

Desain dan Implementasi Sistem Kontrol Drilling and Reaming Machine Berbasis State Diagram menggunakan PLC Omron CP1L Dan Hmi SCADA CX-Supervisor

Wahidah¹, Taufik Muchtar², Atikah Tri Budi Utami³, Lutfi⁴, Hikma Tiyar⁵

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

Wahidah@atim.ac.id¹, Taufik@atim.ac.id², Atikah.tribudi@atim.ac.id³,
Lutfi@atim.ac.id⁴, 21OSP563@atim.ac.id⁵

ABSTRAK (Indonesia)

Mesin drilling and reaming merupakan aplikasi kritis dalam industri manufaktur yang memerlukan koordinasi sempurna antara multiple pneumatic cylinders. Penelitian ini bertujuan mengimplementasikan sistem kontrol pneumatik menggunakan metodologi state diagram dengan integrasi PLC Omron CP1L-L20DR-A dan HMI SCADA berbasis CX-Supervisor untuk meningkatkan efisiensi, keandalan, dan kemudahan monitoring operasional. Metode penelitian meliputi analisis displacement-step diagram, perancangan state machine dengan 6 state terkoordinasi, ekstraksi aljabar Boolean, implementasi ladder logic dengan timer stabilisasi 1 detik per state, simulasi menggunakan CX-Programmer, dan pengembangan HMI SCADA dengan CX-Supervisor untuk real-time monitoring. Hasil penelitian menunjukkan sistem berhasil diimplementasikan dengan sequence A+ B+ B- A- C+ C- yang stabil, menghasilkan cycle time konsisten 6-7 detik per siklus dengan success rate 100% pada 20 siklus pengujian. Implementasi timer 1 detik pada setiap transisi state mengeliminasi sensor bounce dan memastikan solenoid valve fully engaged. HMI SCADA berhasil menampilkan visualisasi real-time meliputi animated cylinder representation, state progression monitoring, sensor status display, output solenoid indication, dan comprehensive diagnostic alerts. Kesimpulan penelitian adalah pendekatan state diagram terintegrasi HMI menghasilkan sistem kontrol yang robust, predictable, reliable, dan user-friendly, serta memberikan best practices dalam pneumatic automation control untuk pendidikan teknologi rekayasa.

Kata kunci: state diagram, PLC Omron CP1L, pneumatic control, ladder logic, HMI SCADA.

ABSTRACT (English)

The drilling and reaming machine is a critical application in manufacturing industry requiring perfect coordination among multiple pneumatic cylinders. This research aims to implement pneumatic control systems using state diagram methodology with PLC Omron CP1L-L20DR-A integration and SCADA HMI based on CX-Supervisor to improve efficiency, reliability, and ease of operational monitoring. Research methods include displacement-step diagram analysis, state machine design with 6 coordinated states, Boolean algebra extraction, ladder logic implementation with 1-second stabilization timer per state, simulation using CX-Programmer, and SCADA HMI development with CX-Supervisor for real-time monitoring. Results show the system successfully implemented with stable A+ B+ B- A- C+ C- sequence, producing consistent 6-7 second cycle time per operation with 100% success rate in 20 test cycles. 1-second timer implementation on each state transition eliminates sensor bounce and ensures solenoid valve full engagement. SCADA HMI successfully displays real-time visualization including animated cylinder representation, state progression monitoring, sensor status display, output solenoid indication, and comprehensive diagnostic alerts. The conclusion is that state diagram approach integrated with HMI produces control systems that are robust, predictable, reliable, and user-friendly, providing best practices in pneumatic automation control for engineering technology education.

Keywords: state diagram, Omron PLC CP1L, pneumatic control, ladder logic, HMI SCADA.

