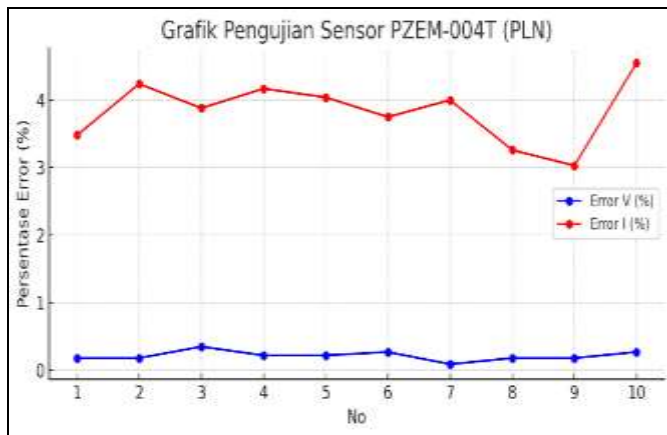
No	PZEM-004T (V)	PZEM-004T (I)	Avometer (V)	Avometer (I)	Error V (%)	Error I (%)
1	222.3	11.1	222.7	11.5	0.18	3.48
2	226.5	11.3	226.9	11.8	0.18	4.24
3	224.8	9.9	225.6	10.3	0.35	3.88
4	224.2	9.2	224.7	9.6	0.22	4.17
5	224	9.5	224.5	9.9	0.22	4.04
6	224.2	7.7	224.8	8	0.27	3.75
7	224.4	7.2	224.6	7.5	0.09	4
8	224.5	8.9	224.9	9.2	0.18	3.26
9	224.4	6.4	224.8	6.6	0.18	3.03
10	224.1	8.4	224.7	8.8	0.27	4.55
Rata-rata	224.34	8.96	224.82	9.32	0.214	3.84

Berdasarkan Tabel I, nilai rata-rata tegangan yang terukur oleh sensor PZEM-004T adalah 224,34 V, sedangkan nilai rata-rata tegangan hasil pengukuran AVO meter sebesar 224,82 V. Nilai rata-rata *error* pengukuran tegangan adalah 0,214%, yang menunjukkan bahwa sensor memiliki tingkat akurasi yang tinggi dalam mengukur tegangan listrik pada sumber PLN.

Untuk pengukuran arus, sensor PZEM-004T menghasilkan nilai rata-rata sebesar 8,96 A, sementara AVO meter menunjukkan nilai rata-rata sebesar 9,32 A. Nilai rata-rata *error* pengukuran arus tercatat sebesar 3,84%. Nilai *error* ini lebih besar dibandingkan *error* tegangan, yang disebabkan



oleh karakteristik beban kantor yang bersifat campuran (resistif dan induktif), sehingga arus cenderung mengalami fluktuasi selama proses pengujian.



Gambar 4: Grafik Hasil Pengujian Sensor PZEM 004T pada Sumber PLN

Gambar 4 menunjukkan grafik perbandingan dari hasil pengukuran sensor PZEM-004T pada sumber PLN. Terlihat bahwa nilai *error* tegangan relatif stabil pada setiap pengujian, sedangkan *error* arus menunjukkan variasi yang lebih besar dengan lonjakan tertinggi pada pengujian ke-10. Meskipun demikian, nilai *error* arus masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima untuk aplikasi *monitoring* daya listrik non-industri.

