

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAYA LISTRIK AC 3 PHASA MENGGUNAKAN PLC SECARA *REALTIME*

Pujianto¹, Wasis Waskito Adi^{1*}, Novan Akhiriyanto¹

¹Teknik Instrumentasi Kilang, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Jl. Gajah Mada no 38 Cepu. 58312

*E-mail: wasiswa@gmail.com

ABSTRAK

Penggunaan energi listrik tiga fasa pada industri membutuhkan sistem monitoring yang akurat dan *real-time* untuk mendukung efisiensi dan keandalan operasi. Penelitian ini merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring daya listrik AC tiga fasa berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC) yang terintegrasi dengan IoT *gateway*. Sistem ini menggunakan sensor arus dan tegangan yang dihubungkan ke PLC melalui protokol Modbus, kemudian data dikirimkan ke server monitoring untuk divisualisasikan pada *dashboard* berbasis web. Pengujian dilakukan di laboratorium energi PEM Akamigas untuk membaca tegangan, arus, daya, faktor daya, dan frekuensi. Hasil uji coba menunjukkan sistem mampu membaca parameter daya listrik dengan akurasi $\pm 2\%$ dibandingkan standar power meter dan delay komunikasi rata-rata 0,8 detik. Kontribusi utama penelitian ini adalah membuktikan bahwa integrasi PLC dengan IoT *gateway* dapat menyediakan monitoring daya tiga fasa secara *real-time*, fleksibel, dan mudah diintegrasikan ke sistem SCADA atau *smart factory*.

Kata Kunci : Telemetri, PLC, Pengukuran Daya Listrik, Efisiensi Energi, Pemantauan Realtime

1. PENDAHULUAN

Penggunaan energi listrik merupakan elemen kunci dalam berbagai industri dan sektor kehidupan modern. Ketergantungan kita pada sumber daya ini semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan teknologi dan digitalisasi proses industri [1]. Sehingga pemanfaatan energi listrik yang efisien dan terukur menjadi hal yang sangat penting untuk menjamin keberlangsungan penggunaan energi listrik. Salah satu pendekatan untuk mencapai efisiensi tersebut adalah dengan salah satu pendekatan untuk mencapai efisiensi tersebut adalah dengan menerapkan sistem telemetri, yaitu sistem yang memungkinkan pengukuran, pengumpulan, dan pemantauan data jarak jauh secara *real-time* [2],[3]. Melalui sistem ini, kinerja energi dan peralatan dapat dipantau secara berkelanjutan, sehingga tindakan korektif dapat dilakukan lebih cepat dan tepat. Namun di beberapa laboratorium pendidikan termasuk laboratorium energi di Politeknik Energi dan Mineral Akamigas (PEM Akamigas) sistem pengukuran daya listrik yang ada masih bersifat konvensional. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dibutuhkan rancangan sistem telemetri yang mampu mengukur dan memantau daya listrik AC tiga fasa secara akurat dan efisien [4],[5]. Salah satu perangkat yang dapat digunakan untuk tujuan tersebut adalah *Programmable Logic Controller* (PLC).[6] PLC merupakan perangkat otomatisasi industri yang terdiri dari CPU, memori, serta modul input/output (I/O) dan mampu memproses data sensor serta mengendalikan sistem secara *real-time* . Dengan kemampuan pemrogramannya yang fleksibel, PLC dapat diintegrasikan dengan sistem komunikasi modern untuk mentransmisikan data pengukuran daya secara terus-menerus dan andal

PLC adalah perangkat keras yang terdiri dari CPU, memori dan Modul I/O digunakan untuk mengotomatisasi proses industri [7]. Dalam konteks sistem telemetri di Laboratorium Energi, PLC menawarkan tingkat kehandalan dan ketahanan yang tinggi memastikan operasi yang berkelanjutan.,memiliki beberapa keunggulan yang membuatnya menjadi pilihan yang ideal.

