



RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI FORWARD REVERSE MOTOR INDUKSI TIGA FASA BERBASIS PLC OMRON

Taufik Muchtar¹, Muslimin², Nurhayati Djibir³, Hamdan Gani⁴, Lutfi⁵, Adam Fahriansyah⁶, Andi Syamsul Bahri Saputra⁷

^{1,2,3,4,5,6,7}Politeknik ATI Makassar

¹taufikmuchtar@atim.ac.id, ²muslimin@atim.ac.id, ³nurhayati.djibir@atim.ac.id, ⁴hamdangani@atim.ac.id, ⁵lutfi@atim.ac.id

ABSTRAK

Motor induksi tiga fasa merupakan aktuator yang banyak digunakan pada sistem otomasi industri karena memiliki konstruksi yang sederhana, efisiensi tinggi, dan biaya perawatan yang relatif rendah. Pada berbagai aplikasi industri, motor induksi sering dioperasikan dengan perubahan arah putaran (forward-reverse) sehingga diperlukan sistem kendali yang mampu bekerja secara aman, akurat, dan fleksibel. Sistem kendali konvensional berbasis relay masih memiliki beberapa kelemahan, antara lain kompleksitas pengawatan, keterbatasan modifikasi rangkaian, serta risiko terjadinya kegagalan operasi akibat aktifnya kontaktor forward dan reverse secara bersamaan. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem kendali forward-reverse motor induksi tiga fasa berbasis Programmable Logic Controller (PLC) Omron CP1L-L20DR-A. Metode penelitian menggunakan pendekatan rekayasa (engineering design method) yang meliputi identifikasi kebutuhan, perancangan perangkat keras, perancangan perangkat lunak menggunakan ladder diagram, implementasi sistem, serta pengujian kinerja. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu mengendalikan arah putaran motor secara otomatis menggunakan logika interlocking, timer, dan counter. Motor beroperasi dengan urutan forward selama 8 detik, berhenti selama 3 detik, kemudian beroperasi reverse selama 8 detik dan berhenti kembali selama 3 detik sebelum mengulangi siklus hingga tiga kali. Sistem interlocking berhasil mencegah aktifnya kontaktor forward dan reverse secara bersamaan sehingga meningkatkan keselamatan operasi. Selain itu, komunikasi antara PLC dan HMI berjalan dengan baik sehingga seluruh status input, output, timer, counter, serta indikator sistem dapat dipantau secara real-time. Berdasarkan hasil pengujian, seluruh fungsi sistem bekerja sesuai dengan rancangan dan menunjukkan tingkat keberhasilan operasi sebesar 100%.

Kata kunci: PLC Omron CP1L-L20DR-A, Motor Induksi Tiga Fasa, Forward-Reverse

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi otomasi industri pada era Revolusi Industri 4.0 telah mendorong peningkatan penggunaan sistem kendali otomatis yang memiliki tingkat keandalan tinggi, fleksibel, serta mudah dikembangkan sesuai kebutuhan proses produksi. Salah satu perangkat yang paling banyak digunakan dalam sistem otomasi industri adalah Programmable Logic Controller (PLC). PLC menggantikan sistem kendali konvensional berbasis relay karena memiliki kemampuan pemrograman yang lebih sederhana, mudah dimodifikasi, memiliki tingkat keandalan tinggi. [1] [2]

Motor induksi tiga fasa merupakan salah satu jenis motor listrik yang paling banyak digunakan pada sektor industri sebagai penggerak conveyor, pompa, kompresor, mesin produksi, maupun sistem transportasi material. Penggunaan motor induksi dipilih karena memiliki efisiensi tinggi, konstruksi sederhana, biaya pemeliharaan rendah, serta umur operasi yang panjang. Pada berbagai aplikasi industri, motor induksi tidak hanya beroperasi pada satu arah putaran, tetapi juga memerlukan perubahan arah putaran (forward-reverse) untuk mendukung proses produksi secara otomatis. Perubahan arah putaran tersebut dilakukan dengan menukar dua dari





tiga urutan fasa sumber tegangan yang masuk ke motor melalui dua buah kontaktor yang bekerja secara interlocking. [3] [4]

