

MONITORING PENGENDALIAN LEVEL DAN TEMPERATUR PADA PEMANAS MENGGUNAKAN PROTOKOL KOMUNIKASI MODBUS

Bagus Anandityo¹, Erna Utami¹, Alfin Sahrin^{1*}

¹Teknik Instrumentasi Kilang, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Cepu, 58315

*E-mail: alfin.sahrin@esdm.go.id

ABSTRAK

Kemajuan teknologi industri menuntut sistem monitoring dan pengendalian yang efisien, akurat, dan *real-time*. Penelitian ini merancang sistem monitoring dan pengendalian level serta temperatur pada pemanas menggunakan protokol komunikasi Modbus RS-485. Sistem terdiri dari dua sensor utama, HC-SR04 untuk mendeteksi level cairan dan DS18B20 untuk mengukur temperatur. Arduino Uno digunakan sebagai mikrokontroler yang berperan sebagai *master* dan *slave*, sedangkan komunikasi antar perangkat dilakukan melalui RS-485. Visualisasi data dan kontrol dilakukan melalui platform Node-RED sebagai *Human Machine Interface* (HMI). Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berjalan stabil, dengan akurasi pembacaan sensor suhu sebesar 0,71% pada jarak kabel 20-meter dan pembacaan level tanpa error pada jarak 10 meter. Proses pemanasan mencapai suhu 36°C dalam waktu ± 10 menit, sedangkan pengisian dan pengosongan cairan menunjukkan respons *on/off* yang efektif. Sistem ini menunjukkan bahwa komunikasi Modbus RS-485 dapat diimplementasikan secara efisien untuk kebutuhan monitoring sederhana di lingkungan industri. Pemanfaatan Arduino dan Node-RED menjadikan sistem ini fleksibel, ekonomis, serta mudah dikembangkan.

Kata kunci: Komunikasi Modbus, Level, Monitoring, Pengendalian, Temperatur

1. PENDAHULUAN

Dalam dunia industri modern, kebutuhan akan sistem pengendalian dan monitoring yang efisien, andal, serta dapat diakses secara *real-time* menjadi semakin mendesak. Seiring dengan berkembangnya teknologi komunikasi dan otomasi, sistem berbasis protokol digital menjadi solusi unggulan untuk meningkatkan efektivitas proses industri, khususnya dalam pemantauan parameter kritis seperti temperatur dan level cairan [1].

Salah satu protokol komunikasi industri yang telah teruji adalah Modbus, khususnya Modbus RTU berbasis RS-485. Protokol ini bersifat terbuka, mudah diimplementasikan, dan mampu menghubungkan beberapa perangkat dalam topologi *master-slave* dengan jangkauan komunikasi hingga ratusan meter tanpa degradasi signifikan pada kecepatan transmisi [2]. RS-485 memiliki keunggulan dalam toleransi terhadap gangguan elektromagnetik, serta mendukung penggunaan di lingkungan industri dengan banyak perangkat terhubung [3].

Perkembangan mikrokontroler seperti Arduino turut membuka peluang luas untuk penerapan sistem kendali terdistribusi berbasis protokol Modbus. Arduino merupakan platform terbuka yang mendukung fleksibilitas dalam pemrograman dan integrasi sensor, serta mendukung komunikasi serial yang dapat diperluas melalui modul RS-485 [4]. Kombinasi ini menjadikan Arduino dan Modbus RS-485 sebagai fondasi sistem kendali yang ekonomis dan skalabel.

Dalam banyak aplikasi industri, pengendalian temperatur merupakan aspek vital. Temperatur yang tidak terkontrol dapat menyebabkan kerusakan produk, pemborosan energi, atau bahkan risiko keselamatan. Sensor suhu digital seperti DS18B20 banyak digunakan karena kemudahan kalibrasi, presisi tinggi, dan kompatibilitas dengan berbagai mikrokontroler [5].