2. Hasil Pengujian Menggunakan Sumber Genset

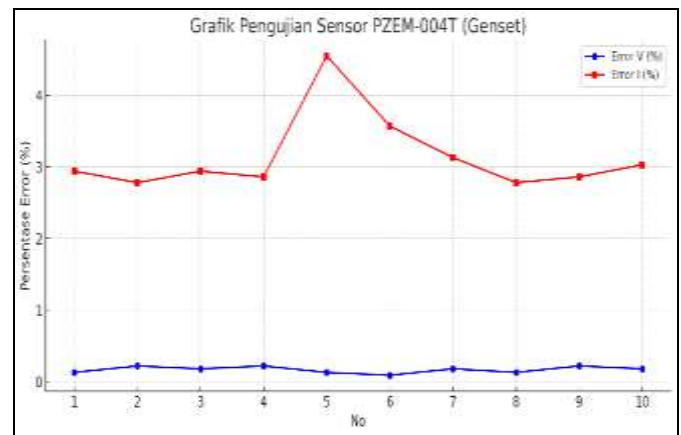
TABEL II
HASIL PENGUJIAN SENSOR PZEM-004T PADA SUMBER GENSET

No	PZEM-004T (V)	PZEM-004T (I)	Avometer (V)	Avometer (I)	Error V (%)	Error I (%)
1	222.9	3.3	223.2	3.4	0.13	2.94
2	222.4	3.5	222.9	3.6	0.22	2.78
3	223.3	3.3	223.7	3.4	0.18	2.94
4	225.1	3.4	225.6	3.5	0.22	2.86
5	222	2.1	222.3	2.4	0.13	4.55
6	224.5	2.7	224.7	2.8	0.09	3.57
7	223.4	3.1	223.8	3.2	0.18	3.13
8	224.6	3.5	224.9	3.7	0.13	2.78
9	222.3	3.4	222.8	3.5	0.22	2.86
10	224.5	3.2	224.9	3.3	0.18	3.03
Rata-rata	223.5	3.15	223.88	3.28	0.168	3.144

Hasil pengujian sensor PZEM-004T pada sumber listrik genset ditunjukkan pada Tabel II. Sama seperti pengujian sebelumnya, pengambilan data dilakukan sebanyak 10 kali dengan interval waktu 10 menit. Berdasarkan hasil pengukuran, nilai rata-rata tegangan yang terbaca oleh sensor adalah 223,5 V, sedangkan nilai rata-rata tegangan hasil pengukuran AVO meter sebesar 223,88 V. Nilai rata-rata *error* pengukuran tegangan tercatat sebesar 0,168%.

Pada pengukuran arus, sensor PZEM-004T menghasilkan nilai rata-rata sebesar 3,15 A, sedangkan AVO meter menunjukkan nilai rata-rata sebesar 3,28 A. Nilai rata-rata

error pengukuran arus pada pengujian menggunakan sumber genset adalah 3,144%. Nilai *error* ini lebih kecil dibandingkan pengujian pada sumber PLN, yang menunjukkan bahwa kestabilan arus pada sistem genset relatif lebih terjaga pada kondisi pengujian tertentu.



Gambar 5: Grafik Hasil Pengujian Sensor PZEM 004T pada Sumber Genset

Gambar 5 menunjukkan grafik hasil pengujian sensor PZEM-004T pada sumber genset. Grafik tersebut memperlihatkan bahwa pengukuran tegangan memiliki tingkat kestabilan yang baik dengan *error* yang rendah, sedangkan pengukuran arus menunjukkan variasi dengan lonjakan tertinggi pada pengujian ke-5. Secara umum, hasil pengujian ini menunjukkan bahwa sensor PZEM-004T mampu bekerja dengan baik pada sumber daya genset dengan tingkat akurasi yang masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima.

C. Pembahasan Hasil Pengujian Sensor PZEM-004T

Berdasarkan hasil pengujian pada kedua sumber daya listrik, dapat disimpulkan bahwa sensor PZEM-004T memiliki tingkat akurasi yang sangat baik dalam pengukuran tegangan, dengan nilai *error* rata-rata dibawah 0,3% baik pada sumber PLN maupun genset. Hal ini menunjukkan bahwa sensor mampu memberikan hasil pengukuran tegangan yang stabil dan konsisten.

Sebaliknya, pengukuran arus menunjukkan nilai *error* yang lebih besar dibandingkan tegangan, dengan rata-rata *error* sebesar 3,84% pada sumber PLN dan 3,144% pada sumber genset. Perbedaan ini dipengaruhi oleh karakteristik beban kantor yang bersifat dinamis dan kombinasi antara beban resistif serta induktif, yang menyebabkan fluktuasi arus selama proses pengujian. Meskipun demikian, nilai *error* tersebut masih berada dalam batas toleransi yang ditetapkan, yaitu di bawah 5% untuk aplikasi *monitoring* non-industri.