Sistem kendali forward-reverse yang masih menggunakan relay konvensional memiliki beberapa kelemahan. Kompleksitas pengawatan menyebabkan proses instalasi dan pemeliharaan menjadi lebih sulit, sedangkan perubahan logika kendali memerlukan modifikasi wiring yang cukup banyak. Selain itu, apabila sistem penguncian (interlocking) tidak dirancang dengan baik, terdapat kemungkinan kedua kontaktor aktif secara bersamaan sehingga dapat menyebabkan hubungan singkat antar fasa yang berpotensi merusak motor maupun komponen kendali. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya sistem kendali yang lebih fleksibel dan memiliki tingkat keselamatan operasi yang lebih tinggi. [5] [6]

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem kendali motor induksi menggunakan PLC pada berbagai aplikasi industri. Penelitian yang mengombinasikan fungsi timer, counter, electrical interlocking, dan monitoring visual dalam satu sistem pembelajaran masih relatif terbatas sehingga diperlukan pengembangan lebih lanjut. [7]

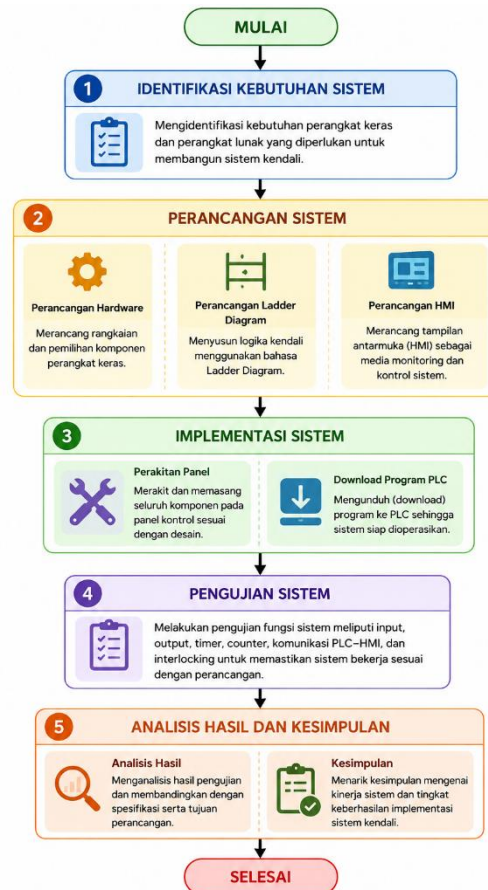
Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini mengusulkan Rancang Bangun Sistem Kendali Forward-Reverse Motor Induksi Tiga Fasa Berbasis PLC Omron CP1L-L20DR-A. Sistem yang dikembangkan tidak hanya mampu mengendalikan arah putaran motor secara otomatis, tetapi juga menyediakan fasilitas monitoring kondisi sistem secara real-time, pengendalian melalui antarmuka grafis, serta penerapan electrical interlocking untuk meningkatkan keamanan operasi. Selain digunakan sebagai simulasi sistem kontrol industri, perangkat yang dikembangkan juga dirancang sebagai media pembelajaran pada praktikum otomasi industri sehingga mahasiswa dapat memahami implementasi PLC dan sistem kendali motor induksi secara terpadu. [8] [9] [10]

Adapun tujuan penelitian ini adalah (1) merancang sistem kendali forward-reverse motor induksi tiga fasa berbasis PLC Omron CP1L-L20DR-A, (2) mengevaluasi kinerja sistem berdasarkan hasil pengujian fungsi input-output, timer, counter, interlocking, dan arah putaran motor..