Begitu pula, parameter level cairan sering menjadi fokus dalam sistem proses kimia, pengolahan limbah, dan industri makanan. Pemantauan level cairan secara otomatis dengan sensor ultrasonik seperti HC-SR04 memungkinkan pengendalian pompa atau katup secara presisi tanpa intervensi manual [6]. Tantangan dalam implementasi sistem monitoring dan kontrol jarak jauh mencakup stabilitas koneksi, keamanan data, dan keandalan komunikasi. Studi terbaru menunjukkan bahwa Modbus RS-485 sangat tangguh terhadap gangguan dan mampu mempertahankan integritas data dalam sistem monitoring dengan banyak node [7].

Namun, aspek keamanan menjadi perhatian penting seiring meningkatnya serangan siber pada sistem industri. Penelitian oleh Ochiai, dkk. mengusulkan pendekatan deteksi serangan berbasis machine learning terhadap lalu lintas Modbus RS-485 yang dapat diimplementasikan pada perangkat *edge computing* untuk meningkatkan pertahanan sistem [8]. Di sisi lain, peningkatan integrasi sistem monitoring dengan internet melalui teknologi IoT juga telah diterapkan dalam berbagai skenario, termasuk sistem perawatan lansia berbasis RS-485 dan kontrol rumah pintar [9]. Bahkan, integrasi dengan jaringan seluler (4G/3G) memungkinkan akses data dari lokasi terpencil secara *real-time*, sehingga efisiensi operasional semakin meningkat [10]. Penelitian lain juga menunjukkan bahwa sistem monitoring lingkungan berbasis sensor dan komunikasi nirkabel menjadi solusi cerdas untuk pemantauan suhu dan kelembaban di lokasi industri, pertanian, dan rumah sakit [11].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring serta pengendalian temperatur dan level cairan berbasis mikrokontroler Arduino dan protokol komunikasi Modbus RS-485. Sistem ini juga dilengkapi dengan antarmuka pengguna berbasis web menggunakan platform Node-RED untuk visualisasi data secara *real-time*. Melalui pendekatan ini, diharapkan tercipta solusi kendali yang ekonomis, tangguh, dan adaptif untuk diterapkan baik di lingkungan pendidikan maupun industri skala kecil hingga menengah.

2. METODE

Metode penelitian ini dirancang dengan pendekatan eksperimental laboratorium, di mana sistem monitoring dan pengendalian level serta temperatur dikembangkan menggunakan mikrokontroler Arduino yang terintegrasi dengan protokol komunikasi Modbus RS-485. Tahapan metodologi meliputi perancangan perangkat keras (*hardware design*), perancangan perangkat lunak (*software design*), serta pengujian sistem (*system testing and validation*).

1. Perancangan Perangkat Keras

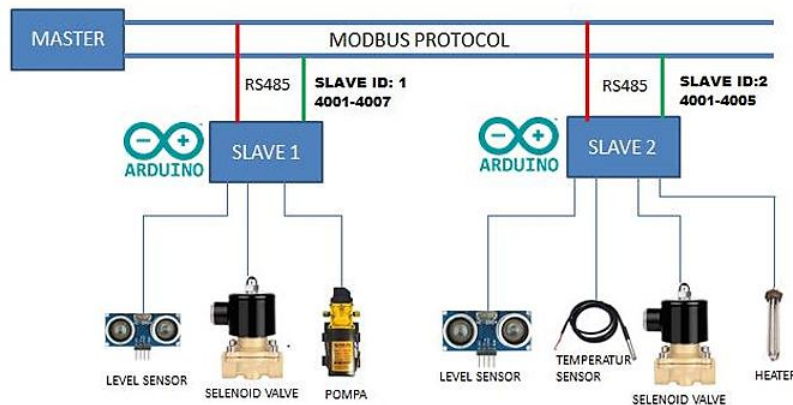
A. Sensor

- a. Sensor suhu DS18B20 digunakan untuk mengukur temperatur cairan dengan akurasi $\pm 0,5$ °C. Sensor ini dipilih karena memiliki komunikasi digital *one-wire* yang stabil dan kompatibel dengan Arduino.
- b. Sensor ultrasonik HC-SR04 digunakan untuk memonitor level cairan dengan prinsip pantulan gelombang ultrasonik. Sensor ini efektif digunakan dalam sistem non-kontak dan sering diaplikasikan dalam otomasi industri.

