

Implementation of Outseal PLC for Monitoring kWh Meters Digital in the Commercial Sector Using Android-Based HMI

Ardiansyah^{1*}, Sukardi¹, Hambali¹, Riki Mukhaiyar¹

¹ Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang, Kota Padang, Indonesia

*Corresponding Author, email : ardiansyah034@gmail.com

Received 2024-05-30; Revised 2024-06-07; Accepted 2024-08-27

Abstract

The increasing demand for electricity in the commercial sector necessitated the development of an efficient monitoring system to manage energy consumption. This study aimed to design and implement a monitoring system for kWh meters using an Outseal PLC integrated with an Android-based HMI. The system utilized the Outseal PLC as the primary controller, interfacing wirelessly with a Modbus HMI through a DT-06 Wi-Fi Module. A PZEM-004T sensor was used to measure voltage, current, power, and energy consumption. The PLC communicated with the sensor via Modbus protocol using a Max485 module. The data collected was displayed on the HMI, allowing real-time monitoring of power usage. Experimental methods involving the design and testing of both hardware and software components were employed. Results demonstrated that the system accurately measured electrical parameters with minimal error. The voltage and current readings showed average errors of 0,08% and 0,23% respectively for an 85 Ω load, 0,92% and 2,81% for a 14 Ω load. Power measurements had an average error of 0,15% for an 85 Ω load and 1,68% for a 14 Ω load. The kWh test has a measurement accuracy of 99,07% with an average error of 0,93%. The Wi-Fi connection range was tested and found to be effective up to 14 meters without obstacles. This study concluded that the Outseal PLC-based monitoring system is a reliable and cost effective solution for managing energy consumption in the commercial sector.

Keywords: Outseal PLC, kWh Meter, HMI Modbus, Monitoring, Komersial

1. Introduction

Perkembangan teknologi di berbagai keilmuan saat ini melaju sangat pesat. Para peneliti diberbagai keilmuan sangat berupaya agar pekerjaan manusia dapat dipermudah dengan mengembangkan teknologi-teknologi terbaru saat ini [1]. Perkembangan teknologi dengan menggunakan media Wi-Fi sebagai alat komunikasi dapat memberikan keamanan, efisiensi, dan kemudahan sesuai dengan instruksi pengguna [2]. Berbagai sistem telah diterapkan seperti HMI (Human Machine Interface). HMI dapat diterapkan sesuai dengan kebutuhan dari alat yang akan digunakan seperti untuk mengidentifikasi kondisi alat maupun memonitoring sistem yang sedang berjalan dengan mengikuti prinsip grafis yang benar [3].

Kebutuhan pada energi listrik sangat penting bagi kehidupan manusia saat ini, terutama pada sektor komersial dimana penggunaan energi listrik cenderung tinggi [4]. Menurut Statistik Listrik tahun 2018 hingga tahun 2022 dari Badan Pusat Statistik, pendistribusian listrik ke pelanggan kelompok komersial tingkat Provinsi cenderung meningkat setiap tahunnya, hanya saja pada tahun 2020 sedikit menurun [5]. Energi listrik banyak digunakan pada peralatan elektronika seperti peralatan di rumah tangga, perkantoran, komersial, industri hingga transportasi [6]. Monitoring pemakaian energi listrik sangat baik dilakukan terutama pada pemakaian di sektor komersial, sehingga pengguna mengetahui berapa pemakaian energi listrik kapanpun tanpa menunggu total

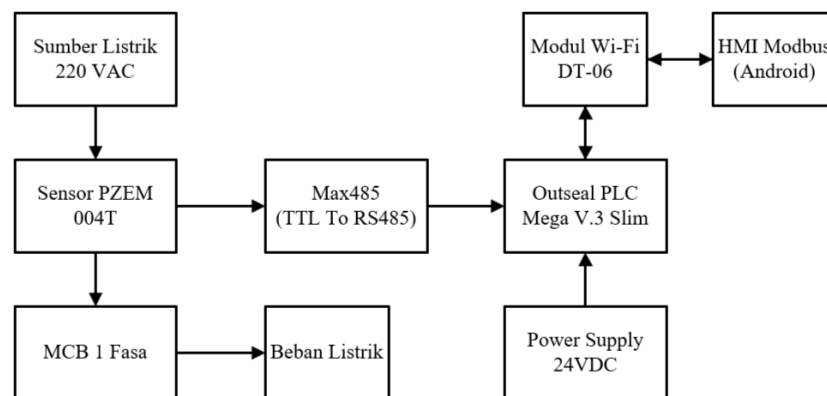
pemakaian dalam sebulan [7]. Efisiensi penggunaan energi listrik di sektor komersial sangatlah penting karena mempunyai manfaat yang besar [8]. Penelitian mengenai monitoring pemakaian energi listrik telah dilakukan oleh banyak peneliti dengan menggunakan Arduino[9] maupun ESP32[10]. Namun, penelitian tersebut masih mengimplementasikan alatnya di sektor rumah tangga yang dimana penggunaannya masih di skala kecil. Selain itu, dengan menggunakan mikrokontroler seperti Arduino maupun ESP32 untuk basis pemrosesnya, terdapat batasan-batasan seperti pemrograman coding yang jauh lebih rumit dibandingkan ladder diagram yang umumnya digunakan PLC sebagai bahasa pemrogramannya. Sektor industri maupun sektor komersial, pengguna banyak menggunakan Programmable Logic Controller (PLC) sebagai controller dan Power Meter untuk monitoring penggunaan daya listrik. Pada konteks peneliti ataupun akademisi yang ingin menerapkan pada prototype, PLC seperti Omron, Siemens, Schneider, Mitsubishi, dan sebagainya bukan pilihan yang tepat dikarenakan harganya relatif mahal. Dengan demikian, penulis ingin merancang monitoring pemakaian energi listrik dengan menggunakan PLC. PLC yang akan digunakan yaitu Outseal PLC berbasis Arduino yang dikembangkan oleh karya anak bangsa dengan harga yang relatif murah dan menggunakan ladder diagram sebagai bahasa pemrograman yang mudah dipahami [11]. Data hasil pengukuran dari sensor PZEM-004T akan ditampilkan pada aplikasi HMI Modbus yang terhubung secara nirkabel dengan modul Wi-Fi DT-06 [2]. Komunikasi antara Outseal PLC dengan sensor yaitu dengan komunikasi Modbus melalui modul Max485 yang mana Outseal PLC bertindak sebagai Master dan sensor sebagai slave [12].