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode **Research and Development (R&D)** dengan pendekatan **Engineering Design Method (EDM)**. Metode ini dipilih karena penelitian berfokus pada proses perancangan, pembuatan, implementasi, dan pengujian sistem kendali forward–reverse motor induksi tiga fasa berbasis **Programmable Logic Controller (PLC) Omron CP1L-L20DR-A**. Pendekatan EDM memungkinkan setiap tahapan pengembangan dilakukan secara sistematis, mulai dari identifikasi kebutuhan hingga evaluasi kinerja sistem yang telah dibangun.

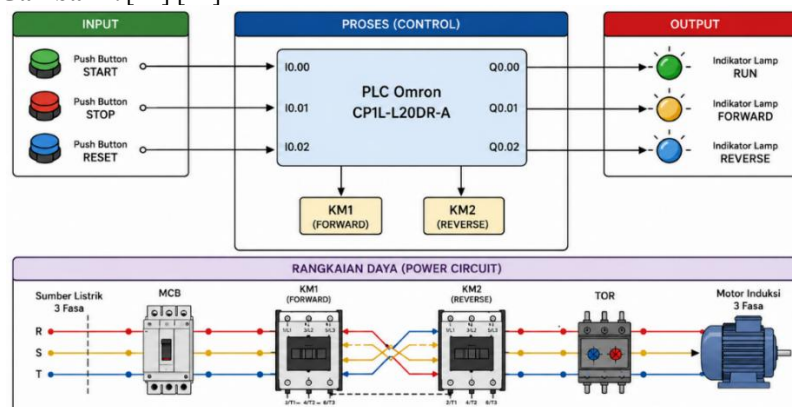




Gambar 1: Diagram Alir Penelitian

Proses penelitian diawali dengan identifikasi kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak yang diperlukan untuk membangun sistem kendali. Hasil identifikasi tersebut menjadi dasar dalam proses perancangan sistem, implementasi perangkat keras dan perangkat lunak, pengujian fungsi, serta evaluasi hasil. Keseluruhan tahapan penelitian disajikan pada **Gambar 1**.

Berdasarkan tahapan tersebut, sistem kemudian dirancang dalam bentuk arsitektur yang terdiri atas dua bagian utama, yaitu **sistem kendali (control system)** dan **sistem daya (power system)**. Pada sistem kendali, PLC Omron CP1L-L20DR-A menerima sinyal masukan dari tombol Start, Stop, dan Reset, kemudian memproses logika kendali untuk mengaktifkan kontaktor **Forward (KM1)** atau **Reverse (KM2)** sesuai dengan program yang telah dibuat. Selanjutnya, pada sistem daya, kedua kontaktor mengendalikan perubahan urutan dua fasa sehingga arah putaran motor induksi tiga fasa dapat berubah sesuai perintah dari PLC. Arsitektur sistem secara keseluruhan ditunjukkan pada **Gambar 2**. [11] [12]



Gambar 2: Blok Diagram Sistem Kendali Forward Reverse Motor

Untuk merealisasikan arsitektur sistem tersebut digunakan beberapa komponen yang berfungsi sebagai perangkat kendali, proteksi, aktuatur, dan antarmuka sistem. Seluruh komponen dipilih berdasarkan kebutuhan

implementasi sistem kendali motor induksi tiga fasa berbasis PLC. Spesifikasi perangkat keras yang digunakan disajikan pada **Tabel 1**, sedangkan seluruh komponen tersebut dirakit ke dalam sebuah panel kontrol yang berfungsi sebagai media pembelajaran otomasi industri sekaligus sebagai sarana implementasi dan pengujian sistem kendali.