B. Mikrokontroler dan Antarmuka

- a. Arduino Uno digunakan sebagai pengendali utama (*master*) yang berkomunikasi dengan *slave* melalui modul TTL to RS-485. Arduino dipilih karena kemudahan integrasi, harga terjangkau, dan mendukung pustaka Modbus *open source*.

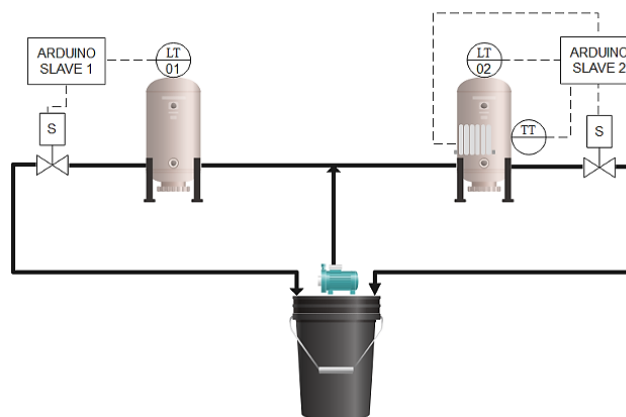
- b. Modul RS-485 berfungsi sebagai media komunikasi serial dengan topologi *master-slave*, mendukung jarak hingga 1.200 meter dan hingga 32 perangkat terhubung dalam satu jaringan. Hubungan *master-slave* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Hubungan Master dan Slave

C. Aktuator

- a. Solenoid valve digunakan untuk mengontrol aliran cairan dalam pengisian dan pengosongan tangki.
- b. *Heater* elektrik digunakan sebagai elemen pemanas cairan, dikendalikan secara *on/off* berdasarkan nilai ambang batas (*setpoint*) yang ditentukan. Hasil perancangan perangkat keras dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Perangkat Keras

2. Perancangan Perangkat Lunak

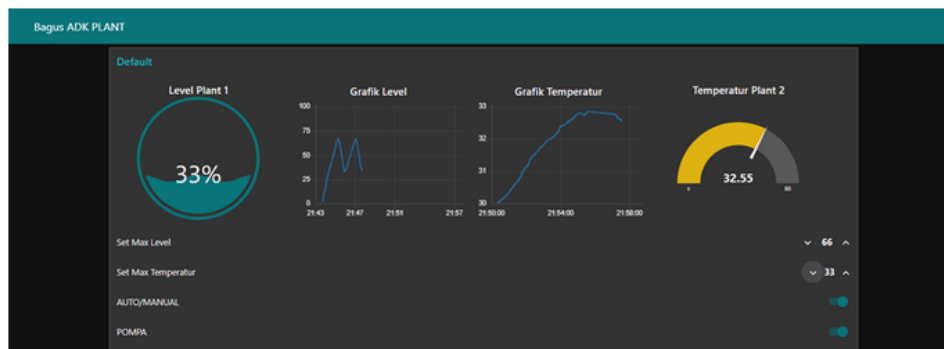
A. Pemrograman Arduino

- a. Logika kontrol ditulis menggunakan Arduino IDE. Program mencakup pembacaan sensor, pengendalian aktuatur, serta komunikasi data Modbus RTU melalui RS-485.
- b. Protokol Modbus RTU dipilih karena efisiensi dalam pertukaran data dan kompatibilitas dengan banyak perangkat industri.

B. Human Machine Interface (HMI)

- a. HMI dibangun menggunakan Node-RED, sebuah platform berbasis web untuk visualisasi data dan interaksi pengguna. Node-RED dipilih karena bersifat *open-source*, ringan, dan mendukung integrasi Modbus.

- b. *Dashboard* HMI menampilkan grafik suhu dan level cairan secara *real-time*, serta menyediakan tombol kontrol manual untuk mengaktifkan/mematikan *heater* dan *valve*. Hasil perancangan perangkat lunak dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Perangkat Lunak

3. Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi akurasi sensor, stabilitas komunikasi, dan respons *actuator*.

