

Inovasi Modul Monitoring Parameter Listrik Pada PHB-TR 400/230V Berbasis Mikrokontroler

Rahma Nur Amalia^{*a)}, Ika Noer Syamsiana^{a)}, Tresna Umar Syamsuri^{a)}, Ana Mardiana^{a)}

(Received 4 Juni 2024 || Revised 19 Juni 2024 || Accepted 21 Juni 2024)

Abstract: *The reliability of electrical energy distribution is paramount to continuously meet consumer demands. Effective maintenance of the distribution system, particularly the low voltage switchgear (PHB-TR), is essential to ensure this reliability. A significant challenge arises from the fact that many distribution substations are situated in remote or hard-to-access locations, complicating the maintenance process for technicians. This study aims to design and develop an innovative module for monitoring current and voltage, utilizing the Arduino Nano microcontroller, equipped with a PZEM sensor module and an I2C LCD display. The primary objective is to facilitate remote monitoring and enhance the efficiency of maintenance operations at these substations. The research methodology encompasses the design, simulation, and testing phases of the monitoring module applied to a 400/230 V PHB-TR. The module's performance was evaluated based on its accuracy in measuring current and voltage. The findings indicate that the developed module exhibits high accuracy, with an average current sensor error margin of 2.9% and a voltage sensor error margin of 1.3%. The implications of this research are significant for the field of electrical distribution maintenance. The implementation of this monitoring system can lead to substantial improvements in time and energy efficiency, as well as enhanced safety for maintenance personnel. Moreover, it facilitates real-time remote monitoring, which is particularly beneficial for substations located in challenging terrains. This innovation holds the potential to streamline maintenance processes and ensure a more reliable supply of electrical energy to consumers.*

Keywords: *Low Voltage Switchgear, Arduino Nano, PZEM Sensor, Remote Monitoring, Real-Time Monitoring*

1. Pendahuluan

Pemeliharaan gardu distribusi listrik merupakan aspek krusial dalam memastikan distribusi energi yang andal dan kontinu kepada konsumen. Distribusi energi listrik yang terjaga keandalannya dapat menghindari gangguan pasokan listrik yang merugikan konsumen dan berdampak negatif pada ekonomi dan kesejahteraan masyarakat [1]. Pentingnya penelitian ini terletak pada upaya untuk meningkatkan efisiensi dan keselamatan dalam pemeliharaan gardu distribusi, terutama yang berada di lokasi terpencil. Inovasi dalam teknologi monitoring diperlukan untuk menjawab tantangan yang dihadapi dalam pemeliharaan gardu distribusi. Dengan demikian, penelitian ini menawarkan solusi yang relevan dan signifikan untuk masalah pemeliharaan gardu distribusi yang ada saat ini.

Namun, terdapat beberapa masalah signifikan yang dihadapi dalam pemeliharaan gardu distribusi. Banyak gardu distribusi terletak di daerah yang sulit dijangkau oleh kendaraan, membuat akses pemeliharaan menjadi sulit dan tidak efisien. Petugas sering kali harus menghadapi risiko dan kesulitan dalam mencapai lokasi untuk melakukan pemeliharaan rutin. Selain itu, pemantauan arus dan tegangan secara manual memerlukan waktu dan tenaga yang tidak sedikit, meningkatkan potensi kesalahan dan ketidakakuratan. Oleh karena itu, diperlukan solusi yang dapat mengatasi masalah akses dan meningkatkan efisiensi serta akurasi pemeliharaan.

Dalam upaya menjawab masalah ini, teknologi monitoring arus dan tegangan berbasis mikrokontroler telah berkembang pesat. Berbagai perangkat monitoring saat ini menggunakan teknologi sensor dan mikrokontroler untuk memantau kondisi arus dan tegangan secara *real-time*. Misalkan Pradana et al. merancang sistem monitoring daya listrik berbasis IoT menggunakan sensor PZEM-004T dan platform Blynk, yang dapat memantau konsumsi daya listrik peralatan elektronik rumah tangga secara akurat dan menampilkan perkiraan biaya listrik secara *real-time* melalui aplikasi pada gadget Android [2]. Istiana dan Cahyono et al. merancang PEMoS, yaitu alat berbasis IoT untuk memonitor dan mengontrol pemakaian daya listrik dengan sensor tegangan dan arus secara *real-time*, mengirim data ke pengguna melalui

NodeMCU dan aplikasi Android, meskipun terdapat galat pengukuran dan keterlambatan data [3]. Dawe et al. merancang konsep rumah pintar berbasis IoT yang memungkinkan pengendalian jarak jauh dan *real-time* peralatan elektronik rumah tangga serta pemantauan daya, tegangan, arus, dan tagihan listrik melalui aplikasi Android menggunakan mikrokontroler ESP8266 [4]. Goeritno dan Hendryan merancang sistem minimum untuk memantau dan mengontrol tegangan pada jaringan listrik tiga fase menggunakan modul Arduino, Ethernet Shield W5100, RouterBoard MikroTik, modul relay, dan smartphone Android, dengan pengujian kinerja yang menunjukkan sistem ini efektif untuk pemantauan dan kontrol tegangan [5]. Sabillah dan Hidayat merancang sistem pemantau konsumsi energi listrik rumah kos secara *real-time* melalui internet menggunakan sensor PZEM-004T dan aplikasi Blynk untuk menampilkan data tegangan, arus, daya, dan energi pada LCD dan aplikasi [6].