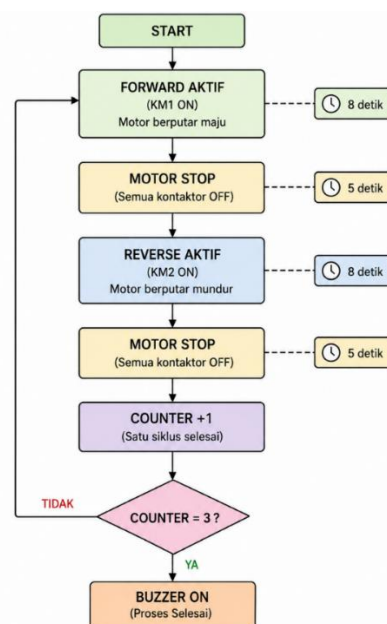
Tabel 1: Spesifikasi Perangkat Keras

No	Komponen	Spesifikasi
1	PLC	Omron CP1L-L20DR-A
2	Motor	Motor Induksi 3 Fasa 1 HP
3	Magnetic Contactor	Schneider LC1D09
4	Thermal Overload Relay	Schneider LRD10
5	MCB	3 Pole
6	Push Button	Start, Stop, Reset
7	Pilot Lamp	220 VAC
8	Buzzer	220 VAC
9	Power Supply	220 VAC

Setelah perangkat keras selesai dirancang, tahap berikutnya adalah pengembangan perangkat lunak menggunakan **CX-Programmer** dengan bahasa pemrograman **Ladder Diagram (LD)**. Program disusun secara modular yang meliputi fungsi **Start-Stop**, **self holding**, kendali **forward**, kendali **reverse**, **timer**, **counter**, **buzzer**, **reset counter**, dan **interlocking**. Fungsi **Start-Stop** digunakan untuk mengendalikan operasi sistem, sedangkan **self holding** mempertahankan kondisi operasi setelah tombol **Start** dilepas. Modul **timer** mengatur lama operasi motor beserta waktu jeda perpindahan arah putaran, sementara **counter** digunakan untuk menghitung jumlah siklus operasi. Setelah jumlah siklus yang ditentukan tercapai, **buzzer** akan aktif sebagai indikator bahwa proses telah selesai. [13]

Untuk meningkatkan keamanan pengoperasian, sistem menerapkan **electrical interlocking** melalui kontak bantu kontaktor dan **software interlocking** pada logika Ladder Diagram. Kombinasi kedua metode tersebut memastikan kontaktor **KM1** dan **KM2** tidak dapat aktif secara bersamaan sehingga risiko hubungan singkat (short circuit) antar fasa maupun kerusakan pada kontaktor dan motor induksi dapat dihindari.

Program yang telah dikembangkan kemudian diimplementasikan ke dalam PLC untuk mengendalikan urutan operasi sistem. Ketika tombol **Start** ditekan, kontaktor **Forward (KM1)** aktif sehingga motor berputar ke arah maju selama **8 detik**, kemudian berhenti selama **5 detik**. Setelah waktu jeda berakhir, kontaktor **Reverse (KM2)** diaktifkan sehingga motor berputar ke arah berlawanan selama **8 detik**, kemudian kembali berhenti selama **5 detik**. Pada akhir setiap siklus, nilai **counter** bertambah satu. Siklus operasi akan terus diulang hingga nilai counter mencapai tiga, kemudian **buzzer** diaktifkan sebagai indikator bahwa seluruh proses telah selesai. Waktu jeda selama **5 detik** diterapkan untuk memastikan motor berhenti sepenuhnya sebelum pembalikan arah putaran sehingga sistem dapat beroperasi dengan lebih aman dan andal. Diagram urutan operasi sistem ditunjukkan pada **Gambar 3**.



Gambar 3: Diagram Operasi Sistem

Setelah implementasi selesai dilakukan, sistem diuji menggunakan metode **black-box testing** untuk memastikan seluruh fungsi bekerja sesuai dengan spesifikasi yang telah dirancang. Pengujian dilakukan terhadap fungsi tombol **Start**, **Stop**, dan **Reset**, pengoperasian kontaktor **Forward** dan **Reverse**, fungsi **timer**, **counter**, **buzzer**, **lampu indikator**, komunikasi antara **PLC** dan **HMI**, mekanisme **interlocking**, serta kesesuaian arah putaran motor induksi tiga fasa. Seluruh hasil pengujian kemudian dianalisis untuk menentukan tingkat keberhasilan implementasi sistem menggunakan Persamaan (1).