1. Observasi. Observasi dilakukan sebagai dasar pengetahuan untuk merancang alat sistem monitoring daya listrik AC 3 Phasa Menggunakan PLC.
2. Persiapan alat dan bahan. Dalam tahap ini akan dipersiapkan alat-alat yang mendukung pengerjaan penelitian ini.
3. Perencanaan dan Pembuatan Alat. Perencanaan dimulai dengan penyusunan blok diagram (mekanisme) sistem. Pembuatan alat meliputi pembuatan *software* dan *hardware*. Perancangan *hardware* meliputi perancangan koneksi antar-komponen sesuai blok diagram, termasuk penentuan jalur arus, sambungan CT ke power meter, serta jalur komunikasi data menuju PLC. Pemrograman PLC mengikuti langkah,
 - PLC diprogram menggunakan *ladder diagram* dengan *software* sesuai PLC
 - Program mencakup konfigurasi komunikasi serial RS485 dengan pengaturan parameter *baud rate* (9600 bps), *parity* (Even/None), *data bit* (8 bit), dan *stop bit* (1).
 - Fungsi Modbus Master diaktifkan pada PLC untuk membaca *holding register* atau *input register* dari power meter yang berperan sebagai *slave*.
 - Nilai-nilai parameter seperti arus, tegangan, daya, dan faktor daya disimpan dalam *memory address (word register)* PLC untuk diolah dan dikirim ke *IoT gateway*.Konfigurasi Komunikasi *Modbus* dan *IoT Gateway* dengan langkah,
 - Power meter dikonfigurasi sebagai *Modbus Slave* dengan alamat ID
 - PLC bertindak sebagai *Modbus Master*, membaca data dari alamat *register* tertentu sesuai dengan manual *Modbus Map* power meter.
 - Data hasil pembacaan kemudian diteruskan ke *IoT gateway* (NodeMCU/ESP32/*industrial gateway*) melalui *Modbus TCP/IP*.
 - *IoT gateway* akan mengirimkan data ke *server cloud* atau *dashboard web* menggunakan koneksi *Wi-Fi* atau *Ethernet*.
4. Pengujian alat dilakukan untuk mengetahui apakah alat yang dibuat sudah mencapai target/ tujuan yang diinginkan. Jika belum, maka dilakukan perencanaan/ desain ulang.



Gambar 2. Flowchart Penelitian

3. PEMBAHASAN

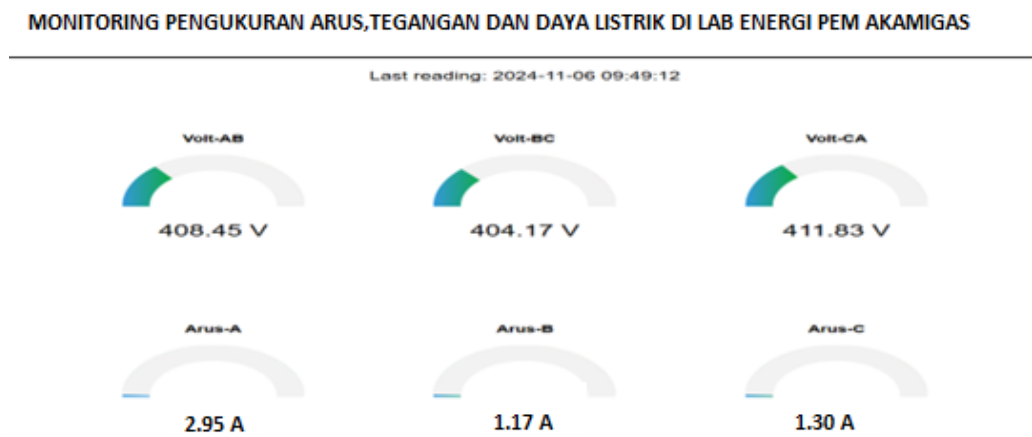
Rancangan *hardware* seperti terlihat pada gambar 3 di bawah ini. Sistem monitoring energi tiga fasa ini dirancang untuk memantau parameter kelistrikan se-cara *real-time* dengan memanfaatkan power meter, PLC, dan *gateway IoT* (ESP32) sebagai penghubung ke *cloud server*. Sistem ini terdiri atas tiga sub sistem utama yaitu:

1. Unit pengukuran daya,
2. Pengendali (*controller PLC*), dan
3. Sistem akuisisi serta pengiriman data ke *dashboard* monitoring.



