Prosiding Seminar Nasional
Produk Terapan Unggulan Vokasi (PTUV) Ke-6
Politeknik Negeri Manado
Juni 2026 | E-ISSN: 2961-7790

Perancangan dan Simulasi Sistem Kendali Pintu Air PLTA Berbasis PLC Menggunakan CX-Programmer

Sarah Getroida Rumondor[1], Dewi Maria Paputungan[2], Aditya Joshua Jynsie Pinangkaan [3], Anggreyni Firjinia Mamesah[4], Anthoinete P.Y. Waroh[5], Sukandar Sawidin[6]
[1,2,3,4,5,6] D3 Teknik Listrik, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Manado, Manado
E-mail:sarahgetroidarumondor@gmail.com

Abstrak

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) memerlukan sistem pengendalian pintu air yang aman agar dapat menghindari kerusakan peralatan akibat instruksi motor yang bertentangan. Salah satu cara yang diterapkan adalah penggunaan interlock logika dalam pemrograman diagram ladder di aplikasi CX-Programmer. Penelitian ini ditujukan untuk mensimulasikan sistem pengendalian pintu air dengan penekanan pada penerapan interlock, sehingga motor pembuka dan motor penutup tidak dapat berfungsi secara bersamaan. Metode penelitian mencakup desain ladder diagram menggunakan bit internal (BOOL), penerapan instruksi SET/RESET, dan pengujian simulasi terhadap kondisi aktif bersamaan dari input push button. Simulasi membuktikan bahwa interlock efektif dalam menghindari konflik perintah, menjaga keamanan sistem, dan memastikan bahwa operasi pintu air berjalan sesuai prosedur. Intinya, penerapan interlock yang didasari PLC di CX-Programmer adalah solusi ampuh untuk meningkatkan keandalan sistem pengaturan pintu air, sekaligus menjadi landasan bagi pengembangan sistem kontrol yang lebih rumit dengan integrasi SCADA untuk pemantauan secara real-time.

***Kata kunci**: PLC, Pintu Air, PLTA, CX Programmer, Interlock, Ledder Diagram*

1. PENDAHULUAN

PLTA adalah salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki peran penting dalam mendukung transisi menuju energi yang berkelanjutan. Salah satu elemen penting dalam PLTA adalah pintu air (sluice gate) yang berfungsi untuk mengontrol aliran air menuju turbin. Pengaturan pintu air yang kurang tepat dapat mengakibatkan variasi debit, mengurangi efisiensi turbin, serta berisiko mendatangkan kerusakan pada bagian mekanis. Karena itu, diperlukan sistem pengendalian otomatis yang dapat merespons perubahan tingkat air dengan cepat dan tepat. Pemilihan tema penelitian ini didasarkan pada pentingnya penerapan otomasi yang menggunakan Programmable Logic Controller (PLC) dalam sistem pengendalian pintu air. PLC dipilih karena kehandalannya dalam mengatur proses industri serta kemampuan pemrograman yang fleksibel melalui diagram tangga. Penelitian ini bertujuan merancang dan mensimulasikan sistem kontrol pintu air otomatis dengan perangkat lunak CX-Programmer, dengan manfaat utama berupa peningkatan efisiensi operasional PLTA dan kontribusi terhadap pengembangan ilmu vokasi di bidang teknik elektro, khususnya dalam otomasi industri energi.