A. Akurasi Sensor

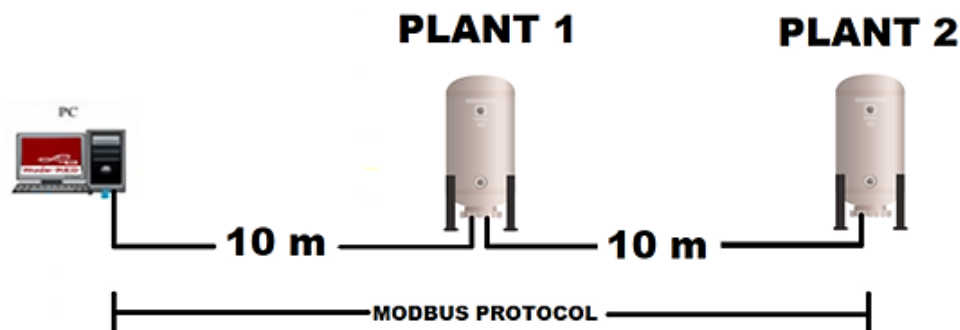
- Sensor suhu diuji menggunakan termometer digital referensi dengan variasi panjang kabel (10 m dan 20 m).
- Sensor level diuji dengan pengisian cairan pada berbagai volume untuk memastikan konsistensi pembacaan.

B. Stabilitas Komunikasi RS-485

- Sistem diuji dengan jarak komunikasi bertahap (5 m, 10 m, 20 m) untuk menilai keandalan protokol dalam mentransmisikan data.
- Evaluasi dilakukan berdasarkan tingkat *error data* dan *delay* komunikasi.

C. Kinerja Kontrol

- Pengujian kontrol temperatur dilakukan dengan menentukan setpoint 36 °C. Waktu yang diperlukan untuk mencapai suhu tersebut serta kestabilan pemanasan dievaluasi. Suhu awal cairan $\pm 27^{\circ}\text{C}$ dan volume cairan yang dipanaskan sekitar 2 liter.
- Pengujian kontrol level dilakukan dengan batas atas 66% dan batas bawah 33% kapasitas tangki, untuk menilai respon pengisian dan pengosongan cairan. Proses pengujian sistem dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengujian Sistem

4. Analisa Data

Data hasil pengujian dikumpulkan dan dianalisis secara kuantitatif untuk menghitung persentase *error* sensor, rata-rata delay komunikasi RS-485, dan waktu respon sistem terhadap instruksi kontrol *on/off*. Analisis dilakukan dengan membandingkan hasil eksperimen terhadap standar literatur dan penelitian terdahulu untuk memastikan validitas sistem.

3. PEMBAHASAN

Hasil implementasi sistem monitoring dan pengendalian berbasis Modbus RS-485 menunjukkan bahwa integrasi antara sensor, aktuator, mikrokontroler Arduino, dan platform HMI Node-RED dapat bekerja secara efektif. Pembahasan berikut mencakup analisis akurasi sensor, stabilitas komunikasi, respons aktuator, serta potensi pengembangan sistem.

A. Akurasi Sensor

Pengujian sensor suhu DS18B20 menunjukkan tingkat error rata-rata 0,71% pada kabel sepanjang 20 meter. Nilai ini masih dalam batas toleransi yang direkomendasikan untuk aplikasi industri kecil dan menengah. Sensor digital berbasis DS18B20 mampu mempertahankan akurasi meskipun digunakan pada sistem pemanas industri.

Sementara itu, sensor ultrasonik HC-SR04 menunjukkan pembacaan stabil tanpa *error* pada jarak kabel hingga 10 meter. Hasil ini menyatakan bahwa sensor ultrasonik efektif digunakan dalam pemantauan level cairan dengan variasi volume dinamis. Hasil pengujian sistem dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sistem

No	Parameter	Hasil	Keterangan
1	Akurasi Sensor Suhu (DS18B20)	Error rata-rata 0,71% (kabel 20 m)	Dibandingkan termometer digital referensi
2	Akurasi Sensor Level (HC-SR04)	0% error (kabel 10 m)	Pembacaan stabil pada kondisi laboratorium
3	Delay Komunikasi RS-485	100 - 150 ms	Masih responsif untuk monitoring real-time
4	Waktu Pemanasan ke 36°C	±10 menit	Menggunakan <i>heater</i> elektrik sederhana
5	Waktu Pendinginan	±8 menit	Pendinginan alami setelah <i>heater off</i>
6	Waktu Pengisian Tangki	±4,5 menit	Mengisi cairan hingga batas 66% volume tangki
7	Waktu Pengosongan Tangki	±2,7 menit	Mengosongkan cairan hingga batas 33% volume tangki