Gambar 3. Hardware Monitoring Energi

Desain sistem ini didasarkan pada teori monitoring beban tiga fasa, di mana keseimbangan antar fasa sangat penting untuk menjaga efisiensi daya dan umur peralatan listrik. Ketidakseimbangan beban dapat menyebabkan kenaikan arus netral, peningkatan rugi daya (*losses*), serta penurunan efisiensi transformator dan motor induksi [11]. Dengan sistem ini, operator dapat mengamati kondisi tersebut secara langsung dan melakukan tindakan korektif lebih cepat. Hasil monitoring arus, dan tegangan seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Gauging Measurement

Berdasarkan pada Gambar 4 didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Tegangan Antar fasa (A-B, B-C, C-A) Adalah sebagai berikut:
 - a. Tegangan Fasa A-fasa B sebesar 408,45 Volt.
 - b. Tegangan Fasa B-fasa C sebesar 404,17 Volt

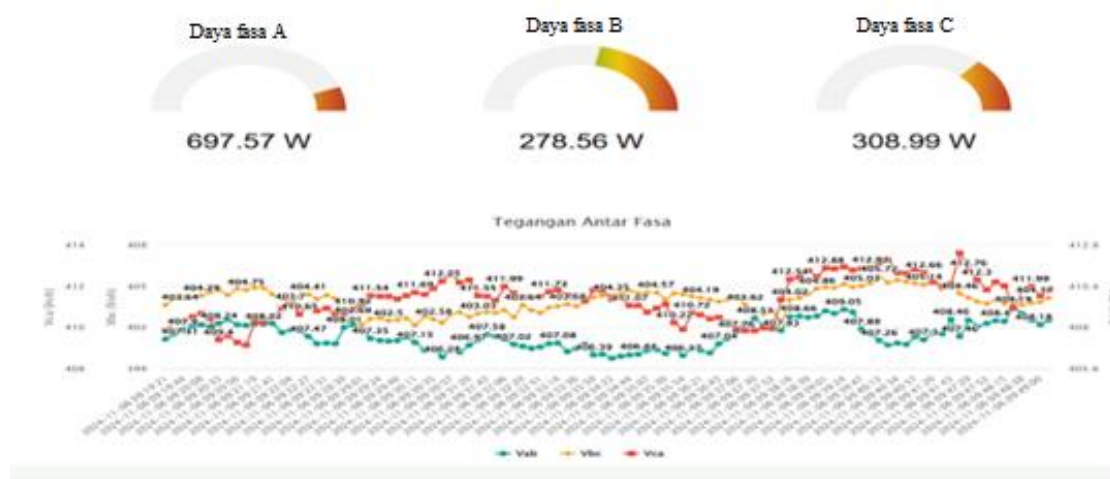
c. Tegangan Fasa C- fasa A sebesar 411,83 Volt.

2. Pengukuran Arus Fasa

Selain pengukuran tegangan, terdapat tiga *gauge* indikator arus yang memonitor nilai arus pada masing-masing fasa:

- Arus Fasa A Gauge ini menunjukkan arus pada fasa A sebesar 2,95 A.
- Arus Fasa B Gauge kedua menampilkan nilai arus pada fasa B sebesar 1,17 A,
- Arus Fasa C Gauge terakhir menunjukkan arus pada fasa C dengan nilai 1,30 A.

Dari hasil monitoring di atas, menunjukkan bahwa sistem kelistrikan di laboratorium Energi PEM Akamigas dalam keadaan normal . Nilai tegangan antar fasa 400 V dan frekwensi 50 Hz. Rentang tegangan antar fasa(404,2 – 411,9 V) masih dalam batas toleransi $\pm 5\%$ dari nilai nominal. Menurut teori sistem tenaga tiga fasa, ketidakseimbangan tegangan lebih dari 2% dapat mempengaruhi efisiensi motor dan meningkatkan rugi daya. Namun, hasil pengukuran ini menunjukkan deviasi di bawah ambang tersebut, sehingga sistem dinyatakan stabil. Nilai arus yang relatif kecil menandakan bahwa beban total masih ringan atau sistem sedang beroperasi dalam kondisi *idle*. dengan konsumsi daya minimal. Berikut adalah pemantauan untuk Daya masing-masing fasa seperti terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Gauge Daya dan Grafik Tegangan