Meskipun sudah ada beberapa solusi yang diterapkan, masih terdapat gap dalam hal efektivitas dan efisiensi pemantauan jarak jauh pada gardu distribusi. Banyak perangkat monitoring saat ini belum mampu memberikan pemantauan yang akurat dan efisien, terutama di lokasi terpencil. Selain itu, teknologi yang ada belum sepenuhnya memanfaatkan potensi mikrokontroler dan sensor modern untuk meningkatkan kinerja dan keandalan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengisi gap tersebut dengan mengembangkan solusi yang lebih inovatif dan tepat guna. Dengan memanfaatkan teknologi terbaru, penelitian ini diharapkan dapat mengatasi kekurangan yang ada dalam perangkat monitoring saat ini.

Penelitian ini mengusulkan konsep baru untuk mengisi gap yang ada dengan mengembangkan modul monitoring arus dan tegangan berbasis mikrokontroler Arduino Nano dan sensor PZEM. Inovasi ini tidak hanya meningkatkan akurasi pemantauan tetapi juga memungkinkan pemantauan jarak jauh secara *real-time*. Modul ini dirancang untuk mudah diimplementasikan dan dioperasikan oleh petugas, terutama di lokasi terpencil yang sulit dijangkau. Selain itu, penggunaan teknologi ini diharapkan dapat mengurangi waktu dan tenaga yang dibutuhkan untuk pemeliharaan, serta meningkatkan keselamatan petugas. Dengan

* Korespondensi: rahma.polinema@gmail.com

a) Prodi Sistem Kelistrikan, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang
Jalan Soekarno-Hatta No. 9 Malang, Indonesia

demikian, penelitian ini menawarkan solusi yang lebih efisien dan efektif untuk pemeliharaan gardu distribusi.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk merancang dan mengembangkan modul monitoring arus dan tegangan yang dapat meningkatkan efisiensi dan akurasi pemeliharaan gardu distribusi. Modul ini menggunakan mikrokontroler Arduino Nano dan sensor PZEM untuk pemantauan real-time. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk menguji keandalan dan efektivitas modul dalam kondisi lapangan yang sebenarnya. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam bidang pemeliharaan distribusi energi listrik. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menawarkan solusi teknis tetapi juga meningkatkan praktik pemeliharaan yang lebih baik di masa depan.

2. Metode Penelitian

2.1 Komponen Utama

Komponen utama di penelitian ini antara lain mikrokontroler, modul Wi-Fi, sensor, LCD, catu daya, dan *breadboard* mini. Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Nano untuk mengendalikan alat monitoring secara keseluruhan. Arduino Nano adalah salah satu varian dari platform mikrokontroler Arduino yang dirancang untuk memudahkan proses pengembangan dan prototipe perangkat elektronik. Arduino Nano terkenal karena ukurannya yang kecil dan kemampuannya yang serbaguna, membuatnya sangat ideal untuk proyek-proyek yang memerlukan perangkat keras yang kompak dan efisien [7], [8], [9]. Dilengkapi dengan mikrokontroler ATmega328P, Arduino Nano menawarkan berbagai fitur dan kapabilitas yang memungkinkan penggunaannya untuk mengontrol dan mengelola berbagai sensor, aktuator, dan modul lainnya dengan mudah [10]. Salah satu fitur unggulan Arduino Nano adalah kemudahan dalam konektivitas dan kompatibilitas dengan berbagai perangkat dan modul [11]. Arduino Nano juga mendukung protokol komunikasi seperti I2C dan SPI, yang memungkinkan interaksi dengan berbagai sensor dan modul eksternal [12]. Keunggulan utama dari Arduino Nano adalah ukurannya yang kecil dan desain yang efisien, yang membuatnya ideal untuk aplikasi dengan keterbatasan ruang [13].

Sensor PZEM-004T di penelitian ini dan secara umum digunakan untuk mengukur arus dan tegangan. Keunggulan utama sensor ini yaitu dilengkapi dengan antarmuka komunikasi serial (RS485) yang memungkinkan data diakses dan dipantau secara real-time melalui mikrokontroler seperti Arduino. Antarmuka ini mendukung protokol Modbus RTU, yang membuatnya kompatibel dengan berbagai sistem kontrol dan monitoring [14].

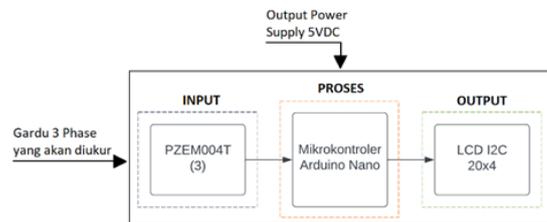
LCD I2C digunakan untuk menampilkan hasil pengukuran dari sensor. LCD ini menggunakan antarmuka I2C (*Inter-Integrated Circuit*) untuk komunikasi dengan mikrokontroler [14]. Modul ini sangat populer dalam proyek elektronik karena kemudahannya dalam pengaturan dan penggunaan, serta kompatibilitasnya dengan berbagai platform mikrokontroler seperti Arduino dan Raspberry Pi [15].

Catu daya digunakan untuk menyediakan daya bagi sistem monitoring dengan tegangan 5VDC. Stabilitas tegangan sangat penting untuk memastikan bahwa semua komponen elektronik berfungsi dengan baik dan memberikan hasil pengukuran yang akurat [16].