$$\text{Keberhasilan Sistem (\%)} = \frac{\text{Jumlah Seluruh Pengujian}}{\text{Jumlah Pengujian Berhasil}} \times 100\% \quad (1)$$

Persamaan tersebut digunakan untuk menghitung persentase keberhasilan sistem berdasarkan perbandingan antara jumlah skenario pengujian yang berhasil dengan jumlah keseluruhan skenario pengujian yang dilakukan. Nilai persentase yang diperoleh menjadi indikator bahwa sistem telah memenuhi spesifikasi perancangan dan layak digunakan sebagai media pembelajaran maupun pengujian sistem kendali motor induksi tiga fasa.

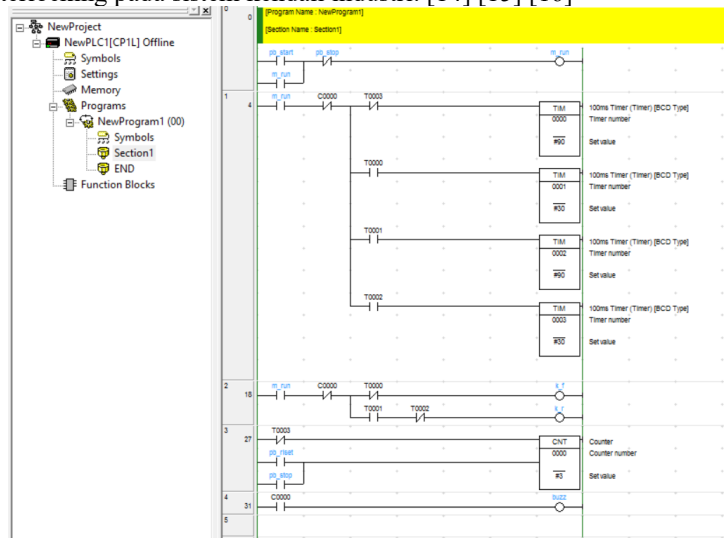
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan sebuah **panel sistem kendali forward–reverse motor induksi tiga fasa** berbasis **PLC Omron CP1L-L20DR-A** yang dirancang sebagai media pembelajaran sekaligus sarana pengujian sistem otomasi industri. Panel kontrol mengintegrasikan berbagai komponen utama, yaitu *PLC*, *Magnetic Contactor*, *Thermal Overload Relay (TOR)*, *Miniature Circuit Breaker (MCB)*, *push button*, lampu indikator, *buzzer*, terminal block, serta motor induksi tiga fasa ke dalam satu sistem yang terintegrasi. Integrasi tersebut memungkinkan seluruh perangkat bekerja secara terpadu sesuai dengan fungsi kendali dan proteksi yang telah dirancang.



Gambar 4: Tampilan Fisik Panel Kontrol Forward Reverse Motor Induksi Tiga Fasa

Selain menghasilkan panel kontrol, penelitian ini juga menghasilkan sebuah modul pembelajaran yang dapat dimanfaatkan pada praktikum **Programmable Logic Controller (PLC)** maupun **Sistem Kendali Industri**. Melalui modul tersebut, mahasiswa dapat mempelajari prinsip kerja sistem kendali motor induksi tiga fasa, mulai dari pengoperasian rangkaian forward–reverse, implementasi logika Ladder Diagram, hingga penerapan fungsi timer, counter, dan interlocking pada sistem kendali industri. [14] [15] [16]



Gambar 5: Tampilan Ladder Diagram untuk Kontrol Forward Reverse Otomatis

Keberhasilan implementasi perangkat keras dan perangkat lunak menjadi dasar untuk melakukan pengujian sistem secara menyeluruh. Seluruh komponen yang telah diintegrasikan kemudian diuji untuk memastikan setiap fungsi mampu bekerja sesuai dengan spesifikasi dan logika pengendalian yang telah dirancang.