2. Material and methods

Metode penelitian yaitu metode yang digunakan dalam merancang dan membuat sistem pada alat [13]. Metode penelitian pada penelitian ini yaitu metode eksperimen yang terdiri dari perancangan hardware, elektrikal, dan software [14]. Tujuan dari perancangan ini yaitu untuk menentukan komponen dari alat yang akan dirancang dan membuat sistem yang terorganisir sehingga hasil akhir yang didapatkan sesuai dengan yang diinginkan. Penelitian ini menerapkan metode eksperimental untuk membandingkan nilai yang terbaca pada sensor dan nilai yang terbaca pada alat ukur serta menguji jarak jangkauan alat untuk terkoneksi melalui HMI.

2.1 Blok Diagram

Blok diagram merupakan sebuah diagram untuk menjelaskan proses kerja pada ilmu rekayasa atau engineering. Blok diagram menggambarkan sebab-akibat antara input dengan output sistem yang dirancang [15]. Seperti halnya terlihat pada gambar 1 dapat dilihat bentuk blok diagram yang telah dirancang.



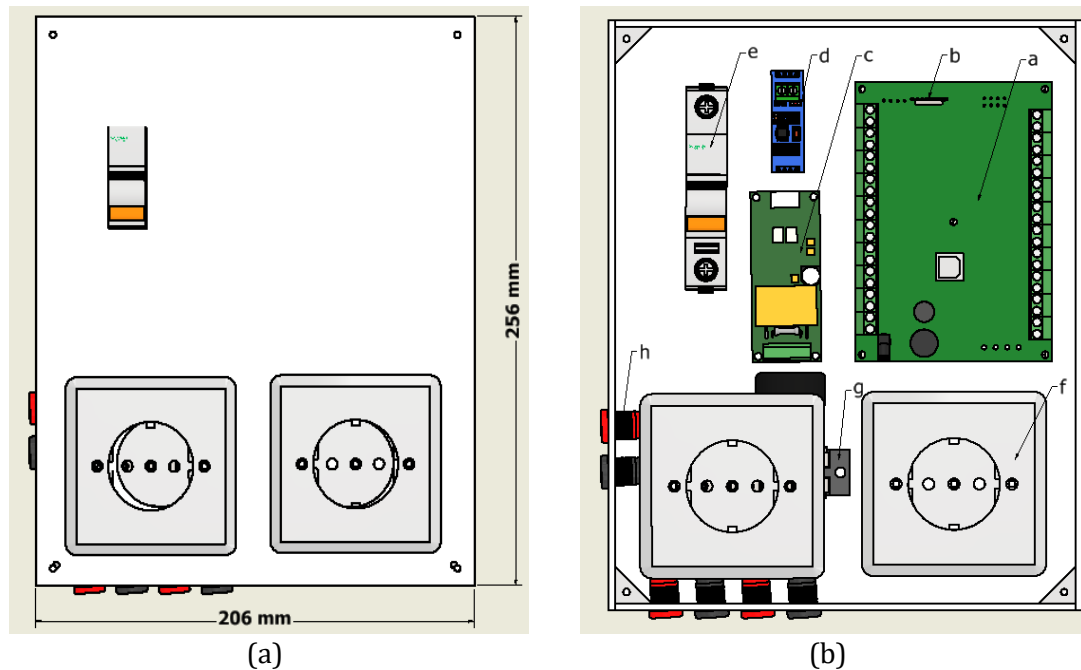
Gambar 1: Blok Diagram Alat

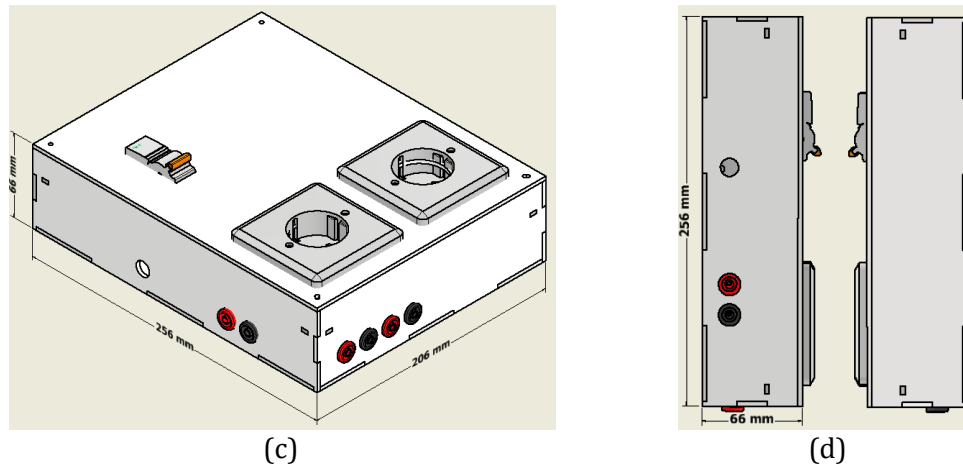
Berdasarkan gambar 1 terdapat beberapa blok yang memiliki berbagai fungsi, berikut penjelasan dari tiap blok diagram:

- Sumber listrik 220 VAC berfungsi sebagai tegangan masukan untuk sensor PZEM-004T.
- MCB 1 fasa berfungsi sebagai pengaman listrik jika terjadi beban lebih.
- Power supply 24VDC berfungsi mengubah tegangan 220VAC menjadi tegangan 24VDC sebagai tegangan masukan Outseal PLC.
- Sensor PZEM-004T merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur nilai arus, tegangan, daya dan energi listrik yang terpakai dari suatu perangkat listrik.
- Max485 (TTL To RS-485) berfungsi sebagai komunikasi serial TTL To RS485 antara sensor PZEM-004T dengan Outseal PLC agar nilai yang terukur dari sensor dapat terbaca oleh Outseal PLC.
- Outseal PLC Mega V.3 Slim memiliki fungsi sebagai kontroler utama.
- Modul Wi-Fi DT-06 berfungsi sebagai penghubung secara nirkabel antara Outseal PLC dengan HMI Modbus.
- HMI Modbus memiliki fungsi sebagai interface yang akan memonitoring hasil pengukuran dari sensor melalui android.
- Beban listrik yaitu perangkat yang akan dimonitoring untuk mengetahui nilai arus, tegangan, daya dan energi yang terpakai.

2.2 Perancangan Alat

Perancangan mekanikal bertujuan untuk menggambarkan bentuk fisik suatu alat dan menentukan tata letak komponen yang akan digunakan pada alat tersebut. Desain alat ini memiliki dimensi dengan ukuran 206 mm x 256 mm x 66 mm yang akan dirancang menggunakan akrilik dengan ketebalan 3 mm. Bentuk keseluruhan alat dapat dilihat pada gambar 2 berikut.





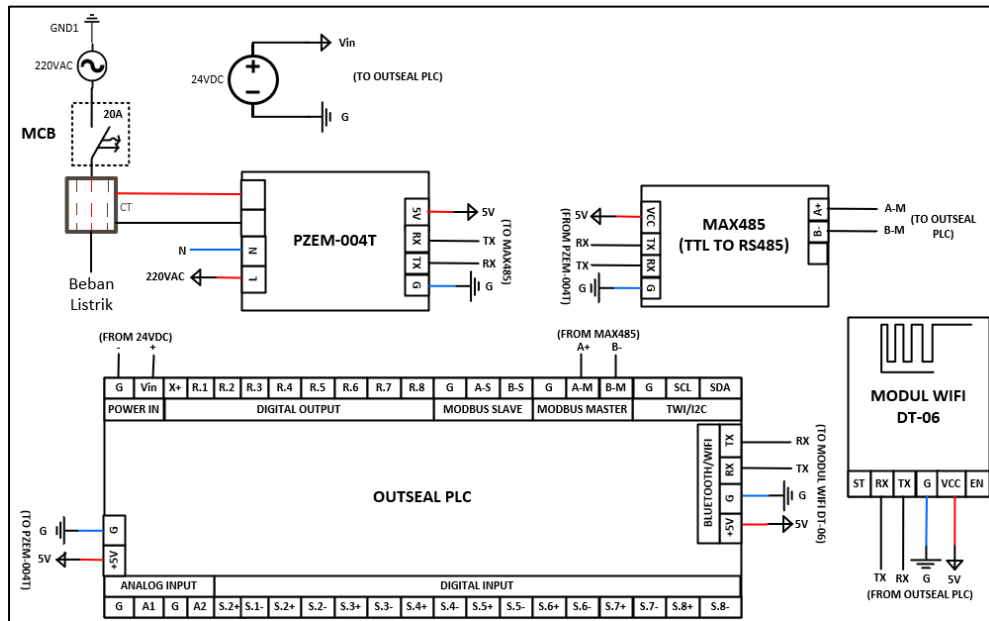
Gambar 2: Tampak Depan (a), Tata Letak Komponen (b), Tampilan 3 Dimensi (c) dan Tampak Samping (d)

Keterangan mengenai penjelasan gambar 2 (b) dapat dilihat pada tabel 1 berikut.

Tabel 1: Keterangan Desain Alat

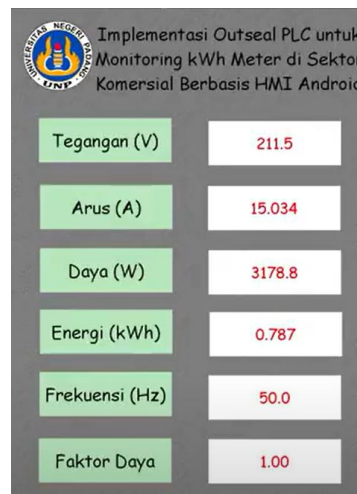
Kode	Keterangan	Kuantitas	Fungsi
a	Outseal PLC	1	Kontroler utama alat
b	Modul Wi-Fi DT-06	1	Konverter sinyal TTL pada Outseal PLC menjadi sinyal Wi-Fi
c	Sensor PZEM-004T	1	Sensor pengukur tegangan, arus, daya listrik, energi listrik, frekuensi dan faktor daya.
d	Modul Max485	1	Komunikasi serial (TTL To RS-485) sensor PZEM-004T dengan Outseal PLC.
e	MCB 1 Fasa	1	Pembatas arus dan sekaligus pengaman rangkaian listrik jika terjadi beban lebih.
f	Stop Kontak	2	Menghubungkan perangkat dengan beban listrik.
g	Terminal Blok	1	Tempat penyambungan kabel.
h	Terminal Banana Plug	6	2 buah terminal yang terletak di samping untuk dihubungkan ke sumber listrik AC, dan 4 buah terminal yang terletak di bawah untuk ke beban listrik.