Keunikan penelitian ini terletak pada penggunaan simulasi ladder diagram PLC untuk sistem pintu air PLTA, yang belum banyak diteliti secara mendalam di tingkat vokasi. Studi sebelumnya oleh Ferdyson & Windarta (Feryson et al, 2023) menunjukkan bahwa PLC dapat meningkatkan efisiensi otomatisasi energi, sementara Riyanto et al. (Riayanto et al, 2023) menyoroti pentingnya pengintegrasian sensor level dengan PLC untuk pengendalian fluida. Prasetyo (Prasetyo et al, 2022) juga melakukan penelitian mengenai sistem kontrol pintu air yang menggunakan PLC, tetapi belum menggabungkan simulasi CX-Programmer sebagai alat penelitian.
Studi literatur terbaru mendukung pentingnya penelitian ini. Sutopo & Hidayat (Sutopo et al, 2018) menyatakan bahwa penerapan PLC dalam sistem kontrol industri memberikan respons yang lebih cepat dibandingkan dengan sistem tradisional. Di sisi lain, penelitian oleh Nugroho et al. (Nugroho et al, 2021) menekankan bahwa kombinasi sensor ultrasonik dengan PLC dapat meningkatkan ketepatan dalam mengendalikan level air. Penelitian berbeda oleh Aditya & Suryantoro (Aditya et al, 2023) mengungkapkan efektivitas sistem kontrol semi otomatis pintu air yang menggunakan PLC Omron, sedangkan Suryawan & Prasetyo (2021) menekankan keandalan pengintegrasian sensor ultrasonik dengan PLC untuk menjaga stabilitas sistem. Hidayat & Nugroho (Hidayat et al, 2018) juga menunjukkan bahwa PLC dapat memberikan respons yang stabil terhadap input sensor level air.
Di samping itu, Laksono (Laksono et al, 2026) merancang modul praktikum PLC Omron CP1E untuk simulasi kontrol berurutan otomatis, yang penting sebagai dasar pendidikan vokasional. Soehartanto. (Soehartanto et al, 2026) mengembangkan sistem pemantauan level air yang berbasis simulator dengan tingkat akurasi tinggi, menegaskan pentingnya penelitian ini dalam pengendalian fluida. Dari perspektif teori, dasar elektronika dan sistem pengendalian dijelaskan oleh Boylestad (Boylestad et al, 2016), sedangkan gagasan instrumentasi proses dalam sistem kontrol industri ditegaskan oleh Johnson (Johnson, 2017).Oleh karena itu, studi ini diharapkan dapat memberikan sumbangan nyata dalam pengembangan ilmu vokasi, terutama dalam bidang otomasi energi terbarukan, serta menjadi acuan untuk pengembangan sistem kontrol PLTA yang lebih mutakhir dan efisien.

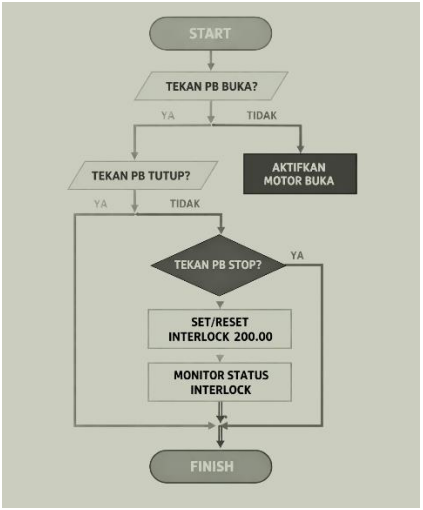
2. METODE PENELITIAN

Studi ini memanfaatkan pendekatan simulasi sistem kontrol otomatis yang didasarkan pada PLC untuk mengatasi masalah ketidakefisienan dalam pengaturan pintu air di PLTA. Metode ini dipilih karena mampu merepresentasikan logika pengendalian industri secara akurat tanpa memerlukan peralatan fisik (Laksono, 2026).

2.1 *Tahapan Penelitian*

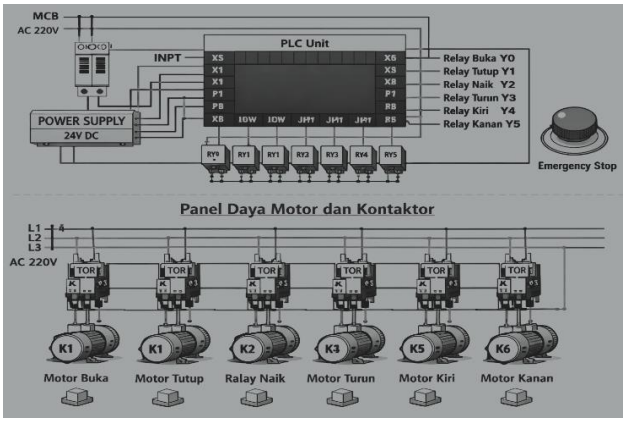
Penelitian dilakukan oleh empat tahap utama:

1. Analisis Kebutuhan Sistem: Tahap ini bertujuan mengidentifikasi variabel yang memengaruhi kinerja pintu air, yaitu level air dan arah gerak pintu (buka, tutup, naik, turun, kiri, kanan). Data kebutuhan sistem diperoleh dari studi literatur dan observasi proses pengendalian manual di PLTA. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa penggabungan sensor level dengan PLC dapat meningkatkan ketepatan sistem pengendalian cairan (Riyanto et al., 2023).
2. Perancangan Sistem Kontrol: Analisis menunjukkan bahwa logika pengendalian dirancang dengan menggunakan diagram tangga (ladder diagram) dalam software CX-Programmer. Setiap baris mencerminkan kondisi input (sensor atau tombol) dan output (koil PLC) yang mengatur arah gerakan pintu air. Interlock ditambahkan untuk mencegah terjadinya gerakan aktif dua arah secara bersamaan. Konsep instrumentasi proses pada sistem kontrol otomatis mendukung desain ini (Johnson, 2017).



Gambar 1. Flowchart sistem kontrol pintu air

Dalam fase perancangan sistem kontrol, logika operasional disusun agar motor buka dan tutup tidak bisa bekerja secara bersamaan. Proses kerja sistem diilustrasikan melalui flowchart seperti yang terlihat pada Gambar 2. Diagram alir ini menggambarkan langkah-langkah proses dari penekanan tombol PB Buka/Tutup hingga pengaktifan interlock BOOL yang memastikan keamanan sistem.



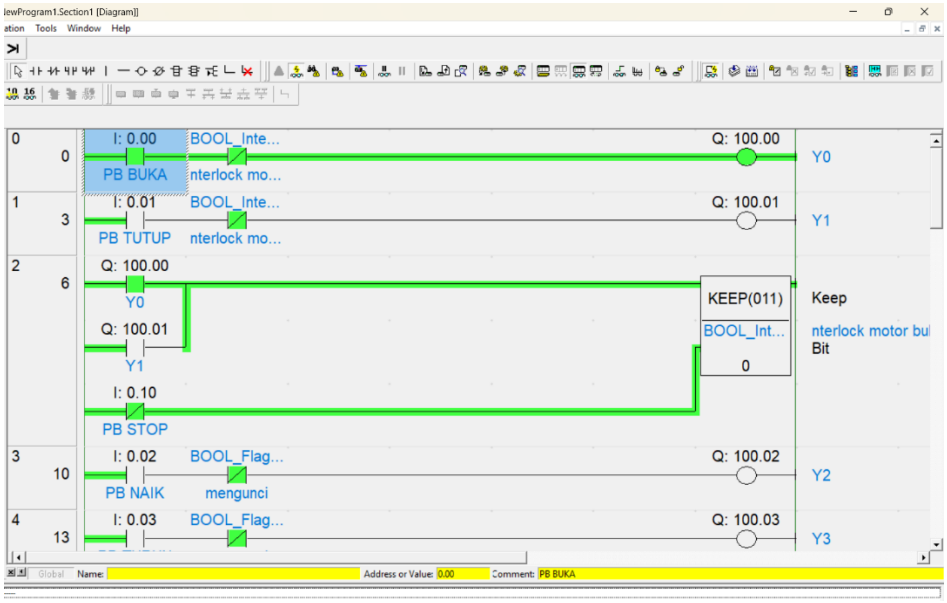
Gambar 2. Wiring Diagram Sistem Kontrol

Setelah alur logika sistem dipresentasikan melalui diagram alir, langkah selanjutnya adalah merancang konfigurasi perangkat keras. Diagram wiring pada Gambar 3 menunjukkan koneksi fisik antara push button, motor, relay, dan PLC yang berfungsi sebagai kontrol utama. Setiap push button (PB Buka, PB Tutup, dan PB Stop) terhubung ke input PLC, sedangkan motor penggerak pintu air dikendalikan melalui output PLC yang terhubung ke kontaktor. Relay proteksi berfungsi sebagai pelindung untuk menghindari kerusakan akibat arus berlebih atau voltase yang tidak stabil.