Pengujian sistem dilakukan menggunakan metode **black-box testing** untuk memverifikasi bahwa seluruh fungsi sistem memberikan keluaran yang sesuai terhadap setiap masukan yang diberikan. Pengujian meliputi



fungsi input, output, timer, counter, buzzer, interlocking, komunikasi antara PLC dan HMI, serta arah putaran motor induksi tiga fasa. Hasil pengujian setiap fungsi disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2: Hasil Pengujian Fungsi Sistem

No	Parameter Pengujian	Hasil Pengujian	Status
1	Push Button START	Motor beroperasi	Berhasil
2	Push Button STOP	Motor berhenti	Berhasil
3	Push Button RESET	Counter kembali nol	Berhasil
4	Forward Contactor	Aktif sesuai program	Berhasil
5	Reverse Contactor	Aktif sesuai program	Berhasil
6	Timer Forward	8 detik	Berhasil
7	Delay Stop	5 detik	Berhasil
8	Timer Reverse	8 detik	Berhasil
9	Counter	3 siklus	Berhasil
10	Buzzer	Aktif setelah siklus selesai	Berhasil
11	Interlocking	Tidak terjadi kontak bersamaan	Berhasil

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 2, seluruh fungsi sistem berhasil beroperasi sesuai dengan rancangan. Tombol Start, Stop, dan Reset mampu menjalankan fungsinya dengan baik, sedangkan kontaktor Forward dan Reverse aktif sesuai urutan operasi yang telah diprogram. Selain itu, fungsi timer, counter, buzzer, serta mekanisme interlocking juga bekerja sebagaimana yang diharapkan. Selama proses pengujian tidak ditemukan kegagalan operasi maupun konflik logika sehingga tingkat keberhasilan implementasi sistem mencapai 100% berdasarkan seluruh skenario pengujian yang dilakukan. Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa sistem telah memenuhi spesifikasi fungsional sehingga layak untuk dianalisis lebih lanjut dari aspek urutan operasi dan mekanisme pengaman yang diterapkan.

Berdasarkan hasil pengujian, sistem mampu menjalankan urutan operasi secara otomatis sesuai dengan logika Ladder Diagram yang telah dirancang. Ketika tombol Start ditekan, PLC mengaktifkan kontaktor Forward (KM1) sehingga motor induksi berputar ke arah maju (forward) selama 8 detik. Setelah waktu operasi tercapai, PLC menonaktifkan KM1 dan memberikan waktu jeda selama 5 detik untuk memastikan motor berhenti sepenuhnya sebelum terjadi perubahan arah putaran.

Setelah waktu jeda berakhir, PLC mengaktifkan kontaktor Reverse (KM2) sehingga motor berputar ke arah berlawanan selama 8 detik. Ketika operasi reverse selesai, motor kembali dihentikan selama 5 detik sebelum satu siklus dinyatakan selesai. Pada akhir setiap siklus, nilai counter bertambah satu dan sistem secara otomatis mengulangi proses hingga jumlah siklus mencapai tiga kali.

Setelah nilai counter mencapai tiga, PLC menghentikan seluruh proses operasi dan mengaktifkan buzzer sebagai indikator bahwa siklus pengendalian telah selesai. Hasil tersebut menunjukkan bahwa seluruh urutan operasi berhasil dijalankan secara konsisten tanpa penyimpangan terhadap logika program yang telah dirancang.

Keberhasilan urutan operasi sistem tidak terlepas dari penerapan mekanisme interlocking yang berfungsi sebagai sistem pengaman. Pada penelitian ini digunakan kombinasi electrical interlocking melalui kontak bantu Normally Closed (NC) pada kontaktor serta software interlocking yang diimplementasikan pada program Ladder Diagram. Kedua mekanisme tersebut saling melengkapi dalam mencegah kontaktor Forward (KM1) dan Reverse (KM2) aktif secara bersamaan.