Perancangan elektrikal bertujuan untuk mendesain jalur kelistrikan dan mengetahui jumlah kabel yang diperlukan dalam perancangan alat. Perancangan ini akan menjadi panduan dalam pemasangan elektrikal untuk menghubungkan bagian output maupun input dari komponen. Rangkaian elektrikal ini di desain menggunakan aplikasi Microsoft Visio. Desain perancangan elektrikal keseluruhan dapat dilihat pada gambar 3 berikut.



Gambar 3: Desain Rangkaian Elektrikal Keseluruhan

Perancangan software atau perangkat lunak pada proses pembuatan bagian soft dari alata tau bagian yang dapat dioperasikan dari dalam komputer atau perangkat elektronik. Perancangan software ini meliputi pemrograman melalui aplikasi Outseal Studio dan HMI Modbus.



Gambar 4: Desain HMI

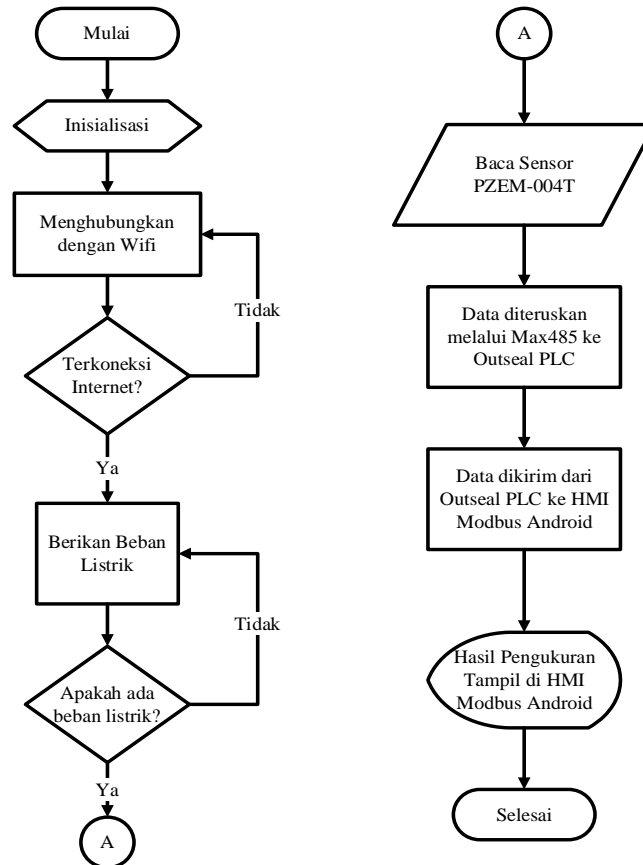
Pada saat menghubungkan Outseal PLC ke HMI Modbus harus mengetahui kode-kode Modbus pada PLC yang sesuai dengan spesifikasi PLC tersebut. Kode-kode Modbus yang digunakan pada alat ini yaitu:

Tabel 2: Kode Address Slave Outseal PLC ke HMI Modbus

No	Outseal PLC	HMI Modbus	Keterangan
1	I.1	3x0	Membaca nilai tegangan
2	I.2	3x1	Membaca nilai arus
3	I.3	3x3	Membaca nilai daya aktif
4	I.4	3x5	Membaca nilai energi aktif
5	I.5	3x7	Membaca niali frekuensi
6	I.6	3x8	Membaca nilai faktor daya

2.3 Prinsip Kerja

Flowchart atau diagram alir adalah suatu diagram algoritma yang menggambarkan tahapan kerja pada suatu alat dalam bentuk simbol yang dihubungkan dengan anak panah. Prinsip kerja dapat dilihat pada gambar flowchart berikut.



Gambar 5: Flowchart Sistem

Alat ini menggunakan Outseal PLC Mega V.3 Slim sebagai kontroler dengan tegangan sumber 24 VDC yang terhubung pada software Human Machine Interface (HMI) Modbus Android melalui Modul Wi-Fi DT-06 secara nirkabel. HMI berfungsi sebagai media interface yang akan memonitoring hasil pengukuran arus, tegangan, daya dan energi listrik dari sensor PZEM-004T. Hasil yang terukur pada sensor PZEM-004T akan dikirim melalui Modul Max485 kepada Outseal PLC agar dapat terbaca. Data yang terbaca oleh Outseal PLC akan diteruskan kepada HMI Modbus agar dapat dimonitoring melalui Android.