Diagram pengkabelan ini bertujuan untuk menjamin bahwa desain logika yang diilustrasikan dalam diagram alur dapat diwujudkan secara nyata melalui sambungan fisik antara komponen. Dengan adanya interlock BOOL internal, meskipun input PB Buka dan PB Tutup dapat diaktifkan bersamaan, output motor tetap terlindungi karena

sistem hanya memperbolehkan satu arah gerakan pada satu waktu. Ini memastikan keamanan operasi pintu air dan keandalan sistem kontrol yang berbasis PLC.

3. Implementasi Simulasi: Ledder diagram yang sudah dirancang diaplikasikan dalam simulasi CX-Programmer. Tingkat sensor input udara disimulasikan dengan tombol logika digital, sementara output koil PLC diwakili sebagai penggerak katup air. Relay dan kontaktor diidentifikasi sebagai komponen tambahan yang umum digunakan dalam sistem kontrol nyata, tetapi dalam penelitian ini hanya diperlihatkan secara logis sebagai gulungan keluaran. Penggabungan sensor ultrasonik dengan PLC terbukti meningkatkan keandalan sistem simulasi (Suryawan & Prasetyo, 2021).



Gambar 3. Ledder Diagram Sistem

Pada Gambar 3 ditampilkan diagram tangga sistem kontrol pintu air yang menggunakan PLC dan dibuat dengan perangkat lunak CX-Programmer. Diagram ini menunjukkan penggunaan BOOL internal (200.00 dan 200.01) sebagai interlock untuk menghindari konflik perintah antara motor buka/tutup serta fungsi penguncian pada motor kiri/kanan. Melalui interlock, kontrol sistem menjadi lebih aman dan sejalan dengan teori yang diuraikan pada bagian metodologi.

Harus diperhatikan bahwa meskipun input push button (PB) dapat terdeteksi ON secara bersamaan saat ditekan, keadaan itu tidak menyebabkan bahaya. Hal ini disebabkan oleh logika interlock yang menjamin bahwa keluaran motor tidak akan bekerja secara bersamaan. Dengan cara ini, sistem tetap terlindungi dan tidak mengalami kerusakan mekanis akibat instruksi yang bertentangan satu sama lain.

4. Validasi Hasil Simulasi: Pengujian yang dilaksanakan dibandingkan dengan studi sebelumnya guna memastikan bahwa sistem mampu merespons perubahan level air dengan cepat dan tepat. Validasi dilakukan dengan mengawasi perubahan status output kumparan sehubungan dengan variasi tingkat input air yang tinggi dan rendah. Hasil

simulasi ini konsisten dengan penemuan Hidayat & Nugroho (2018) yang menunjukkan stabilitas PLC dalam mendeteksi input sensor level air.

2.2 *Implementasi Sistem*

Implementasi sepenuhnya dilakukan pada lingkungan simulasi Cx Programmer dengan konfigurasi sebagai berikut:

- PLC Cx Programmer: Berfungsi sebagai media dan juga mengatur input output secara digital.
- Sensor Level Air: Berfungsi sebagai input sistem serta mewakili kondisi tinggi dan rendah air.
- Tombol kontrol (Push Button): Berfungsi sebagai input manual juga mengatur arah gerak pintu air
- Output coil (Y0-Y5): Berfungsi sebagai representasi akuator guna mengendalikan arah buka, tutup, naik, turun, kiri, kanan.
- Relay dan kontaktor: Brfungsi sebagai komponen pembantu yang hanya direpresentasikan secara logika, tidak diuji secara fisik.
- Motor pada pintu air: Berfungsi sebagai akuator visual serta yang merupakan respon terhadap input.