2.2 Blok Diagram Sistem

Gambar 2.1 menggambarkan diagram blok dari sistem

monitoring arus dan tegangan pada gardu 3 phase. Sistem ini terdiri dari tiga komponen utama yaitu masukan, proses, dan keluaran. Pada bagian masukan, terdapat sensor PZEM-004T yang berfungsi untuk mengukur parameter listrik dari gardu 3 phase yang akan diukur. Sensor ini akan mengumpulkan data arus dan tegangan yang kemudian dikirim ke bagian proses untuk diolah.



GAMBAR 2.1 BLOK DIAGRAM SISTEM

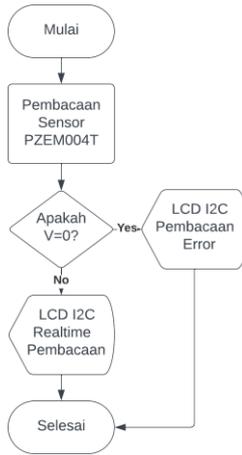
Sedangkan bagian proses dari sistem ini, masih mengacu ke Gambar 2.1, diwakili oleh mikrokontroler Arduino Nano. Mikrokontroler ini menerima data dari sensor PZEM-004T, memproses data tersebut, dan mengatur bagaimana data akan ditampilkan. Arduino Nano melakukan komputasi yang diperlukan untuk memastikan bahwa data yang diperoleh dari sensor dapat diinterpretasikan dengan benar dan siap untuk ditampilkan kepada pengguna. Proses ini termasuk konversi data digital yang diperoleh dari sensor menjadi format yang dapat ditampilkan pada layar.

Bagian keluaran dari sistem ini adalah LCD I2C 20x4, yang digunakan untuk menampilkan hasil pengukuran arus dan tegangan dari sensor. LCD I2C menampilkan data dalam format yang mudah dibaca, memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi gardu secara real-time. Sistem ini mendapatkan daya dari power supply 5VDC, yang memastikan semua komponen berfungsi dengan baik. Dengan struktur ini, sistem mampu memberikan pemantauan yang efisien dan akurat, membantu dalam pemeliharaan dan pengelolaan gardu 3 phase.

2.3 Diagram Alir Sistem

Gambar 2.2 menunjukkan diagram alir dari proses pemantauan arus dan tegangan menggunakan sensor PZEM-004T dan mikrokontroler Arduino Nano. Berdasarkan Gambar 2.2 dapat diketahui bahwa proses dimulai dengan inisiasi sistem yang ditandai dengan blok "Mulai." Setelah sistem diinisiasi, langkah pertama adalah pembacaan data dari sensor PZEM-004T. Sensor ini mengukur parameter listrik seperti tegangan dan arus dari gardu 3 phase yang dipantau.

Setelah data dibaca oleh sensor, langkah berikutnya adalah validasi data tersebut. Sistem memeriksa apakah tegangan (V) yang dibaca adalah nol. Jika tegangan yang dibaca adalah nol, ini menunjukkan adanya kesalahan dalam pembacaan sensor atau masalah pada koneksi. Dalam kasus ini, sistem akan menampilkan pesan "Pembacaan Error" pada LCD I2C. Proses ini penting untuk memastikan bahwa data yang ditampilkan kepada pengguna adalah akurat dan dapat diandalkan.



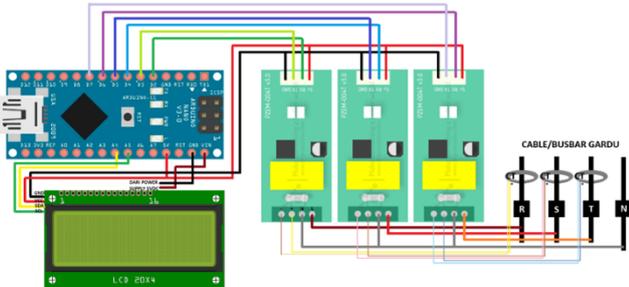
GAMBAR 2.2 DIAGRAM ALIR SISTEM

Jika tegangan yang dibaca oleh sensor bukan nol, sistem akan melanjutkan untuk menampilkan pembacaan data secara real-time pada LCD I2C. LCD ini akan menunjukkan nilai arus dan tegangan yang sebenarnya, memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi listrik secara langsung. Setelah data ditampilkan, proses pemantauan dianggap selesai hingga siklus pemantauan berikutnya dimulai. Diagram alir ini menggambarkan proses yang sederhana namun efektif dalam memastikan bahwa sistem pemantauan berfungsi dengan baik dan memberikan data yang akurat kepada pengguna.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Rancangan Modul

Diagram pengawatan modul dapat dilihat di Gambar 3.1 berikut ini.