Gambar 5 menggambarkan analisis daya listrik berdasarkan tiga fasa , yaitu Daya fasa-A, Daya fasa-B, dan Daya fasa C. Setiap fasa memiliki nilai daya yang diukur dalam satuan Watt (W). Dari hasil pengukuran terlihat bahwa daya fasa A memiliki daya tertinggi, yaitu sebesar 697.57 W. Daya fasa B daya lebih rendah dibandingkan dengan fasa lainnya, yaitu 278.56 W. Sedangkan daya fasa C berada di posisi menengah dengan daya sebesar 308.99 W. Sehingga daya total 3 fasa sebesar 1285,12 Watt.

Perbedaan signifikan antar fasa menandakan adanya ketidakseimbangan beban. Fasa A memiliki daya paling tinggi karena menanggung beban lebih besar, sementara fasa B paling rendah. Hal ini dapat disebabkan oleh distribusi beban yang tidak merata antar fasa, yang umum terjadi dalam sistem kelistrikan laboratorium ketika peralatan dihidupkan secara parsial. Grafik fluktuasi tegangan menunjukkan pola stabil dengan variasi kecil (399–414 V). Fluktuasi tersebut merepresentasikan respon sistem terhadap perubahan beban dinamis. Berdasarkan teori power quality, variasi tegangan di bawah $\pm 5\%$ dari tegangan nominal dianggap masih dalam batas aman dan tidak berpengaruh signifikan terhadap kinerja peralatan.

Data diatur dalam skala waktu yang terinci pada sumbu horizontal, sementara nilai tegangan dicatat pada sumbu vertikal. Polanya menunjukkan variasi yang cenderung stabil

dengan sedikit fluktuasi. Hal ini mungkin merefleksikan kondisi beban listrik atau kualitas distribusi energi dalam sistem. Grafik ini penting untuk analisis mendalam tentang kestabilan sistem kelistrikan, terutama dalam konteks efisiensi penggunaan daya antar fasa.

Pencatatan pengukuran parameter kelistrikan pada sistem tiga fasa pada penelitian ini mencakup informasi tentang tegangan, arus, daya, faktor daya, dan frekuensi, yang disusun secara kronologis berdasarkan waktu pengambilan. Untuk tabel pembacaan 20 sensor seperti terlihat pada Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Pembacaan 20 sensor