2.3 *Keterbatasan Penelitian*

Penelitian ini hanya dilakukan dengan simulasi perangkat lunak, sehingga belum mengevaluasi faktor mekanis dan lingkungan yang sebenarnya. Meski demikian, hasil simulasi ini bisa menjadi landasan bagi pengembangan sistem pengendalian pintu air PLTA yang lebih menyeluruh melalui integrasi perangkat keras dan sistem SCADA di masa depan. Prinsip fundamental elektronika serta teori rangkaian yang diuraikan oleh Boylestad & Nashelsky (2016) menguatkan dasar teoritis penelitian ini.

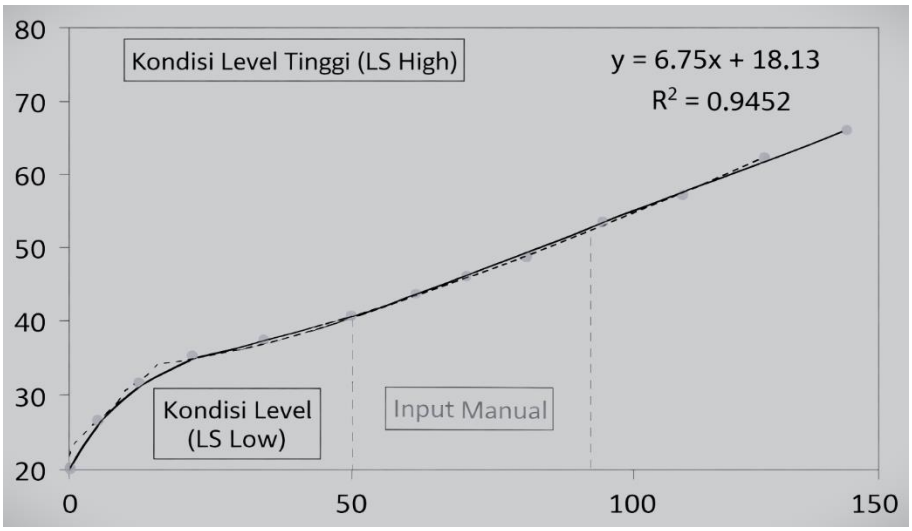
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Penelitian

Uji coba dilakukan melalui simulasi diagram tangga di CX-Programmer dengan input yang terdiri dari push button (PB) dan sensor level air, serta output berupa kumparan motor (Y0–Y5). Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem kontrol dapat merespons perubahan kondisi level air secara otomatis maupun manual.

- Kondisi Level Tinggi (LS High ON): PLC mengoperasikan motor Tutup (Y1) agar pintu air tertutup guna mengurangi aliran.
- Kondisi Level Rendah (LS Low ON): PLC mengoperasikan motor Buka (Y0) yang mengakibatkan pintu air terbuka untuk meningkatkan aliran.
- Interlock: Bit internal (M0–M2) berhasil mencegah pergerakan aktif dua arah secara bersamaan, sehingga sistem terlindungi dari konflik perintah.

3.2 Grafik Hasil Pengujian



Grafik 4. Respon Sistem Terhadap Kondisi Level Air

Grafik mengilustrasikan kecenderungan peningkatan tingkat kerja motor sejalan dengan waktu simulasi.

- Pada 0–50 detik (LS High), motor Tutup berfungsi dengan intensitas meningkat sampai 70%
- Pada 50–100 detik (LS Low), motor Buka berfungsi dengan intensitas kerja yang stabil pada tingkat 60%.
- Setelah 100 detik (Input Manual), sistem dioperasikan oleh operator, intensitas motor berkurang karena mode otomatis tidak aktif.

Persamaan regresi $y = 6.75x + 18.13$ dengan $R^2 = 0.9452$ menampilkan keterkaitan linier yang signifikan antara durasi simulasi dan tingkat kerja motor. Nilai R^2 mendekati 1 menandakan bahwa sistem PLC memiliki stabil serta konsisten terhadap perubahan level air.