GAMBAR 3.1 DIAGRAM PENGAWATAN MODUL MONITORING

Gambar 3.1 menunjukkan pengawatan penelitian ini dengan tegangan operasi sistem adalah tegangan DC 5V keluaran dari catu daya 5V. Sensor PZEM004T berfungsi mendeteksi data elektrik setiap fasa di gardu distribusi. Terdapat 4 pin kontrol pada komponen PZEM004T yaitu VCC dan GND yang dihubungkan dengan tegangan 5V dan RX TX yang dihubungkan dengan pin digital mikrokontroler. Selain pin kontrol, terdapat 4 pin power dimana L N dihubungkan ke busbar setiap fasa untuk mengukur tegangan dan + - dihubungkan ke output CT untuk pengukuran arus. Komponen LCD I2C 20x4 untuk menampilkan data elektrik hasil pembacaan sensor PZEM004T. Data tersebut dikirim melalui komunikasi serial antara Arduino Nano dan LCD menggunakan pin SDA SCL. Pin SDA berada pada pin A4 Arduino Nano, sedangkan SCL pada A5. LCD juga membutuhkan power 5V sehingga pin VCC GND pada LCD dihubungkan dengan tegangan 5V. Setelah

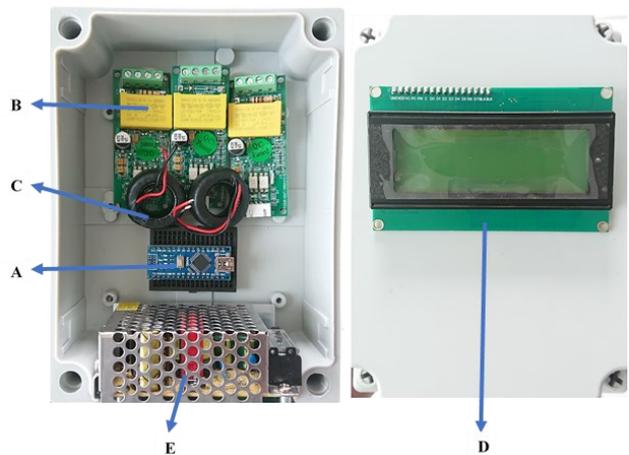
dilakukan pemrograman sesuai dengan prinsip kerja maka seluruh komponen akan terintegrasi satu sama lain.

Modul dimasukkan ke dalam *box project* berukuran 16 x 11 x 7 cm dengan hasil rancangan modul dapat dilihat di Gambar 3.2. Keterangan lebih lanjut mengenai bagian-bagian dari modul beserta fungsinya masing-masing dapat dilihat di Tabel 3.1.

3.2 Pengujian Nilai Arus

Pengujian nilai arus ini juga dimaksudkan untuk kalibrasi sensor. Pada tahap ini modul dihubungkan dengan beban lampu pijar 100W 220VAC. Pengujian nilai arus dilakukan antara fase terhadap netral secara bergantian sehingga didapatkan nilai arus dari pembacaan multimeter dan pembacaan sensor yang tertampil pada LCD I2C. Hasil pengukuran arus di multimeter dibandingkan dengan hasil pembacaan sensor. Tujuan pengujian arus adalah untuk menguji keakuratan komponen sensor dalam mengukur arus berdasarkan rumusan persentase galat. Nilai galat dihitung menggunakan Persamaan (3-1).

$$\%Galat = \left| \frac{\text{nilai dari Multimeter} - \text{nilai dari sensor}}{\text{nilai dari multimeter}} \right| \times 100\% \quad (3-1)$$



GAMBAR 3.2 MODUL MONITORING DAN BAGIAN-BAGIANNYA

TABEL 3.1 KOMPONEN DARI MODUL BESERTA FUNGSI

Kode	Nama Komponen	Fungsi
A	Arduino Nano	Sebagai mikrokontroler pengolah data dan menampilkan data pada LCD I2C 20x4 melalui pemrograman C+ menggunakan aplikasi Arduino IDE
B	PZEM 004T	Sensor elektrik tegangan AC yang dapat membaca besar tegangan, arus, daya, cos phi dan energi listrik
C	CT 100/5A	Komponen bantu untuk membaca circuit dengan arus yang lebih besar
D	LCD I2C 20x4	Interface menampilkan data hasil pembacaan sensor PZEM004T (monitoring)
E	Catu daya 5VDC	Catu daya sebagai sumber tegangan mikrokontroler, sensor dan modul lainnya.

Nilai pengujian arus beserta galat sensor dapat dilihat di Tabel 3.2. Beban pada pengujian berupa lampu pijar 100 W 220 VAC.

TABEL 3.2 PENGUJIAN NILAI ARUS

Fasa	Pembacaan Sensor/Modul (A)	Pembacaan Multimeter (A)	Selisih Galat	Persentase Galat
R-N	0.45	0.45	0	0

S-N	0.43	0.45	0.02	4.4%
T-N	0.43	0.45	0.02	4.4%
Rata-rata galat			0.013	
Persentase rata-rata galat				2.9%

Tabel 3.2 menunjukkan menunjukkan bahwa sensor PZEM-004T memiliki akurasi yang baik dalam pembacaan arus untuk setiap fase (R, S, dan T). Pada fase R-N, pembacaan arus sensor dan perhitungan hasil arus adalah sama, yaitu 0.45 A, dengan persentase error 0%. Untuk fase S-N dan T-N, pembacaan sensor menunjukkan arus 0.43 A, sedangkan hasil perhitungan adalah 0.45 A, menghasilkan selisih error 0.02 A dan persentase error 4.4% untuk masing-masing fase. Persentase error rata-rata untuk sensor ini adalah 2.9%, menunjukkan bahwa sensor PZEM-004T memiliki akurasi yang dapat diterima dengan deviasi kecil pada fase S-N dan T-N. Contoh perhitungan nilai galat berdasarkan data arus dari sensor dan data arus dari multimeter untuk fasa R-N seperti di Tabel 3.2 adalah sebagai berikut.

$$\%Galat = \left| \frac{0-0}{0} \right| \times 100\% = 0\%$$

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa sensor PZEM-004T dapat digunakan untuk aplikasi pemantauan arus dengan tingkat akurasi yang tinggi, meskipun ada sedikit variasi yang perlu diperhatikan pada beberapa fase.