3. Results and discussion

Hasil rancangan yang telah dibuat pada bagian sebelumnya, akan dilakukan pengujian dan analisa untuk memastikan peralatan yang digunakan berfungsi dengan baik serta membuktikan teori yang telah dipelajari sebelumnya. Pengujian dilakukan pada hardware dan software dengan terintegrasi secara keseluruhan. Hasil dari pengujian ini akan digunakan sebagai tolak ukur keberhasilan dari kinerja sistem alat serta menganalisa kinerja alat berdasarkan dari hasil pengujian untuk mendapatkan kesimpulan dari penelitian ini. Nilai error akan dihitung melalui persamaan 1 berikut:

$$\%error = \frac{\text{nilai pembacaan pembacaan sensor} - \text{nilai pembacaan alat ukur}}{\text{nilai pembacaan alat ukur}} \times 100\% \quad (1)$$

Pengujian Tegangan

Pengujian tegangan dilakukan sebanyak 2 kali pengujian dengan menggunakan 2 beban yang berbeda, yaitu berupa Load Resistor MV1100 bernilai 85 Ω dan 14 Ω . Tegangan yang diinputkan pada pengujian ini dimulai dari 80 Volt hingga 220 Volt dengan tujuan untuk membuktikan sensor dapat berfungsi mulai tegangan minimum 80 Volt dan mengetahui nilai error atau kesalahan antara pembacaan pada sensor dan voltmeter.

Tabel 3: Hasil pengujian Tegangan, Beban 85 Ω

No	Tegangan Input (V)	Sensor PZEM (V)	Voltmeter (V)	Selisih	Error (%)
1	80	80	80	0	0
2	100	100	100	0	0
3	120	120,2	120	0,2	0,16
4	140	140,2	140	0,2	0,14
5	160	160,2	160	0,2	0,12
6	180	180	180	0	0
7	200	200,3	200	0,3	0,15
8	220	220,4	220	0,4	0,18
Rata-Rata Error Tegangan					0,08

Tabel 4: Hasil Pengujian Tegangan, Beban 14 Ω

No	Tegangan Input (V)	Sensor PZEM (V)	Voltmeter (V)	Selisih	Error (%)
1	80	79,1	80	0,9	1,12
2	100	99,6	100,6	1	0,99
3	120	119,3	120,5	1,2	0,99
4	140	138,6	140,2	1,6	1,14
5	160	158,7	160,5	1,8	1,12
6	180	178,6	180,4	1,8	0,99
7	200	198,5	200,5	2	0,99
8	220	218,9	220,9	2	0,90
Rata-Rata Error Tegangan					0,92

Dari hasil pengujian pada tabel 3 dan tabel 4, dapat dilihat bahwa pembacaan tegangan dengan beban 85 Ω memiliki rata-rata tingkat kesalahan sebesar 0,08% dan memiliki akurasi 99,92 %. Pembacaan tegangan dengan beban 14 Ω memiliki rata-rata akurasi 99,08 % dan 0,92% tingkat kesalahan.

Pengujian Arus

Tabel 5: Hasil Pengujian Arus, Beban 85 Ω

No	Tegangan Input (V)	Sensor PZEM (A)	Amperemeter (A)	Selisih	Error (%)
1	80	0,942	0,938	0,004	0,42
2	100	1,169	1,166	0,003	0,25
3	120	1,396	1,393	0,003	0,21
4	140	1,625	1,622	0,003	0,18
5	160	1,862	1,859	0,003	0,16
6	180	2,089	2,085	0,004	0,19
7	200	2,319	2,313	0,006	0,25
8	220	2,558	2,548	0,01	0,39
Rata-rata Error Arus					0,23

Tabel 6: Hasil Pengujian Arus, Beban 14 Ω

No	Tegangan Input (V)	Sensor PZEM (A)	Amperemeter (A)	Selisih	Error (%)
1	80	5,478	5,66	0,182	3,21
2	100	6,932	7,17	0,238	3,31
3	120	8,347	8,62	0,273	3,16
4	140	9,742	10,07	0,328	3,25
5	160	11,172	11,54	0,368	3,18
6	180	12,682	13,09	0,408	3,11
7	200	14,105	14,55	0,445	3,05
8	220	15,558	16,04	0,482	3,00
Rata-rata Error Arus					2,81

Pengujian arus juga dilakukan dengan tegangan input 80-220V dengan beban berupa Load Resistor MV1100 bernilai 85 Ω dan 14 Ω . Pengujian ini akan membuktikan bahwa penelitian ini dapat mengukur arus dengan nilai yang besar hingga 15 Ampere. Dari hasil pengujian pada tabel 5 dan tabel 6, dapat dilihat bahwa pembacaan arus listrik dengan beban 85 Ω memiliki rata-rata tingkat kesalahan sebesar 0,23% dan memiliki akurasi 99,77 %. Pembacaan arus listrik dengan beban 14 Ω memiliki rata-rata akurasi 97,19 % dan 2,81% tingkat kesalahan.

Pengujian Daya Listrik

Pengujian daya listrik juga dilakukan dengan tegangan input 80-220V dengan beban berupa Load Resistor MV1100 bernilai 85 Ω dan 14 Ω . Pengujian ini akan membuktikan bahwa penelitian ini dapat mengukur daya listrik berkapasitas besar yang dapat digunakan di sektor komersial.

Tabel 7: Hasil Pengujian Daya Listrik, Beban 85 Ω

No	Tegangan Input (V)	Sensor PZEM (W)	Wattmeter (W)	Selisih	Error (%)
1	80	75,3	75	0,3	0,4
2	100	116,9	117	-0,1	-0,08
3	120	167,6	167	0,6	0,35
4	140	227,5	227	0,5	0,22
5	160	299	299	0	0
6	180	376,8	376	0,8	0,21
7	200	463,8	463	0,8	0,17
8	220	563,7	563	0,7	0,12
Rata-rata Error Daya Listrik					0,15