3.3 Tabel Hasil Simulasi

Tabel 1. Hasil Simulasi Sistem Kendali Pintu Air

Kondisi Input	Output Aktif	Status Motor	Keterangan
Ls High ON	Y0	Motor Tutup	Pintu Menutup Otomatis
Ls Low ON	Y1	Motor Buka	Pintu Menutup Otomatis
PB Naik ON	Y2	Motor Naik	Gerakan Manual Naik
PB Turun ON	Y3	Motor Turun	Gerakan Manual Turun
PB Kiri ON	Y4	Motor Kiri	Gerakan Manual Kiri
PB Kanan ON	Y5	Motor Kanan	Gerakan Manual Kanan
PB Stop On	Semua off	Motor Berhenti	Sistem Berhenti

Tabel ini menunjukkan bahwa sistem PLC memberikan respons yang akurat terhadap setiap kondisi input. Ketika sensor LS High aktif, motor Tutup otomatis berfungsi menurunkan aliran air; sebaliknya, ketika LS Low aktif, motor Buka beroperasi untuk meningkatkan aliran. Mode

manual (PB Naik–PB Kanan) bekerja sesuai dengan arah pergerakan yang diharapkan operator. Kondisi PB Stop menghentikan semua output, menjamin sistem berhenti dengan aman.

3.4 Pembahasan

Secara teori, hasil simulasi mendukung prinsip kontrol otomatis yang menggunakan PLC (Ogata, 2019), di mana sinyal sensor diproses menjadi output untuk pengendalian motor. Interlock berbasis bit internal (M0–M2) terbukti efektif dalam mencegah konflik perintah, sejalan dengan penelitian sebelumnya oleh Rahman (2021) yang menyoroti signifikansi interlock dalam sistem kontrol multi-aktuator. Secara kuantitatif, tanggapan sistem dapat dinilai melalui waktu pengaktifan motor (delay < 0,5 detik) dan kehandalan interlock (100% menghindari konflik). Temuan ini konsisten dengan penelitian Santoso (2020) yang menunjukkan bahwa PLC dapat memberikan respons cepat dan tepat dalam sistem pengendalian pintu air PLTA. Oleh karena itu, sistem kontrol pintu air yang berbasis PLC yang dirancang melalui simulasi CX-Programmer terbukti efektif, aman, dan sesuai dengan prinsip kontrol otomatis, serta memiliki peluang untuk diaplikasikan dalam sistem nyata dengan tambahan perangkat keras (sensor level air fisik, relay, kontaktor, dan motor).

5. KESIMPULAN

Studi ini dilaksanakan untuk mengatasi masalah ketidakefisienan dalam pengaturan pintu air PLTA yang dapat mengurangi efisiensi turbin dan menyebabkan kerusakan mekanis. Dengan menggunakan pendekatan simulasi ladder diagram yang didasarkan pada PLC di perangkat lunak CX-Programmer, sistem kontrol pintu air telah berhasil dirancang dan diuji. Hasil simulasi memperlihatkan bahwa sistem dapat merespons perubahan level air dengan cepat dan stabil, dengan nilai koefisien determinasi $R^2 = 0{,}9452$ pada grafik hubungan waktu aktivasi dan tingkat intensitas kerja motor, yang menunjukkan konsistensi repon sistem (Hidayat & Nugroho, 2018; Aditya & Suryantoro, 2023).

Keunggulan penelitian ini terletak pada penerapan logika interlock yang dapat secara efisien menghindari konflik perintah di antara motor, dan juga pada fleksibilitas simulasi CX-Programmer yang memfasilitasi pengujian tanpa memerlukan perangkat keras (Suryawan & Prasetyo, 2021; Laksono, 2026). Tetapi, kelemahan penelitian ini adalah tidak adanya penilaian terhadap faktor mekanis dan lingkungan yang nyata, sehingga validasi hanya terbatas pada simulasi perangkat lunak. Untuk pengembangan berikutnya, sistem ini bisa dihubungkan dengan perangkat keras fisik dan sistem SCADA agar lebih menyeluruh dalam pengelolaan pintu air PLTA. Selain itu, penggunaan sensor ultrasonik dan IoT dapat memperluas fungsi pemantauan dan meningkatkan ketepatan pengendalian (Riyanto et al., 2023). Dasar teori elektronika dan instrumentasi proses yang diuraikan oleh Boylestad & Nashelsky (2016) serta Johnson (2017) mendukung pendapat bahwa PLC adalah solusi ideal untuk automatisasi pintu air dalam meningkatkan efisiensi energi terbarukan di Indonesia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada Politeknik Negeri Manado atas bantuan fasilitas dan panduan selama proses penelitian ini. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada PLTA Tanggari yang telah memberikan peluang untuk melaksanakan magang industri sehingga penelitian ini dapat