3.3 Pengujian Nilai Tegangan

Pengujian nilai tegangan juga bertujuan untuk kalibrasi sensor. Pada tahap ini, modul dihubungkan dengan beban lampu pijar 100W 220VAC. Pengujian tegangan dilakukan antara fase dan netral secara bergantian, sehingga diperoleh nilai arus dari pembacaan multimeter dan sensor yang ditampilkan pada LCD I2C. Hasil pengukuran tegangan dari multimeter kemudian dibandingkan dengan hasil pembacaan sensor. Tujuan dari pengujian tegangan ini adalah untuk menguji keakuratan sensor dalam mengukur arus dengan menggunakan rumus persentase galat. Nilai galat dihitung menggunakan Persamaan (3-1). Nilai pengujian arus beserta galat sensor dapat dilihat di Tabel 3.3.

TABEL 3.3 PENGUJIAN NILAI TEGANGAN

Fase	Pembacaan Sensor (V)	Pembacaan Multimeter (V)	Selisih Error	Persentase Error
R-N	234.2	228	6.2	2.7%
S-N	230.5	229	1.5	0.7%
T-N	229.2	228	1.2	0.5%
Rata-rata galat			2.9	
Persentase rata-rata galat				1.3%

Tabel 3.3 menunjukkan menunjukkan bahwa sensor PZEM-004T memiliki akurasi yang baik dalam pembacaan tegangan untuk setiap fase (R, S, dan T). Pada fase R-N, sensor menunjukkan tegangan 234.2 V sedangkan multimeter menunjukkan 228 V, dengan selisih error 6.2 V dan persentase error 2.7%. Pada fase S-N, tegangan sensor adalah 230.5 V dan multimeter 229 V, dengan selisih error 1.5 V dan persentase error 0.7%. Pada fase T-N, tegangan sensor adalah 229.2 V dan multimeter 228 V, dengan selisih error 1.2 V dan persentase error 0.5%. Rata-rata persentase error keseluruhan adalah 1.3%, menunjukkan sensor PZEM-004T cukup akurat untuk pengukuran tegangan.

Contoh perhitungan nilai galat berdasarkan data tegangan dari sensor dan data tegangan dari multimeter untuk fasa R-N seperti di Tabel 3.3 adalah sebagai berikut.

$$\%Galat = \left| \frac{228-234.2}{234.2} \right| \times 100\% = 2.7\%$$

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa sensor PZEM-004T dapat digunakan untuk aplikasi pemantauan tegangan dengan tingkat akurasi yang tinggi, meskipun ada sedikit variasi yang perlu diperhatikan pada beberapa fase.

Adanya ketidaksamaan nilai antara sensor satu dan lainnya disebabkan kinerja dari masing-masing sensor. Meskipun ketiga sensor memiliki fungsi yang sama, namun tingkat akurasi dan kinerja dari masing-masing sensor akan berbeda. Selain itu, pembacaan tegangan oleh sensor merupakan tegangan yang terukur pada grid saat itu. Adanya perbedaan tegangan terukur disebabkan oleh adanya perbedaan pula tegangan pada grid. Meskipun demikian ketiga sensor tersebut masih layak digunakan selama hasil ukurnya masih dalam batas toleransi nilai tegangan yang diizinkan

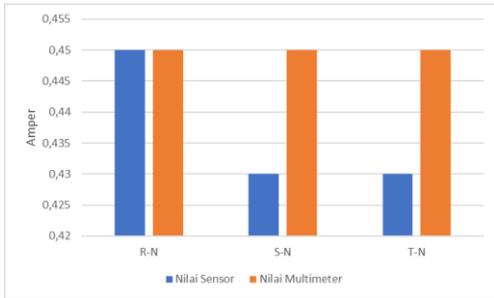
3.4 Hasil Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian sistem keseluruhan didasarkan pada beberapa macam parameter seperti pengujian nilai arus dan tegangan serta tampilan pada LCD I2C. Hasil dari pengujian sensor dapat dilihat di bagian sebelumnya dengan hasil sebagai berikut.

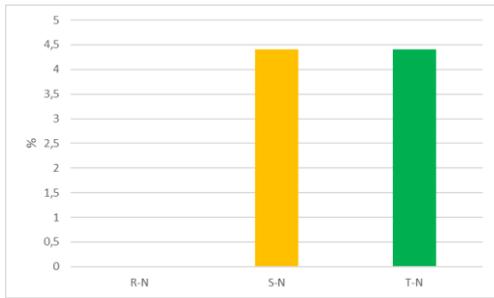
Pada pengujian nilai arus diperoleh: sensor 1 (R-N) memiliki selisih galat sebesar 0A dan persentase galat sebesar 0%, sensor 2 (S-N) memiliki selisih galat sebesar 0.02A dan persentase galat sebesar 4.4%, sensor 3 (T-N) memiliki selisih galat sebesar 0.02A dan persentase galat sebesar 4.4%.