PENDAHULUAN

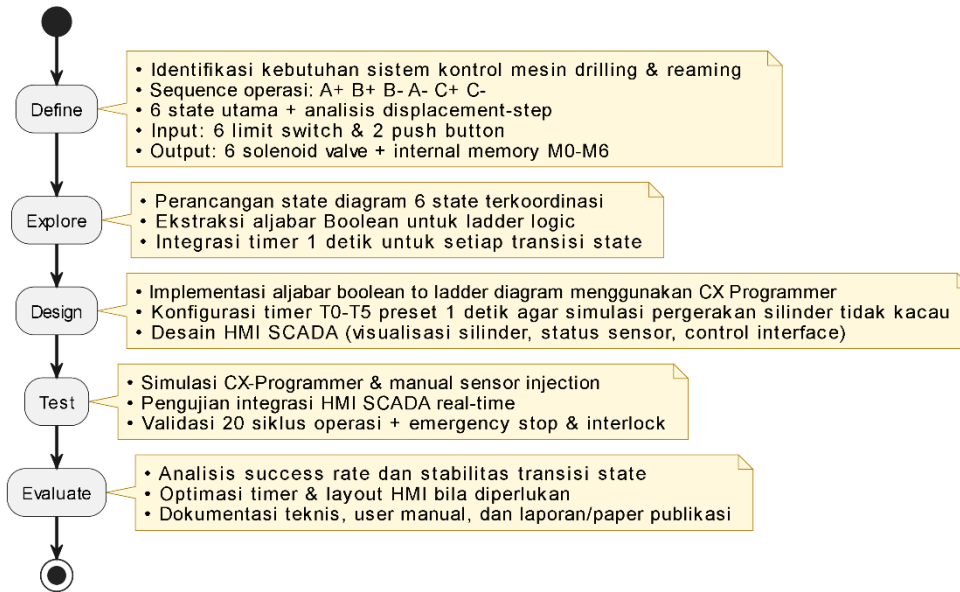
Penerapan otomasi pada mesin pemesinan seperti Drilling and Reaming Machine telah dipandang sebagai komponen penting dalam industri manufaktur modern karena akurasi proses, produktivitas, konsistensi kualitas, dan pengurangan keterlibatan operator secara langsung dapat diwujudkan melalui sistem yang terotomasi dengan baik. Namun, perancangan logika kontrol pada mesin yang memiliki banyak urutan proses sering kali dianggap menantang akibat kompleksitas koordinasi sensor, aktuator, dan pelaksanaan operasi sekuensial yang harus berjalan tepat tanpa tumpang tindih. Kompleksitas tersebut semakin terlihat pada studi kasus Festo Didactic TP 202 Electro-Pneumatics Workbook Advanced Level, di mana sistem elektropneumatik pada drilling and reaming machine dikategorikan kompleks karena dikendalikan melalui koordinasi tiga silinder pneumatik yang harus beroperasi secara berurutan agar alur operasi tidak terganggu. Pada sistem ini, workpiece diposisikan oleh positioning cylinder (A), kemudian proses pengeboran dilakukan oleh drilling cylinder (B), dan tahap finishing reaming pada lubang hasil pengeboran diselesaikan oleh reaming cylinder (C), sehingga keseluruhan operasi sangat bergantung pada ketepatan urutan gerak ketiga aktuator tersebut untuk memastikan keluaran sistem tetap stabil dan memenuhi standar kualitas manufaktur. [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7]

Untuk mengatasi tantangan tersebut, metode state diagram telah dipandang sebagai pendekatan pemodelan formal yang mampu menggambarkan urutan keadaan sistem secara visual dan terstruktur sehingga penyusunan logika kontrol dapat dilakukan dengan lebih jelas serta risiko kesalahan implementasi pada ladder diagram PLC dapat diminimalkan. Keandalan transisi operasi juga diperkuat melalui integrasi timer untuk memberikan stabilisasi pada setiap perubahan state, sehingga siklus sistem pneumatik dapat dieksekusi secara konsisten. Selain itu, penerapan Human Machine Interface (HMI) berbasis Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) dianggap mampu meningkatkan keterbacaan proses secara real time sekaligus mengurangi peluang kesalahan operator melalui penyediaan informasi visual dan diagnostik yang lebih intuitif. [1], [2], [5], [8], [9],