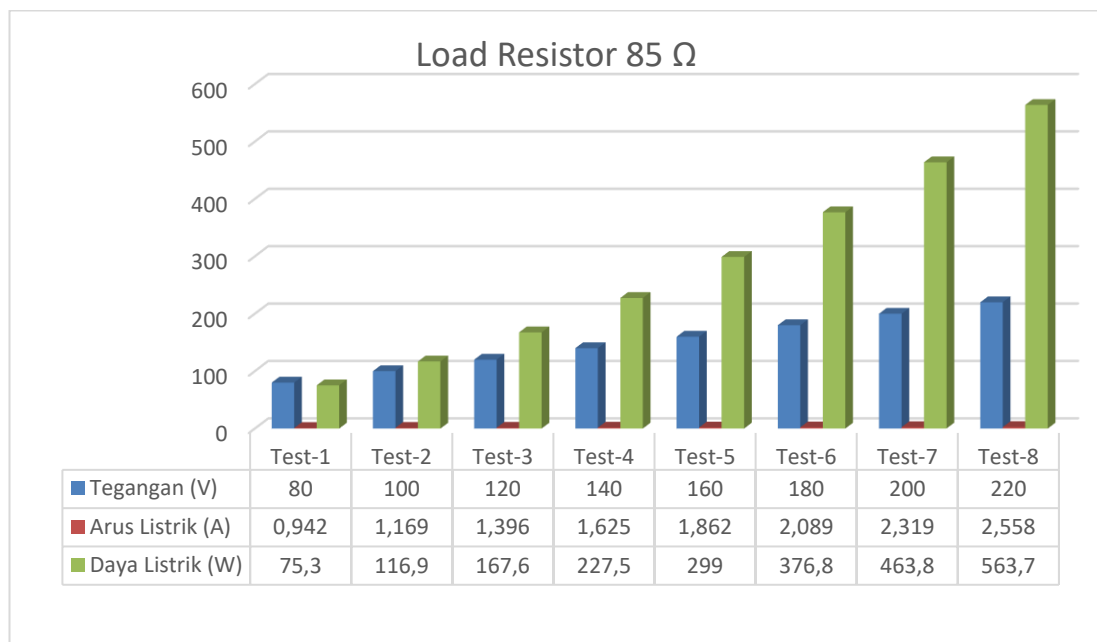
Tabel 8: Hasil Pengujian Daya Listrik, Beban 14 Ω

No	Tegangan Input (V)	Sensor PZEM (W)	Wattmeter (P=VxI)	Selisih	Error (%)
1	80	433,5	438,24	4,74	1,08
2	100	690,2	693,2	3	0,43
3	120	995,8	1001,64	5,84	0,58
4	140	1350,8	1363,88	13,08	0,95
5	160	1773	1787,52	14,52	0,81
6	180	2263,5	2282,76	19,26	0,84
7	200	2799,6	2821	21,4	0,75
8	220	3148,6	3422,76	274,16	8,00
Rata-rata Error Daya Listrik					1,68

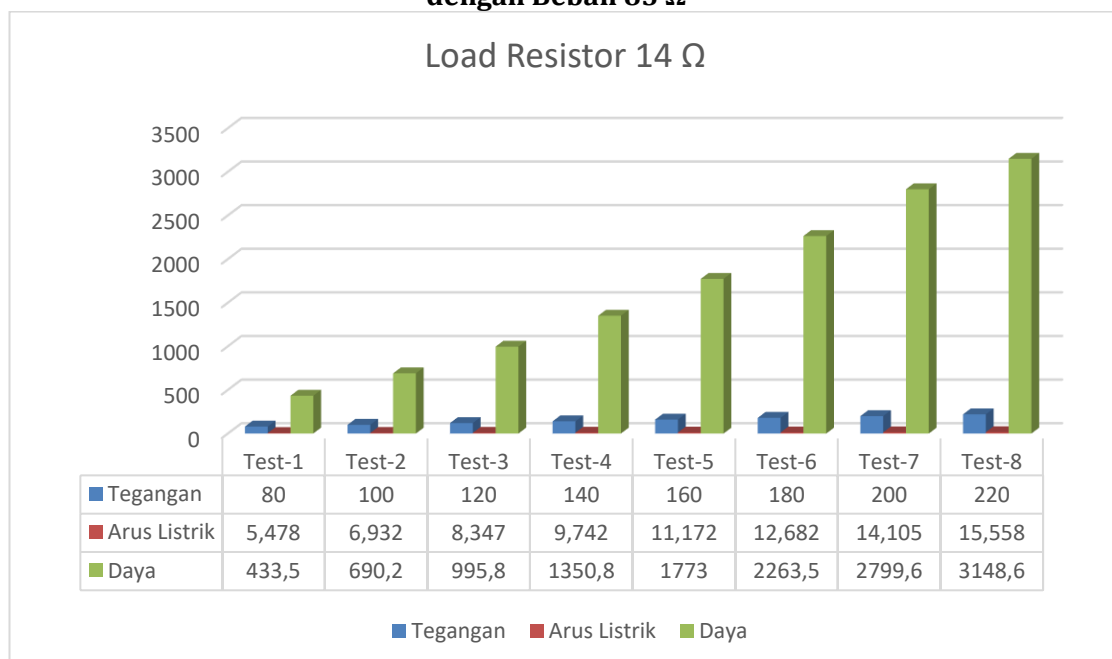
Pada pengujian dengan beban 85 Ω peneliti menggunakan alat ukur wattmeter analog sebagai data pembanding sensor, sedangkan pengujian dengan beban 14 Ω peneliti menghitung nilai daya aktif dengan menggunakan persamaan dikarenakan wattmeter yang tersedia di laboratorium hanya berkapasitas 5A 1200 watt. Persamaan menghitung daya listrik yaitu sebagai berikut:

$$P = V \times I \quad (2)$$

Dari hasil pengujian pada tabel 7 dan tabel 8, dapat dilihat bahwa pembacaan daya listrik dengan beban 85 Ω memiliki rata-rata tingkat kesalahan sebesar 0,15% dan memiliki akurasi 99,85 %. Pembacaan arus listrik dengan beban 14 Ω memiliki rata-rata akurasi 98,32 % dan 1,68% tingkat kesalahan.