Dari pengujian nilai arus didapatkan grafik perbandingan hasil pengukuran arus antara sensor PZEM-004T dan multimeter untuk tiga fasa: R-N, S-N, dan T-N seperti pada Gambar 3.3. Berdasarkan Gambar 3.3 dapat diketahui bahwa pada fase R-N, baik sensor PZEM-004T maupun multimeter menunjukkan nilai arus sebesar 0.45 A. Hal ini terlihat dari kedua batang, biru (nilai sensor) dan oranye (nilai multimeter), yang memiliki ketinggian yang sama, menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan antara kedua pengukuran. Pada fase S-N, sensor PZEM-004T menunjukkan nilai arus sebesar 0.43 A, sedangkan multimeter menunjukkan nilai arus sebesar 0.45 A. Selisih antara kedua pengukuran ini adalah 0.02 A, yang digambarkan dengan batang biru (nilai sensor) yang lebih rendah dibandingkan batang oranye (nilai multimeter). Pada fase T-N, sensor PZEM-004T juga menunjukkan nilai arus sebesar 0.43 A, sementara multimeter menunjukkan nilai arus sebesar 0.45 A. Seperti pada fase S-N, selisih antara kedua pengukuran ini adalah 0.02 A. Batang biru yang lebih rendah dibandingkan batang oranye menunjukkan perbedaan ini.

Sementara grafik batang yang mengilustrasikan persentase galat dari tiga sensor yang digunakan dalam pengujian tegangan dapat dilihat di Gambar 3.4 Sensor ke-1 adalah sensor yang dipasang di fase R-N, sensor ke-2 adalah sensor yang dipasang di fase S-N, dan sensor ke-3 adalah sensor yang dipasang di fase T-N.



GAMBAR 3.3 PERBANDINGAN HASIL PENGUKURAN ARUS OLEH SENSOR TERHADAP MULTIMETER

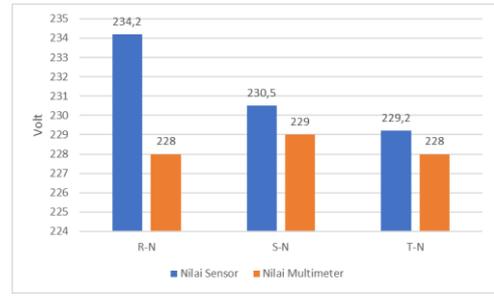


GAMBAR 3.4 PERBANDINGAN PERSENTASE GALAT PENGUJIAN ARUS DARI TIGA SENSOR

Berdasarkan Gambar 3.4 Pada fase R-N, tidak ada batang yang ditampilkan, yang menunjukkan bahwa persentase galat untuk pengukuran arus pada fase ini adalah 0%. Ini berarti bahwa pengukuran arus oleh sensor PZEM-004T dan multimeter pada fase R-N benar-benar akurat dan tidak menunjukkan perbedaan. Pada fase S-N, persentase galat yang tercatat adalah sekitar 4.5%. Hal ini ditunjukkan oleh batang berwarna kuning pada grafik. Persentase galat ini menunjukkan adanya perbedaan antara pengukuran arus yang dilakukan oleh sensor PZEM-004T dan multimeter, dengan sensor menunjukkan nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan multimeter. Pada fase T-N, persentase galat juga tercatat sekitar 4.5%, yang ditunjukkan oleh batang berwarna hijau pada grafik. Seperti pada fase S-N, ini menunjukkan adanya perbedaan antara pengukuran arus oleh sensor PZEM-004T dan multimeter, dengan sensor menunjukkan nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan multimeter.

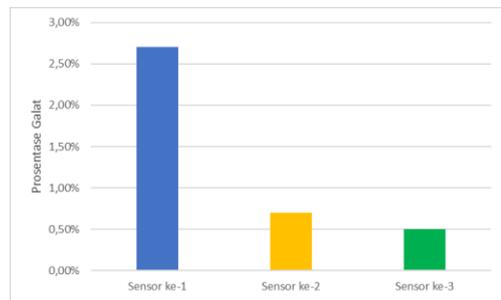
Pada pengujian nilai tegangan diperoleh: sensor 1 (R-N) memiliki selisih error sebesar 6.2V dan persentase error sebesar 6.2%, sensor 2 (S-N) memiliki selisih error sebesar 1.5V dan persentase error sebesar 1.5%, sensor 3 (T-N) memiliki selisih error sebesar 1.2V dan persentase error sebesar 1.2%. Dari pengujian nilai tegangan didapatkan grafik perbandingan hasil pengukuran tegangan antara sensor PZEM-004T dan multimeter untuk tiga fasa: R-N, S-N, dan T-N seperti pada Gambar 3.5.

Gambar 3.5 menampilkan perbedaan antara pengukuran tegangan oleh sensor PZEM-004T dan multimeter untuk tiga fasa. Secara keseluruhan, sensor PZEM-004T cenderung menunjukkan nilai tegangan yang sedikit lebih tinggi daripada multimeter. Perbedaan terbesar terjadi pada fase R-N, sedangkan pada fase S-N dan T-N, perbedaan lebih kecil. Grafik ini membantu memvisualisasikan akurasi sensor PZEM-004T dalam pengukuran tegangan dan mengidentifikasi area yang memerlukan kalibrasi lebih lanjut.