B. Stabilitas Komunikasi RS-485

Sistem yang diuji dengan panjang kabel hingga 20-meter tetap menunjukkan kestabilan komunikasi Modbus tanpa adanya kehilangan data signifikan. Rata-rata *delay* komunikasi terukur sekitar 100–150 ms, yang masih tergolong responsif untuk aplikasi monitoring sederhana. Selain itu, aspek keamanan komunikasi juga menjadi perhatian, karena rentan terhadap serangan injeksi data. Oleh karena itu, penambahan mekanisme enkripsi atau deteksi anomali dapat dipertimbangkan dalam pengembangan berikutnya.

C. Kinerja Kontrol On/Off

Hasil uji coba menunjukkan bahwa sistem mampu mengendalikan heater elektrik untuk mencapai *setpoint* suhu 36 °C dalam waktu ± 10 menit. Proses pendinginan berlangsung lebih cepat (± 8 menit), menunjukkan efektivitas sistem dalam mempertahankan keseimbangan suhu. Hal ini menyatakan bahwa sistem kendali berbasis Modbus efektif dalam menjaga kestabilan parameter energi dan temperatur.

Untuk kontrol level cairan, sistem mampu menjaga kisaran volume antara 33% hingga 66% kapasitas tangki. Proses pengisian membutuhkan waktu rata-rata 4,5 menit, sementara pengosongan berlangsung 2,7 menit. Performa ini sebanding dengan laporan Zhang, dkk yang mengembangkan sistem pengendalian cairan berbasis RS-485 dengan waktu respons serupa [12].

D. Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu, sistem ini memiliki keunggulan dari sisi fleksibilitas integrasi dan biaya rendah. Herath, dkk. mengembangkan sistem akuisisi data berbasis Modbus RTU dan menegaskan bahwa protokol ini ideal untuk pendidikan vokasi maupun industri kecil karena kemudahan implementasi [7]. Selain itu, integrasi dengan platform Node-RED menjadikan sistem ini lebih modern dan mudah digunakan dibandingkan pendekatan tradisional berbasis LabVIEW atau SCADA komersial [13].

E. Keterbatasan dan potensi Pengembangan

Meskipun sistem berhasil memenuhi tujuan penelitian, terdapat beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan, yaitu kapasitas pemanas terbatas sehingga waktu pemanasan relatif lama, sensor ultrasonik masih sensitif terhadap uap panas yang dapat mengganggu pembacaan, dan sistem komunikasi belum dilengkapi lapisan keamanan tambahan terhadap potensi serangan siber. Dengan hasil ini, sistem yang dirancang terbukti layak diterapkan sebagai prototipe monitoring dan pengendalian berbasis Modbus RS-485 di skala laboratorium maupun industri kecil, sekaligus membuka peluang penelitian lebih lanjut menuju sistem SCADA terintegrasi.

4. SIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring serta pengendalian temperatur dan level cairan berbasis mikrokontroler Arduino dengan komunikasi Modbus RS-485. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor DS18B20 memiliki akurasi tinggi dengan rata-rata *error* hanya 0,71%, sedangkan sensor ultrasonik HC-SR04 mampu memberikan pembacaan level cairan tanpa error pada jarak kabel 10 meter. Komunikasi Modbus RS-485 berjalan stabil dengan *delay* rata-rata 100 – 150 ms, sehingga cukup responsif untuk kebutuhan monitoring *real-time*. Sistem kendali *on/off* yang diterapkan juga mampu menjaga suhu pada *setpoint* 36° C dengan waktu pemanasan sekitar 10 menit serta pendinginan selama 8 menit, sedangkan kontrol level cairan berhasil mempertahankan volume antara 33% hingga 66% kapasitas tangki dengan waktu pengisian 4,5 menit dan pengosongan 2,7 menit. Integrasi Node-RED sebagai HMI memberikan kemudahan dalam visualisasi data dan interaksi operator. Secara keseluruhan, sistem ini terbukti ekonomis, fleksibel, dan efektif untuk aplikasi pendidikan vokasi maupun industri skala kecil, meskipun masih terdapat ruang pengembangan seperti penerapan kontrol PID, peningkatan kapasitas pemanas, serta penambahan lapisan keamanan pada komunikasi Modbus.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Sun, J. Lin, and Z. Meng, "Design of a Monitoring System for Power-consumption Devices Based on Modbus Protocol," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2405, no. 1, 2022, doi: 10.1088/1742-6596/2405/1/012022.
- [2] P. D. Hung, V. Van Chin, N. T. Chinh, and T. D. Tung, "A flexible platform for industrial applications based on RS485 networks," *J. Commun.*, vol. 15, no. 3, pp. 245–255, 2020, doi: 10.12720/jcm..15.3.245-255.
- [3] Q. Li, Y. Yang, and P. Jiang, "Remote Monitoring and Maintenance for Equipment and Production Lines on Industrial Internet: A Literature Review," *Machines*, vol. 11, no. 1, 2023, doi: 10.3390/machines11010012.
- [4] M. Khalidin Basyir and Y. Handika Siregar, "Perancangan Sistem Smart Lighting Menggunakan Arduino Designing a Smart Lighting System Using Arduino," no. 1, pp. 37–45, 2024, [Online]. Available: <https://jurnal.uinsu.ac.id/index.php/algorithm%0Ahttp://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>
- [5] M. Fakhruddin, Y. Yuniarto, P. Ari Bawono, W. Heru, A. Eko, and T. Dista Yoel, "Realization of industrial-based temperature heating control module using TK4S-T4RN," *Mater. Today Proc.*, vol. 63, pp. S424–S433, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2022.04.088.
- [6] B. P. Anggara, A. Ma'Arif, and N. S. Abu, "Design of a Liquid Tank Filling Control System Using PID," *Bul. Ilm. Sarj. Tek. Elektro*, vol. 5, no. 3, pp. 367–375, 2023, doi: 10.12928/biste.v5i3.8915.
- [7] H. M. K. K. M. B. Herath, S. V. A. S. H. Ariyathunge, and H. D. N. S. Priyankara, "Development of a Data Acquisition and Monitoring System Based on MODBUS RTU Communication Protocol," *Int. J. Innov. Sci. Res. Technol.*, vol. 5, no. 6, pp. 433–440, 2020, doi: 10.38124/ijisrt20jun479.
- [8] H. Ochiai, M. D. Hossain, P. Chirupphapa, Y. Kadobayashi, and H. Esaki, "Modbus/RS-485 Attack Detection on Communication Signals with Machine Learning," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 61, no. 6, pp. 43–49, Jun. 2023, doi: 10.1109/MCOM.002.2200553.
- [9] G. M. Sung, C. T. Lee, and C. R. Chen, "IoT-Based Home Care System with a FPGA Development Board by Using RS-485 Interface and Verilog HDL," *Conf. Proc. - IEEE Int. Conf. Syst. Man Cybern.*, vol. 2020-October, pp. 3370–3374, 2020, doi: 10.1109/SMC42975.2020.9283403.
- [10] M. Prokin, H. Turkmanovic, and D. Prokin, "IoT Over 4G/3G/2G Mobile Networks," in *2022 11th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO)*, IEEE, Jun. 2022, pp. 1–4. doi: 10.1109/MECO55406.2022.9797163.
- [11] C. Pan, "Research on cross-field applications and prospects of intelligent sensors," *Appl. Comput. Eng.*, vol. 41, no. 1, pp. 210–214, 2024, doi: 10.54254/2755-2721/41/20230749.
- [12] Z. Zhang and Y. Yang, "Design of Remote Monitoring System for a Mechanical Equipment Based on Internet of Things," in *2021 7th Annual International Conference on Network and Information Systems for Computers (ICNISC)*, IEEE, Jul. 2021, pp. 54–59. doi: 10.1109/ICNISC54316.2021.00018.
- [13] W. He, M. J. A. Baig, and M. T. Iqbal, "An Open-Source Supervisory Control and Data Acquisition Architecture for Photovoltaic System Monitoring Using ESP32, Banana Pi M4, and Node-RED," *Energies*, vol. 17, no. 10, 2024, doi: 10.3390/en17102295.