Gambar 6: Grafik Keseluruhan Tegangan, Arus dan Daya Listrik dengan Beban 85 Ω



Gambar 7: Grafik Keseluruhan Tegangan, Arus dan Daya Listrik dengan Beban 14 Ω

Pengujian Monitoring kWh Meter Digital

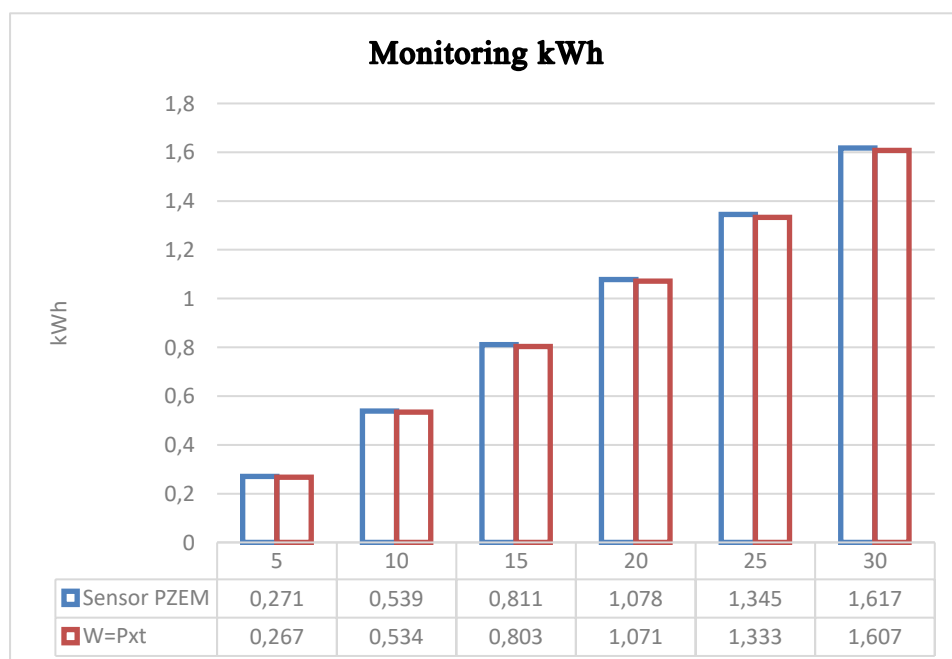
Monitoring kWh meter ini dilakukan dengan beban daya ± 3200 watt selama 30 menit. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai keakuratan sensor dalam mengukur akumulasi energi listrik yang terpakai dengan satuan kilo Watt hours (kWh). Pembanding nilai sensor akan menggunakan persamaan dalam mengukur keakuratannya. Persamaan menghitung energi listrik yaitu:

$$W = \frac{P \times t}{1000} \quad (3)$$

Tabel 9: Hasil Monitoring kWh Meter Digital

No.	Waktu (menit)	Kondisi Awal	Sensor PZEM (kWh)	Selisih	Perhitungan (kWh)	Error (%)
1	0	0,098	0,098	0	0	0
2	5	0,098	0,369	0,271	0,267	1,49
3	10	0,369	0,637	0,539	0,534	0,93
4	15	0,637	0,909	0,811	0,803	0,99
5	20	0,909	1,176	1,078	1,071	0,65
6	25	1,176	1,443	1,345	1,333	0,90
7	30	1,443	1,715	1,617	1,607	0,62
Rata-rata Error kWh						0,93

Dari hasil pengujian tabel 9 dapat dilihat bahwa pembacaan akumulasi energi listrik yang terpakai memiliki rata-rata tingkat kesalahan sebesar 0,93% dan memiliki akurasi 99,07%. Dengan demikian, sistem ini dapat digunakan untuk monitoring kWh meter secara akurat. Grafik hasil monitoring kWh meter selama 30 menit dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 8: Grafik Pengujian kWh

Pengujian Jarak Jangkauan Koneksi Wi-Fi

Pengujian jarak jangkauan Wi-Fi akan dilakukan melalui 2 tahapan, yaitu tanpa adanya penghalang dan dengan adanya penghalang.

Tabel 10: Hasil Pengujian Jarak Jangkauan Koneksi Wi-Fi Tanpa Penghalang

Pengujian Ke-	Jarak (meter)	Status
1	1	Tersambung
2	2	Tersambung
3	3	Tersambung
4	4	Tersambung
5	5	Tersambung
6	6	Tersambung
7	7	Tersambung
8	8	Tersambung
9	9	Tersambung
10	10	Tersambung
11	11	Tersambung
12	12	Tersambung
13	13	Tersambung
14	14	Tersambung
15	15	Tidak Tersambung

Tabel 11: Hasil Pengujian Jarak Jangkauan Koneksi Wi-Fi Dengan Penghalang (Area tertutup/Tembok)

Pengujian Ke-	Jarak (meter)	Status
1	1	Tersambung
2	2	Tersambung
3	3	Tersambung
4	4	Tersambung
5	5	Tersambung
6	6	Tersambung
7	7	Tersambung
8	8	Tersambung
9	9	Tersambung
10	10	Tersambung
11	11	Tersambung
12	12	Tidak Tersambung