Hasil ini menunjukkan bahwa sensor PZEM-004T cukup andal untuk digunakan dalam sistem *monitoring* daya listrik berbasis IoT, khususnya pada aplikasi ATS-AMF yang membutuhkan pemantauan tegangan dan arus secara *real-time*, namun tidak memerlukan tingkat presisi metrologi tinggi.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai analisis akurasi sensor PZEM-004T dalam pengukuran tegangan dan arus

listrik pada sistem ATS-AMF berbasis IoT, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pengujian pada sumber PLN menunjukkan rata-rata *error* pengukuran tegangan sebesar 0,214% dan arus sebesar 3,84%, sedangkan pengujian pada sumber genset menghasilkan rata-rata *error* tegangan sebesar 0,168% dan arus sebesar 3,144%. Nilai *error* tersebut masih berada dalam batas toleransi untuk aplikasi *monitoring* kelistrikan non-industri (*error* arus <5%), sehingga sensor PZEM-004T dinilai memiliki tingkat akurasi yang memadai untuk pemantauan tegangan dan arus listrik pada sistem ATS-AMF.
2. Integrasi sensor PZEM-004T dengan mikrokontroler WeMos D1 R32 melalui komunikasi serial serta pengiriman data ke platform IoT memungkinkan pemantauan kondisi kelistrikan secara real-time. Hal ini menunjukkan bahwa sensor PZEM-004T dapat diimplementasikan secara efektif pada sistem monitoring suplai daya berbasis IoT, khususnya untuk mendukung pengawasan perpindahan sumber listrik antara PLN dan genset.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sensor PZEM-004T memiliki tingkat akurasi yang memadai untuk aplikasi *monitoring* kelistrikan berbasis IoT pada sistem ATS-AMF. Penelitian selanjutnya dapat difokuskan pada pengujian pada variasi jenis beban yang lebih kompleks serta integrasi parameter daya lainnya guna meningkatkan keandalan sistem *monitoring* secara menyeluruh.