No	ID	Volt-A	Volt-B	Volt-C	Volt-AB	Volt-BC	Volt-CA	Arus-A	Arus-B	Arus-C	Power-A	Power-B	Power-C	Power-T	PF-A	PF-B	PF-C	PF-T	F	Timestamp
1	1.00	234.40	232.18	232.18	405.99	402.10	407.01	2.32	2.35	4.06	2062.28	2113.78	2130.16	2181.99	0.96	0.95	0.97	0.97	49.66	2024-12-03 10:30:59
2	1.00	234.40	232.15	232.15	405.98	402.08	406.72	2.32	2.35	4.06	2061.11	2107.92	2120.80	2155.27	0.96	0.95	0.97	0.97	49.66	2024-12-03 10:30:49
3	1.00	234.32	232.29	232.29	405.95	402.33	406.91	0.02	0.02	0.04	2044.72	2106.75	2114.95	2175.98	0.96	0.95	0.97	0.97	50.03	2024-12-03 10:30:25
4	1.00	234.22	232.11	232.11	405.65	402.01	406.95	0.02	0.02	0.04	2044.72	2103.24	2117.29	2174.54	0.96	0.95	0.97	0.97	50.03	2024-12-03 10:30:10
5	1.00	234.23	232.18	232.18	405.68	402.10	406.91	0.02	0.02	0.04	2048.23	2113.78	2126.85	2181.02	0.96	0.95	0.97	0.97	50.04	2024-12-03 10:29:56
6	1.00	234.11	231.92	231.92	405.47	401.59	406.94	0.02	0.02	0.04	2042.38	2109.09	2125.43	2181.02	0.96	0.95	0.97	0.97	50.04	2024-12-03 10:29:42
7	1.00	234.12	232.12	232.12	405.50	402.03	406.99	0.02	0.02	0.04	2040.04	2106.75	2118.46	2185.34	0.96	0.95	0.97	0.97	50.04	2024-12-03 10:29:29
8	1.00	234.04	231.64	231.64	405.35	401.20	406.92	0.02	0.02	0.04	2039.51	2103.24	2124.31	2195.71	0.96	0.95	0.97	0.97	50.01	2024-12-03 10:29:18
9	1.00	234.09	231.54	231.54	405.44	401.03	406.73	0.02	0.02	0.04	2028.34	2111.44	2128.99	2212.09	0.96	0.95	0.97	0.97	50.02	2024-12-03 10:29:02
10	1.00	233.81	231.57	231.57	404.95	401.08	406.94	0.02	0.02	0.04	2015.48	2109.09	2126.99	2221.45	0.96	0.95	0.97	0.97	50.05	2024-12-03 10:28:50
11	1.00	234.20	231.25	231.25	405.63	400.53	406.99	0.02	0.02	0.04	2023.65	2099.73	2130.16	2205.07	0.96	0.95	0.97	0.97	49.66	2024-12-03 10:28:36
12	1.00	234.28	232.30	232.30	405.78	402.34	406.41	0.02	0.02	0.04	2051.74	2105.75	2115.46	2172.30	0.96	0.95	0.97	0.97	49.67	2024-12-03 10:28:24
13	1.00	234.09	232.35	232.35	405.45	402.45	406.91	0.02	0.02	0.04	2057.80	2120.80	2131.33	2193.36	0.96	0.95	0.97	0.97	49.67	2024-12-03 10:28:08
14	1.00	234.42	232.12	232.12	406.01	402.03	406.27	0.02	0.02	0.04	2058.77	2109.09	2120.80	2199.95	0.96	0.95	0.97	0.97	49.66	2024-12-03 10:27:53
15	1.00	234.44	232.29	232.29	406.05	402.33	406.18	0.02	0.02	0.04	2056.43	2107.92	2117.29	2187.82	0.96	0.95	0.97	0.97	49.66	2024-12-03 10:27:39
16	1.00	234.29	232.22	232.22	405.78	402.21	406.18	0.02	0.02	0.04	2061.11	2114.95	2125.43	2179.32	0.96	0.95	0.97	0.97	49.67	2024-12-03 10:27:25
17	1.00	234.40	232.20	232.20	405.97	402.17	406.30	2.32	2.35	4.06	2055.43	2109.09	2123.14	2174.54	0.96	0.95	0.97	0.97	49.67	2024-12-03 10:27:05
18	1.00	234.37	232.40	232.40	405.97	402.56	405.55	2.32	2.35	4.06	2059.94	2111.44	2126.85	2175.98	0.96	0.95	0.97	0.96	49.67	2024-12-03 10:26:51
19	1.00	234.54	232.25	232.25	406.22	402.25	406.57	2.32	2.35	4.06	2066.95	2110.29	2128.99	2199.95	0.96	0.95	0.97	0.97	49.67	2024-12-03 10:26:36
20	1.00	234.48	232.02	232.02	405.11	401.55	406.67	2.32	2.35	4.06	2070.47	2111.44	2134.84	2174.54	0.96	0.95	0.97	0.97	49.66	2024-12-03 10:26:22

Selain parameter tegangan, arus dan daya juga terdapat parameter lain seperti Faktor daya yang menunjukkan efisiensi penggunaan energi pada masing-masing fasa. Nilai PF relatif stabil di sekitar 0.86 hingga 0.97, menunjukkan kinerja yang cukup efisien. Dan frekuensi sistem listrik tercatat stabil pada kisaran 49.67 Hz hingga 50.04 Hz, sesuai dengan permen ESDM 04/2009 tentang aturan distribusi tenaga listrik[12} . untuk sistem tenaga Arus Bolak-Balik. Serta Waktu (*Timestamp*) saat data diambil secara berkala dalam interval waktu yang teratur, memberikan rekaman rinci untuk analisis lebih lanjut. Perbandingan hasil pengukuran pada fasa A ke netral antara Power Meter (PM) dan PLC seperti pada Tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Perbandingan hasil pengukuran