Selama seluruh proses pengujian tidak ditemukan kondisi ketika kedua kontaktor bekerja secara simultan. Hal tersebut menunjukkan bahwa logika program PLC dan rangkaian kontrol mampu menjalankan fungsi proteksi sesuai prinsip keselamatan operasi pada sistem kendali motor induksi tiga fasa. Dengan demikian, potensi terjadinya hubungan singkat antar fasa akibat pengaktifan kedua kontaktor secara bersamaan dapat dihindari sehingga keandalan dan keamanan sistem menjadi lebih baik.

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian yang telah dilakukan, sistem kendali yang dikembangkan mampu menjalankan seluruh fungsi sesuai dengan spesifikasi perancangan. Penggunaan PLC Omron CP1L-L20DR-A memberikan fleksibilitas yang lebih tinggi dibandingkan sistem kendali konvensional berbasis relay, karena perubahan logika pengendalian dapat dilakukan melalui modifikasi program Ladder Diagram tanpa harus mengubah konfigurasi pengawatan. Kondisi tersebut memberikan keuntungan dalam aspek pemeliharaan, pengembangan sistem, maupun efisiensi waktu implementasi. [17] [18]

Integrasi Human Machine Interface (HMI) juga memberikan nilai tambah terhadap sistem yang dikembangkan. Melalui HMI, operator dapat melakukan pengoperasian sekaligus memantau kondisi sistem secara real-time, seperti status motor, kondisi input dan output PLC, indikator operasi, serta penyelesaian siklus kerja. Kemudahan tersebut menjadikan sistem lebih informatif dan lebih mudah digunakan dibandingkan panel kontrol konvensional yang hanya mengandalkan tombol dan lampu indikator.





Selain itu, penerapan fungsi timer, counter, dan interlocking berhasil meningkatkan tingkat otomatisasi sekaligus keamanan sistem. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh urutan operasi dapat dijalankan secara konsisten tanpa konflik logika maupun kesalahan perpindahan arah putaran. Dengan tingkat keberhasilan pengujian mencapai 100%, sistem yang dikembangkan menunjukkan kinerja yang andal sehingga layak digunakan sebagai media pembelajaran PLC, sistem kendali industri, maupun simulasi pengoperasian motor induksi tiga fasa pada laboratorium otomasi.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem kendali forward–reverse motor induksi tiga fasa berbasis Programmable Logic Controller (PLC) Omron CP1L-L20DR-A yang mampu mengintegrasikan fungsi pengendalian, proteksi, dan monitoring dalam satu sistem. Implementasi logika Ladder Diagram yang terdiri atas fungsi Start–Stop, timer, counter, buzzer, serta interlocking memungkinkan sistem menjalankan urutan operasi secara otomatis sesuai dengan rancangan.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh fungsi sistem bekerja dengan baik, meliputi tombol Start, Stop, dan Reset, kontaktor Forward dan Reverse, timer, counter, buzzer, serta lampu indikator. Sistem juga mampu menjalankan siklus operasi secara otomatis dengan urutan putaran forward selama 8 detik, berhenti selama 5 detik, dilanjutkan putaran reverse selama 8 detik, kemudian berhenti kembali selama 5 detik hingga mencapai tiga siklus operasi. Selain itu, penerapan electrical interlocking dan software interlocking berhasil mencegah kedua kontaktor aktif secara bersamaan sehingga meningkatkan keamanan pengoperasian motor induksi tiga fasa.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan memiliki tingkat keandalan yang baik dan layak digunakan sebagai media pembelajaran Programmable Logic Controller (PLC), sistem kendali industri, serta simulasi pengoperasian motor induksi tiga fasa di laboratorium otomasi. Untuk pengembangan selanjutnya, sistem dapat diintegrasikan dengan Variable Frequency Drive (VFD) untuk pengaturan kecepatan motor, teknologi Internet of Things (IoT) untuk pemantauan jarak jauh, serta fitur data logging dan predictive maintenance sehingga dapat diterapkan pada sistem otomasi industri yang lebih kompleks.

Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi berupa pengembangan panel kendali berbasis PLC yang tidak hanya memenuhi fungsi pengendalian motor induksi tiga fasa, tetapi juga dapat dimanfaatkan sebagai media pembelajaran yang merepresentasikan penerapan sistem otomasi industri secara nyata.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Hughes and B. Drury, *Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types and Applications*, 5th ed. Oxford, U.K.: Elsevier, 2019.
- [2] Putra, "Studi analisa motor induksi tiga fasa dengan sumber tiga fasa," *Jurnal Elektriese*, vol. 5, no. 2, pp. 21–30, 2023.
- [3] S. M. Addiwani, A. Yhuto, and W. Putra, "Perancangan rangkaian forward–reverse pada motor tiga fasa," *Circuit: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, vol. 7, no. 1, pp. 97–105, 2023.
- [4] A. M. Prasetya, L. Sartika, and D. A. S. Andika, "Design and Implementation of a Forward-Reverse Double-Speed Three-Phase Induction Motor Control System Based on a Programmable Logic Controller," *Journal of Emerging Supply Chain, Clean Energy, and Process Engineering*, vol. 3, no. 2, 2024.
- [5] J. W. Webb and R. A. Reis, *Programmable Logic Controllers: Principles and Applications*, 6th ed. Hoboken, NJ, USA: Pearson, 2020.
- [6] F. D. Petruzella, *Programmable Logic Controllers*, 6th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2020.
- [7] "Peran kontaktor magnet dalam sistem pengaman motor induksi tiga fasa," *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro dan Informatika*, vol. 2, no. 1, pp. 33–41, 2024.
- [8] M. Muslimin and S. N. Jabir, "Implementation of Forward Reverse Control and Monitoring on Three Phase Motor with Siemens S7-1200 PLC Based on LabView HMI and OPC," *Journal of Electrical and Automation Technology (JEAT)*, vol. 2, no. 1, 2023.
- [9] Akbar, "Implementasi Human Machine Interface untuk panel Motor Control Center di PT Solusi Indosistem Otomat," *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, vol. 24, no. 2, pp. 112–121, 2023.
- [10] S. Sadi and S. Mulyati, "Implementasi Human Machine Interface pada mesin Heel Lasting berbasis Programmable Logic Controller," *Jurnal Teknik UMT*, vol. 9, no. 2, pp. 74–82, 2020.
- [11] Omron Corporation, *CP1L CPU Unit Operation Manual*. Kyoto, Japan: Omron Corporation, 2021.
- [12] Omron Corporation, *CX-Programmer Operation Manual*. Kyoto, Japan: Omron Corporation, 2022.





- [13] G. Wang, "A New Approach for PLC Ladder Diagram Design," in Proc. IEEE International Conference on Electro Information Technology (EIT), 2021.
- [14] M. P. Groover, Automation, Production Systems and Computer-Integrated Manufacturing, 5th ed. Hoboken, NJ, USA: Pearson, 2022.
- [15] I. M. Suginardha et al., "Enhancing Electric Motor Control of Electric Motor Installation in Indonesian Vocational Schools Using PLC and VSD Technology with HMI," Jurnal Edukasi Elektro, vol. 9, no. 1, pp. 77–92, 2025.
- [16] J. Lasso et al., "Flipping the Switch: Leveraging Pinball Machines to Teach PLC Programming and Control Systems," in Proc. Intermountain Engineering, Technology and Computing (IETC), IEEE, 2025.
- [17] F. Rachman and R. Rahmadewi, "Training Module of Inverter-Based Induction Motor Speed Control Using PLC and HMI," Aisyah Journal of Informatics and Electrical Engineering, vol. 5, no. 2, 2023.
- [18] Omron Corporation, CX-Supervisor User Manual. Kyoto, Japan: Omron Corporation, 2022.