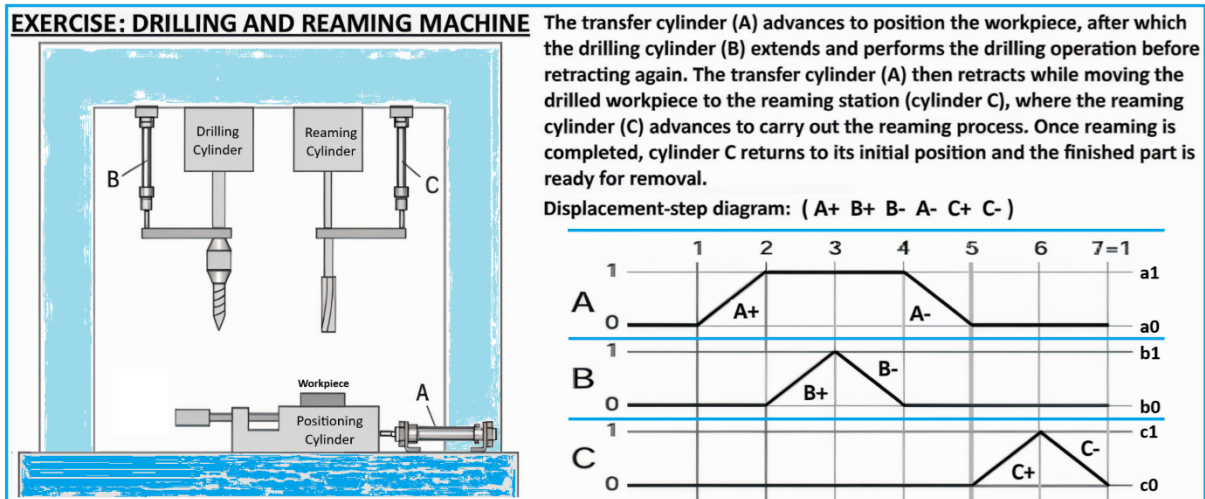
Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini diarahkan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem kontrol Drilling and Reaming Machine berbasis state diagram menggunakan PLC Omron CP1L, dengan dukungan antarmuka pemantauan dan pengendalian melalui HMI SCADA CX-Supervisor guna menyinkronkan logika ladder dan eksekusi berbasis state sehingga sistem kontrol dapat diwujudkan secara stabil, terstruktur, dan mudah di-debug. Seluruh perancangan dan implementasi dalam penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan best practices dalam bidang automation control dengan penekanan pada visualisasi SCADA, sekaligus memberikan kontribusi sebagai media edukatif yang relevan bagi mahasiswa Program Studi Otomasi Sistem Pemesinan.