GAMBAR 3.5 PERBANDINGAN HASIL PENGUKURAN TEGANGAN OLEH SENSOR TERHADAP MULTIMETER

Sementara grafik batang yang mengilustrasikan persentase galat dari tiga sensor yang digunakan dalam pengujian tegangan dapat dilihat di Gambar 3.6. Sensor ke-1 adalah sensor yang dipasang di fase R-N, sensor ke-2 adalah sensor yang dipasang di fase S-N, dan sensor ke-3 adalah sensor yang dipasang di fase T-N.



GAMBAR 3.6 PERBANDINGAN PERSENTASE GALAT PENGUJIAN TEGANGAN DARI TIGA SENSOR

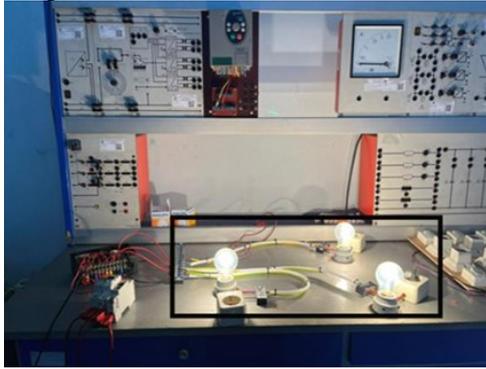
Berdasarkan Gambar 3.6 dapat diketahui bahwa pada sensor ke-1, persentase galat yang tercatat adalah sekitar 2,5%. Ini menunjukkan bahwa sensor ke-1 memiliki perbedaan terbesar antara pembacaan sensor dan nilai referensi yang diukur oleh multimeter. Batang biru yang tinggi pada grafik ini menekankan besarnya persentase galat untuk sensor ini. Sensor ke-2 menunjukkan persentase galat yang lebih rendah dibandingkan sensor ke-1, yaitu sekitar 0,7%. Batang kuning pada grafik ini menunjukkan bahwa sensor ke-2 memiliki akurasi yang lebih baik daripada sensor ke-1, namun masih terdapat sedikit galat. Sensor ke-3 memiliki persentase galat yang paling rendah di antara ketiga sensor, yaitu sekitar 0,5%. Batang hijau yang pendek menunjukkan bahwa sensor ini memiliki akurasi tertinggi dibandingkan dengan dua sensor lainnya, dengan persentase galat yang sangat kecil.

3.5 Implementasi Sistem Monitoring Tegangan dan Arus

Pada pengujian ini, kotak modul dan komponen maket telah dihubungkan. Perangkat disimulasikan menggunakan program Arduino untuk menguji koneksi perangkat. Rangkaian implementasi dapat dilihat di Gambar 3.7.

Gambar 3.7 menunjukkan pengaturan eksperimen di laboratorium untuk pengujian sistem monitoring arus dan tegangan. Pengaturan ini terdiri dari beberapa komponen utama, termasuk lampu pijar sebagai beban, kabel penghubung, dan modul monitoring. Setiap lampu pijar mewakili salah satu fase (R, S, dan T) dari sistem tiga fasa yang diuji. Alat-alat ini memungkinkan pengujian yang akurat dan memberikan data yang diperlukan untuk memvalidasi kinerja sensor PZEM-004T. Sistem ini mewakili simulasi penggunaan alat monitoring arus dan

tegangan di gardu distribusi



GAMBAR 3.7 MAKET SIMULASI

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penelitian berhasil merancang dan mengembangkan modul monitoring arus dan tegangan berbasis mikrokontroler Arduino Nano dengan sensor PZEM-004T. Modul ini memungkinkan pemantauan parameter listrik pada PHB-TR 400/230V secara waktu nyata dan jarak jauh (telemetri), memberikan solusi yang efektif dan efisien untuk pemeliharaan gardu distribusi di lokasi terpencil yang sulit dijangkau. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor PZEM-004T memiliki tingkat akurasi yang cukup baik dalam mengukur arus dan tegangan. Pengukuran arus oleh sensor menunjukkan persentase error rata-rata sebesar 2.9%, dengan nilai galat sebesar 0% untuk fase R-N dan sebesar 4.4% untuk fase S-N dan T-N. Pengukuran tegangan oleh sensor menunjukkan persentase error rata-rata sebesar 1.3%, dengan nilai galat terbesar sebesar 2.7% pada fase R-N. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor PZEM-004T layak digunakan untuk pemantauan arus dan tegangan dengan tingkat akurasi yang memadai. Penggunaan mikrokontroler Arduino Nano dan sensor PZEM-004T yang diprogram menggunakan Arduino IDE serta tampilan hasil pengukuran melalui LCD I2C terbukti efektif. Namun, untuk meningkatkan kinerja sistem, perlu diperhatikan stabilitas tegangan suplai dari catu daya yang digunakan. Tegangan suplai yang kurang stabil (<5 VDC) dapat mempengaruhi akurasi pengukuran. Oleh karena itu, pemilihan catu daya yang lebih stabil dan andal sangat dianjurkan.