4. Conclusion

Berdasarkan hasil data yang telah didapatkan saat pengujian, maka dapat disimpulkan bahwa implementasi outseal PLC untuk monitoring kWh meter di sektor komersial dapat berfungsi dengan baik. Hasil pengujian tegangan dengan beban 85 Ω didapatkan error rata-rata 0,08% dan tingkat akurasi 99,92%, pengujian tegangan dengan beban 14 Ω didapatkan error 0,92% dan tingkat akurasi 99,08%. Hasil pengujian arus dengan beban 85 Ω didapatkan error rata-rata 0,23% dan tingkat akurasi 99,77%%, pengujian arus dengan beban 14 Ω didapatkan error 2,81% dan tingkat akurasi 97,19%. Hasil pengujian daya dengan beban 85 Ω didapatkan error 0,15% dan tingkat akurasi 99,85%%, pengujian daya dengan beban 14 Ω didapatkan error 1,68% dan tingkat akurasi 98,32%.

Pengujian kWh memiliki akurasi pengukuran 99,07% dengan rata-rata error sebesar 0,93%. Jarak jangkauan koneksi Wi-Fi maksimal terbaca di jarak 14 meter tanpa ada penghalang dan maksimal di jarak 11 meter dengan kondisi ada penghalang seperti tembok. Berdasarkan penelitian ini, penulis memberikan saran kepada peneliti selanjutnya untuk dapat mengembangkan sistem ini dengan diterapkan langsung di sektor komersial maupun industri dengan integrasi input output yang luas, serta menggunakan HMI yang mempunyai fitur lebih.

References

- [1] M. Dimi and J. Sardi, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Penggunaan Daya Listrik Berbasis Internet of Things," *Circuit J. Ilm. Pendidik. Tek. Elektro*, vol. 6, no. 1, p. 54, 2022, doi: 10.22373/crc.v6i1.10862.
- [2] B. Adi and A. Tanto, "Rancang Bangun Alat Pembersih Panel Surya Menggunakan Outseal PLC Dan Sensor IR Proximity yang Terkoneksi Dengan Android Melalui Modul Wifi DT-06 Dan Bluetooth HC-05," pp. 37–41, 2022.
- [3] M. Taufiq Azmi, O. Candra, Hastuti, and Habibullah, "Sistem Kontrol Instalasi Rumah Output HMI Berbasis Internet of Things," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 4, no. 2, pp. 983–992, 2023, doi: 10.24036/jtein.v4i2.526.
- [4] W. Wildan, "Estimasi Kebutuhan Daya Listrik Di Sulawesi Selatan Sampai Tahun 2025," *CIRCUIT J. Ilm. Pendidik. Tek. Elektro*, vol. 3, no. 2, p. 131, 2019, doi: 10.22373/crc.v3i2.5173.
- [5] A. E. Septoyono, "Statistik Listrik 2018-2022," in *Badan Pusat Statistik*, vol. 12, 2023, p. Statistik-listrik 2018-2022.
- [6] Hendro Widiarto and Yenni Arnas, "Rancangan Alat Moitoring Pemakaian Daya Listrik 3 Phase Berbasis Internet of Things Menggunakan Aplikasi Blynk," vol. 7, pp. 5137–5143, 2024.
- [7] G. Herandy and B. Suprianto, "Monitoring Biaya Dan Pengukuran Konsumsi Daya Listrik Berbasis Arduino Mega2560 Menggunakan Web," *J. Tek. Elektro*, vol. 8, no. 3, pp. 695–702, 2019.
- [8] A. Y. B. Sasmito, M. A. Murti, and A. Z. Fuadi, "Sistem Monitoring Penggunaan Listrik Untuk Audit Energi Pada Bangunan Berbasis Iot," *e-Proceeding Eng.*, vol. 10, no. 5, pp. 4056–4061, 2023.
- [9] H. R. A. M and M. Muskhir, "Alat Ukur Pemakaian Energi Dan Biaya Listrik Berbasis Arduino," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 4, no. 2, pp. 760–770, 2023.
- [10] Suprianto, H. T. Frianto, A. F. Bin Abidin, M. F. bin M. Idros, and A. H. A. Razak, "Electrical Load Control Using PIR Sensor for IoT-based Electrical Power Saving," *Int. J. Res. Vocat. Stud.*, vol. 3, no. 4, pp. 198–203, Jan. 2024, doi: 10.53893/ijrvocas.v3i4.252.
- [11] H. N. Pratiwi, W. H. Mulyadi, and E. Sutisna, "Sistem Penerangan pada Smart Home Berbasis PLC," vol. 7, pp. 65–68, 2022.
- [12] F. D. Yanto, N. Amin, I. Mahmudi, M. Aristo, and S. Dewi, "Rancang Bangun Sistem Smart Lab Menggunakan Outseal PLC dan HMI dengan Media Komunikasi Modbus," *Semin. Nas. Tek. Elektro dan Inform.*, vol. 8, no. 1, pp. 56–60, 2022.
- [13] R. Adry and O. Candra, "Water PH Monitoring and Control System in Aquariums Based on Internet of Things," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 5, no. 1, pp. 111–118, 2024, doi: 10.24036/jtein.v5i1.582.
- [14] Risfendra, R. P. Putra, A. B. Pulungan, Taali, and H. Setyawan, "Sistem Timbangan Digital Menggunakan HMI Weintek Berbasis Outseal PLC," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 4, no. 1, pp. 31–39, 2023.
- [15] D. S. Fahreza and R. Risfendra, "Cycle Time Analysis Of AS/RS (Automated Storage & Retrieval System) Using SCADA," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 5, no. 1, pp. 211–222, 2024, doi: 10.24036/jtein.v5i1.647.