Parameter	Power Meter Standar	Hasil Sistem (PLC + IoT)	Selisih	Error (%)
Tegangan (V)	220.0	216.5	-3.5	1.59 %

Parameter	Power Meter Standar	Hasil Sistem (PLC + IoT)	Selisih	Error (%)
Arus (A)	3,03	2,95	-0.08	1.90 %
Daya (W)	599,94	589,26	-10,68	1,78 %
Faktor Daya	0.90	0.89	-0.01	1.11 %
Frekuensi (Hz)	50.00	49.92	-0.08	0.16 %

Dari tabel 2 dapat terlihat rata-rata error di bawah 2%, menunjukkan sistem monitoring memiliki akurasi tinggi dan layak digunakan untuk aplikasi industri maupun pendidikan. Perbedaan kecil ini disebabkan oleh konversi data digital PLC, resolusi sensor, serta *delay* komunikasi serial Modbus RTU. Sedangkan *delay* komunikasi sistem dapat terlihat seperti Tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3. Delay Komunikasi Sistem

No	Waktu Baca Sensor (PLC Timestamp)	Waktu Data Tampil di Dashboard	Delay (detik)
1	10:00:01.200	10:00:01.950	0.75
2	10:00:03.400	10:00:04.180	0.78
3	10:00:05.600	10:00:06.450	0.85
4	10:00:07.800	10:00:08.620	0.82
5	10:00:10.000	10:00:10.850	0.85

Tabel 3 menunjukkan rata-rata delay 0,81 detik, yang tergolong respon cepat untuk sistem monitoring *real-time* berbasis Modbus RTU–IoT. Nilai ini menunjukkan performa komunikasi yang stabil, tanpa kehilangan data (data yang hilang), dan memenuhi syarat sistem *SCADA* (*Supervisory Control and Data Acquisition*) pada tingkat laboratorium. Dengan delay di bawah 1 detik, sistem ini memenuhi kriteria *real-time* monitoring untuk aplikasi industri. Meskipun sistem menunjukkan kinerja baik, terdapat beberapa batasan (limitasi) yang perlu diperhatikan yaitu bahwa,

1. Ketergantungan pada komunikasi RS-485 (Modbus RTU) – sistem hanya mampu mentransmisikan data dengan kecepatan hingga 115 kbps, sehingga tidak ideal untuk sistem berskala besar atau *multi-device*.
2. Tidak adanya kompensasi harmonisa – power meter belum mendeteksi distorsi harmonisa (THD) yang dapat memengaruhi kualitas daya.
3. Ketidakseimbangan beban dinamis – sistem belum dilengkapi algoritma otomatis untuk redistribusi beban antar fasa.
4. Keterbatasan penyimpanan lokal – data historis bergantung pada kapasitas memori *IoT gateway* dan koneksi ke *cloud*.
5. Keterbatasan pemantauan – sistem berfokus pada parameter dasar (V, I, P, PF, f), tanpa integrasi pengukuran energi reaktif atau analisis efisiensi jangka panjang.

4. SIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang sistem monitoring daya listrik AC tiga fasa berbasis PLC dengan protokol Modbus dan integrasi *IoT gateway*. Sistem mampu membaca parameter tegangan, arus, daya, faktor daya, dan frekuensi secara *real-time* dengan akurasi $\pm 2\%$ dan *delay* komunikasi rata-rata di bawah 1 detik. Hal ini membuktikan bahwa integrasi PLC dengan *IoT gateway* dapat meningkatkan efisiensi monitoring energi listrik pada aplikasi industri.