Referensi

- [1] I. Made *et al.*, "PENEMPATAN DAN PEMILIHAN KAPASITAS TRANSFORMATOR DISTRIBUSI SECARA OPTIMAL PADA PENYULANG PERUMNAS," *J. Resist. (Rekayasa Sist. Komputer)*, vol. 4, no. 1, pp. 33–44, Apr. 2021, doi: 10.31598/JURNALRESISTOR.V4I1.722.
- [2] A. A. Pradana, P. Yuliantoro, and S. Indriyanto, "PERANCANGAN SISTEM MONITORING DAYA LISTRIK 1 FASA PADA RUMAH TANGGA BERBASIS INTERNET OF THINGS," *J. SINTA Sist. Inf. dan Teknol. Komputasi*, vol. 1, no. 1, pp. 1–9, Jan. 2024, doi: 10.61124/SINTA.V1I1.13.
- [3] W. Istiana, R. P. Cahyono, and T. Komputer, "Perancangan Sistem Monitoring dan Kontrol Daya Berbasis IoT," *Portaldata.org*, vol. 2, no. 6, pp. 2022–2023, 2022.
- [4] A. Y. B. Dawe, P. D. P. Adi, and W. Dirgantara, "SISTEM MONITORING UNTUK PENGGUNAAN DAYA LISTRIK PADA SMARTHOME WITH METHOD FUZZY LOGIC BERBASIS IOT," *SinarFe7*, vol. 4, no. 1, pp. 554–564, Dec. 2021.
- [5] A. Goeritno and F. Hendryan, "Monitoring dan Kendali Tegangan Jaringan Listrik Fase-tiga melalui Smartphone," *J. RESTI (Rekayasa Sist. dan Teknol. Informasi)*, vol. 6, no. 1, pp. 32–40, Feb. 2022, doi: 10.29207/RESTI.V6I1.3662.
- [6] Lulu Sabillah and R. Hidayat, "Sistem Monitoring Pemakaian Energi Listrik Pada Kamar Kost Menggunakan Aplikasi Blynk Berbasis Internet of Things," *J. Komput. dan Elektro Sains*, vol. 1, no. 2, pp. 25–29, 2023, doi: 10.58291/komets.v1i2.104.
- [7] N. Onasie and S. Sulaiman, "Perancangan Sendok Makan Parkir dengan Metode PID Berbasis Arduino. Elektroteknika," *Techné J. Ilm.*, vol. 22, no. 1, pp. 33–48, 2023.
- [8] F. P. E. Putra, A. Baidawi, A. A. Mubarak, and Frediyanto, "Merancang Jaringan Sensor Nirkabel dan IoT untuk Kota Pintar Pamekasan," *J. Inf. dan Teknol.*, pp. 138–145, Jul. 2023, doi: 10.37034/JIDT.V5I2.331.
- [9] Y. Hardiyani, S. Nisworo, and H. T. Setiawan, "Perencanaan Sistem Deteksi Formalin pada Makanan," *ULIL ALBAB J. Ilm. Multidisiplin*, vol. 2, no. 2, pp. 569–578, Jan. 2023, doi: 10.56799/JIM.V2I2.1135.
- [10] J. Jamal and T. Thamrin, "Sistem Kontrol Kandang Ayam Closed House Berbasis Internet Of Things," *Voteteknika (Vocational Tek. Elektron. dan Inform.)*, vol. 9, no. 3, pp. 79–90, Sep. 2021, doi: 10.24036/VOTETEKNIKA.V9I3.113430.
- [11] M. Arif Budiman, A. Zatulo Harefa, and D. Virgian Shaka, "Perancangan Sistem Pelacak Gps Dan Pengendali Kendaraan Jarak Jauh Berbasis Arduino," *Proceeding SENDIU 2020*, pp. 356–363, 2020.
- [12] A. Mahendra, R. Dan, and Y. Calvinus, "STUDI PENGUKURAN JARAK ANTARA TIGA XBEE DENGAN ARDUINO SEBAGAI DATA COUNTER," *J. Tek. Ind.*, vol. 8, no. 1, Oct. 2021, doi: 10.35968/JTIN.V8I1.804.
- [13] J. Asmi and O. Candra, "Prototype Solar Tracker Dua Sumbu Berbasis Microcontroller Arduino Nano dengan Sensor LDR," *JTEV (Jurnal Tek. Elektro dan Vokasional)*, vol. 6, no. 2, pp. 54–63, May 2020, doi: 10.24036/JTEV.V6I2.108504.
- [14] D. Okky Anggriawan, A. Rifki Fauzi, E. Wahjono, T. Elektro Industri, P. Elektronika Negeri Surabaya, and J. Raya, "RANCANG BANGUN KWH METER DIGITAL 1 PHASE PROGRAMMABLE BERBASIS IOT," *Pros. Semin. Nas. Terap. Ris. Inov.*, vol. 8, no. 1, pp. 122–129, 2022, Accessed: Jun. 14, 2024.
- [15] C. Pradhana and M. Sulaiman, "Simulasi Komunikasi Serial Dengan Protokol I2C Menggunakan Arduino IDE dan Proteus 8," *SinarFe7*, vol. 3, no. 1, 2020.
- [16] R. Regivan and A. Almasri, "ANALISIS PERBANDINGAN IC REGULATOR LINIER DENGAN IC REGULATOR SWITCHING DALAM RANGKAIAN REGULATOR TEGANGAN PADA POWER SUPPLY DC," *Ranah Res. J. Multidiscip. Res. Dev.*, vol. 1, no. 4, pp. 1090–1099, Aug. 2019, Accessed: Jun. 14, 2024.