REFERENSI

- [1] Zuchriadi, A., & Julian, J. (2020). Sistem Kendali Daya Listrik Berbasis PZEM-004T dan Blynk. ., 1(8), 1023-1028.
- [2] Syahrul, M., & Nugraha, A. (2020). Design of IoT-based electrical parameter monitoring system using NodeMCU V3 and PZEM-004T V3 sensor. *Tsabit Journal*, 2(1), 77–84.
- [3] Ramadhani, F., Nugroho, A., & Putra, Y. (2022). Application of an artificial neural network to improve the accuracy of the PZEM-004T current sensor. *Telekontran*, 10(2), 55–62.
- [4] Irwansyah, A., & Kurniawan, R. (2021). Perbandingan tingkat akurasi sensor daya listrik HLW8012 dan PZEM-004T berbasis Arduino Uno. *Prosiding Seminar Nasional Industri dan Teknologi*, 4(2), 233–240.
- [5] Nugraha, F., & Putra, I. (2022). Evaluasi akurasi sensor tegangan, arus, suhu, dan angin pada PLTS & PLTB. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi*, 7(1), 145–150.
- [6] Zulfikar, A., & Prasetyo, H. (2020). Monitoring dan controlling daya berbasis Arduino Uno menggunakan sensor PZEM-004T. *Jurnal Energi Elektrik*, 8(1), 22–29.
- [7] Yulianto, R., & Santosa, F. (2022). Realtime monitoring system of solar panel performance based on IoT using Blynk application. *Elinvo*, 7(2), 211–218.
- [8] Bawono, A., & Arifin, Z. (2020). Sistem monitoring arus dan tegangan berbasis IoT. *Jurnal Zetroem*, 3(2), 101–108.
- [9] Wijaya, R., & Sari, D. (2023). IoT-based electrical power recording using ESP32 and PZEM-004T microcontrollers. *Journal of Computer Science and Technology Studies*, 5(3), 44–51.
- [10] Lestari, M., & Pramono, A. (2020). Multifunction meter 3 fase menggunakan sensor PZEM-004T berbasis NodeMCU ESP8266. *Poligrid: Jurnal Energi dan Kelistrikan*, 2(1), 11–18.
- [11] Widiastuti, S. (2023). Rancang Bangun Panel Ats (Automatic Transfer Switch) Sebagai Listrik Alternatif Pada Sumber PLN. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 9(11), 880-884.
- [12] Akmal, M. D. F., Alfita, R., Ulum, M., Haryanto, H., Pramudia, M., & Nahari, R. V. (2021). Rancang Bangun Automatic Transfer Switch (ATS)-Automatic Main Failure (AMF) Untuk Otomatisasi Genset Berbasis Mikrokontroler Menggunakan Metode Fault Tolerance. *Jurnal FORTECH*, 2(2), 63-68.
- [13] Natsir, M., Rendra, D. B., & Anggara, A. D. Y. (2019). Implementasi IOT Untuk Sistem Kendali AC Otomatis Pada Ruang Kelas di Universitas Serang Raya. *PROSISKO: Jurnal Pengembangan Riset dan Observasi Sistem Komputer*, 6(1).
- [14] Suarna, D., Sutisna, S., & Hidayat, R. (2023). Implementasi Internet of Things (IoT) dalam memonitoring dan mengontrol konsumsi listrik. *Bulletin of Information Technology (BIT)*, 4(2), 145-153.
- [15] Saputro, D. A., Ernawati, E., Khasanah, S. L., & Tafrikhatin, A. (2021). Perangkat Tikus Otomatis Menggunakan Sensor Inframerah Berbasis Wemos D1 Mini. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 5(3), 6188-6195.
- [16] Djuandi, F. (2011). Pengenalan arduino. E-book. www.tobuku.com, 24.
- [17] Pradhana, C., & Sulaiman, M. (2020). Simulasi Komunikasi Serial Dengan Protokol I2C Menggunakan Arduino IDE dan Proteus 8. *SinarFe7*, 3(1).
- [18] Electra. (2023). Multimeter/avometer sebagai alat ukur & fungsi. *Jurnal Electra*, 5(2), 101–108.
- [19] Clifford, A. A., & Clifford, A. T. (2001). Percentage error: What denominator? *Journal of Chemical Education*, 78(11), 1514. <https://doi.org/10.1021/ed078p1514>
- [20] Bartoletti, V., Muscas, S., Pegoraro, P. A., & Sulis, S. (2015). Analysis of measurement error in direct and transformer-operated measurement systems for electric energy and maximum power measurement. *IET Science, Measurement & Technology*, 9(3), 319–327. <https://doi.org/10.1049/iet-smt.2014.0280>
- [21] Siregar, D., Yuliana, R., & Pratama, A. (2021). Pengembangan dan evaluasi sistem monitoring konsumsi daya listrik berbasis IoT dengan sensor PZEM-004T dan ESP8266. *Jurnal Ilmu Komputer*, 9(2), 45–52.
- [22] Handoko, L., & Sutopo, A. (2021). Internet of Things on electrical energy monitoring using multi-electrical parameter sensors. *Motivation*, 5(1), 33–40.
- [23] Sulistyorini, T., Sofi, N., & Sova, E. (2022). Pemanfaatan NodeMCU ESP8266 berbasis Android (Blynk) sebagai alat mematikan dan menghidupkan lampu. *Jurnal Ilmiah Teknik*, 1(3), 40–53.
- [24] Blynk Inc. (2023). *Blynk documentation: Data logging*. <https://docs.blynk.io>
- [25] Sutikno, T., Alfahri, J., & Purnama, H. S. (2023). Monitoring tegangan dan arus pada panel surya menggunakan IoT. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 22(1), 153–155.
- [26] Meunasah, A. R. S., & Rahmadani, A. (2024). Prototipe alat monitoring suhu dan kelembapan ruang baterai pada gardu induk berbasis IoT. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 23(2), 241–248.



{halaman ini sengaja di kosongkan}