Keterbatasan penelitian ini adalah pengujian masih terbatas pada beban motor induksi di laboratorium, sehingga belum mencerminkan kondisi industri berskala besar. Penelitian selanjutnya dapat difokuskan pada implementasi di lapangan, penambahan analisis keamanan komunikasi, serta integrasi algoritma *machine learning* untuk deteksi anomali dan *predictive maintenance*. Dengan pengembangan tersebut, sistem ini berpotensi mendukung implementasi *smart factory* yang lebih cerdas, aman, dan efisien.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Nurdianti and O. Candra, "Sistem Monitoring Daya Listrik 3 Fasa Berbasis IoT (Internet of Things)," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 4, no. 2, pp. 924–933, 2023, doi: 10.24036/jtein.v4i2.532.
- [2] S. Ishak Allkadri, "ENTRIES (Journal of Electrical Network Systems and Sources) Jurusan Teknik Elektro-Politeknik Negeri Ketapang PERANCANGAN SISTEM MONITORING LISTRIK 3 PHASA BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT)," vol. 02, no. 01, pp. 24–28, 2023, doi: 10.58466/entries.
- [3] D. S. Widyastuti, A. Basuki, and E. S. Nugroho, "Monitoring Daya Listrik Laboratorium Instalasi Listrik Institut Teknologi Nasional Yogyakarta (Itny) Berbasis Internet of Things (IoT)," *Pros. Nas. Rekayasa Teknol. Ind. dan Inf.*, vol. 2020, pp. 46–053, 2020, [Online]. Available: <https://journal.itny.ac.id/index.php/ReTII/>
- [4] M. Z. Z. Muhtadi, S. Ranolat, and Pujianto, "Sistem Monitoring Energi Listrik 3 Fase Berbasis IoT dan Firebase," *Elposys J. Sist. Kelistrikan*, vol. 12, no. 2, pp. 132–137, 2025, doi: 10.33795/elposys.v12i2.7206.
- [5] F. Y. Hartawan and M. Galina, "Implementasi Programmable Logic Control (Plc) Omron Cp1E Pada Sistem Kendali Motor Induksi Star-Delta Untuk Kebutuhan Industri," *JTT (Jurnal Teknol. Ter.*, vol. 8, no. 2, p. 98, 2022, doi: 10.31884/jtt.v8i2.409.
- [6] B. Herdiana, E. B. Setiawan, and U. Sartoyo, "Tinjauan Komprehensif Evolusi, Aplikasi, dan Tren Masa Depan Programmable Logic Controllers (A Comprehensive Review of the Evolution, Applications, and Future Trends of Programmable Logic Controllers)," *Telekontran J. Ilm. Telekomun. Kendali dan Elektron. Terap.*, vol. 11, no. 2, pp. 173–193, 2024, doi: 10.34010/telekontran.v11i2.12896.
- [7] M. D. D. Rezaputra and M. R. A. Cahyono, "Perancangan Sistem Kontrol Otomatis Press Roll Berbasis PLC Mitsubishi Type-Q Pada Building Tire Machine," *Indones. J. Eng. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 92–101, 2021, doi: 10.26740/inajet.v3n2.p92-101.
- [8] I. A. D. Arman Syaefulloh1*, "View of Aplikasi PLC Omron CP1E-N40 DT1-D Sebagai Sistem Kontrol Exit Roll Kiln 1 dalam Pembuatan Keramik di PT. Satyaraya Keramindoindah.pdf."
- [9] R. Rusli, Z. Zamzami, F. Fahmi, and T. Hasannuddin, "Implementasi IoT pada Kendali Jarak Jauh PLC CP1E dengan Esp8266 dan Blynk," *Semin. Nas. Politek. Negeri Lhokseumawe*, vol. 8, no. 1, pp. 192–196, 2025.
- [10] I. Budi Sulistiawati, A. Soetedjo, R. Bahtiar Putra, and S. Priyanto, "The Use of Outseal PLC and Haiwell Hmi Scada for Power and Load Control Automation in the Electrical Engineering Laboratory Building, ITN Malang," pp. 230–236, 2023.
- [11] Y. Yusiran and H. Hasanudin, "Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban terhadap Rugi-Rugi Daya dan Efisiensi Transformator Step Down 20 KV/400 V," *J. Penelit. Inov.*, vol. 5, no. 3, pp. 2113–2120, 2025, doi: 10.54082/jupin.1675.
- [12] Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral no 04 Tahun 2009''Aturan Distribusi Tenaga Listrik''