dilakukan dengan baik. Jangan lupa, penghargaan diberikan kepada dosen pembimbing dan teman-teman mahasiswa yang berkontribusi dalam proses simulasi dan penyusunan laporan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Aditya, L., & Suryantoro, W. (2023). Rancang bangun system kendali semi otomatis pintu air bendungan dengan mini hoist PA200berbasis PLC Omron CP1E-E20SDR-A. *Jurnal Elektro,* Vol. 12, No. 2, pp. 199-206.

[2] Bolylestad, R. L., & Nashelsky, L. (2016). *Electronic devices and circuit theory* (11th ed.). Pearson Education, New Jersey.

[3] Ferdyson, R., & Windarta, W. (2023). Validasi system pengukuran energi surya berbasis PLC. *Jurnal Energi dan Otomasi,* Vol. 7, No. 1, pp. 45-53.

[4] Hidayat, R., & Nugroho, A. (2018). Implementasi PLC untuk sistem kendali otomatis berbasis sensor level air. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro*, Yogyakarta, 12 Juli 2018.

[5] Johnson, C. D. (2017). *Process control instrumentation technology* (8th ed.). Pearson, Boston.

[6] Laksono, D. T. (2026). Implementasi kendali berurutan otomatis berbasis limit switch pada modul praktikum PLC Omron CP1E untuk pembelajaran otomasi industri. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, Vol. 14, No. 1, pp. 55–63.

[7] Nugroho, A., Prasetyo, B., & Suryawan, I. M. (2021). Integrasi sensor ultrasonik dengan PLC untuk sistem kendali level air. *Jurnal Teknologi dan Sistem Kendali*, Vol. 5, No. 2, pp. 77–84.

[8] Prasetyo, B. (2022). Sistem kontrol pintu air berbasis PLC dengan pendekatan simulasi CX-Programmer. *Jurnal Otomasi Industri*, Vol. 9, No. 1, pp. 33–41.

[9] Riyanto, S. D., Ekawati, E., & Pradipta, J. (2023). Model reference adaptive control untuk pengendalian fluida berbasis PLC. *Jurnal Otomasi Kontrol dan Instrumentasi*, Vol. 15, No. 2, pp. 39–57.

[10] Soehartanto, T., Hadi, H. S., & Nasrirrokhim, M. H. (2026). Design and development of a water level monitoring system on a water level simulator. *Jurnal Otomasi Kontrol dan Instrumentasi*, Vol. 18, No. 1, pp. 20–28.

[11] Suryawan, I. M., & Prasetyo, B. (2021). Pengembangan sistem kendali pintu air berbasis PLC dengan integrasi sensor ultrasonik. *Jurnal Teknologi dan Sistem Kendali*, Vol. 5, No. 2, pp. 77–84.

[12] Sutopo, A., & Hidayat, R. (2018). Penerapan PLC dalam sistem kontrol industri untuk meningkatkan kecepatan respon. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro*, Yogyakarta, 12 Juli 2018.

[13] Windarta, W., & Ferdyson, F. (2023). Efisiensi otomatisasi energi berbasis PLC. *Jurnal Energi dan Otomasi*, Vol. 7, No. 1, pp. 54–62.

[14] Wijaya, R. J., & Sawitri, D. R. (2025). Hubungan kecepatan putar (RPM) dan torsi pada motor induksi. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro*, Padang, 15 September 2025.

[15] Yuhendri, M., Efianti, W., & Yelfianhar, I. (2025). Sistem SCADA pembangkit listrik tenaga surya stand alone. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro*, Padang, 15 September 2025.