METODE PENELITIAN

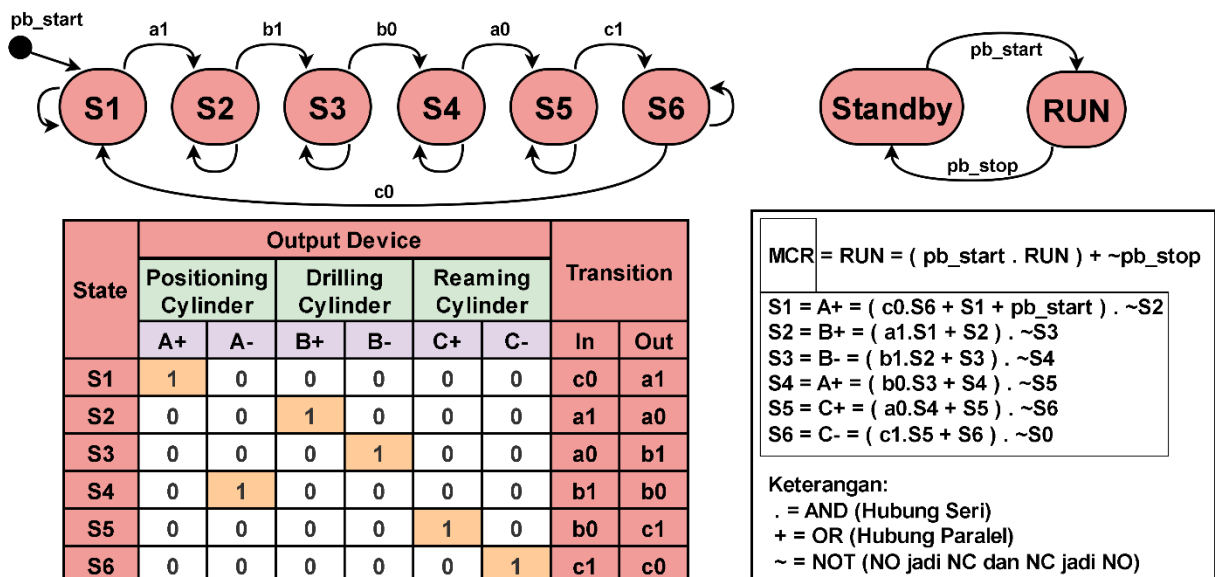
Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini merupakan metode penelitian pengembangan (Research and Development) yang ditujukan untuk menghasilkan produk sekaligus menguji efektivitasnya, di mana produk yang dikembangkan berupa sistem kontrol pneumatik pada mesin drilling and reaming dengan tiga silinder berbasis PLC Omron CP1L-L20DR-A melalui pendekatan state diagram yang terintegrasi dengan HMI SCADA CX-Supervisor sehingga rancangan kontrol sekuensial dapat diwujudkan secara terstruktur, interaktif, dan mudah dipantau maupun diuji. Pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium Otomasi Sistem Pemesinan Politeknik ATI Makassar selama empat bulan dengan memanfaatkan perangkat keras dan perangkat lunak laboratorium sebagai sarana implementasi dan validasi sistem, di mana komputer berbasis Windows 64-bit berprosesor Intel Core i5 digunakan untuk pemrograman PLC dan perancangan SCADA, sedangkan sistem aktuasi direalisasikan melalui tiga double-acting cylinder, enam katup 5/2 way valve double solenoid, enam limit switch, dua push button, suplai udara bertekanan dengan regulator, serta rangkaian selang dan konektor pneumatik sebagai pendukung, dan PLC Omron CP1L-L20DR-A dengan 12 digital inputs dan 8 digital outputs sebagai pusat pengendalian, sementara perancangan ladder diagram dilakukan menggunakan CX-Programmer versi 9.x dan antarmuka SCADA dikembangkan melalui CX-Supervisor versi 1.x dengan bantuan perangkat simulasi untuk memvalidasi performa logika sebelum diimplementasikan pada sistem fisik. Seluruh proses penelitian kemudian diarahkan mengikuti tahapan pengembangan DEDTE (Define, Explore, Design, Test, dan Evaluate) agar setiap langkah pelaksanaan berlangsung secara sistematis, terukur, dan dapat ditelusuri, yang dimulai dari identifikasi kebutuhan sistem dan karakteristik operasi mesin, dilanjutkan dengan eksplorasi perangkat keras dan perangkat lunak untuk memetakan parameter pengendalian, kemudian perancangan state diagram, konversi aljabar Boolean menjadi ladder diagram, dan desain HMI SCADA untuk diuji melalui proses verifikasi urutan operasi dan kondisi fault, hingga akhirnya dilakukan proses evaluasi terhadap stabilitas transisi state, respons aktuator, keamanan operasi, dan keterbacaan proses melalui SCADA guna memastikan tercapainya kinerja sistem sesuai tujuan penelitian dan kelayakannya sebagai media pembelajaran otomasi. [6], [10], [11], [12], [13]



Gambar 1. Visualisasi kode PlantUML dari Diagram alir penelitian



Gambar 2. Studi Kasus Drilling and Reaming beserta diagram langkahnya sebagai tahap Define



Gambar 3. Visualisasi kasus menggunakan State diagram dan ekstraksi eljabar boolean sebagai tahap explore

HASIL DAN PEMBAHASAN

Implementasi sistem menunjukkan bahwa pendekatan state diagram memperjelas koordinasi multi-proses drilling–reaming. Setiap state aktif hanya ketika kondisi sensor dan timer terpenuhi, sehingga transisi berlangsung deterministik. Hasil pengujian 20 siklus operasi menunjukkan success rate 100% tanpa cycle interruption.

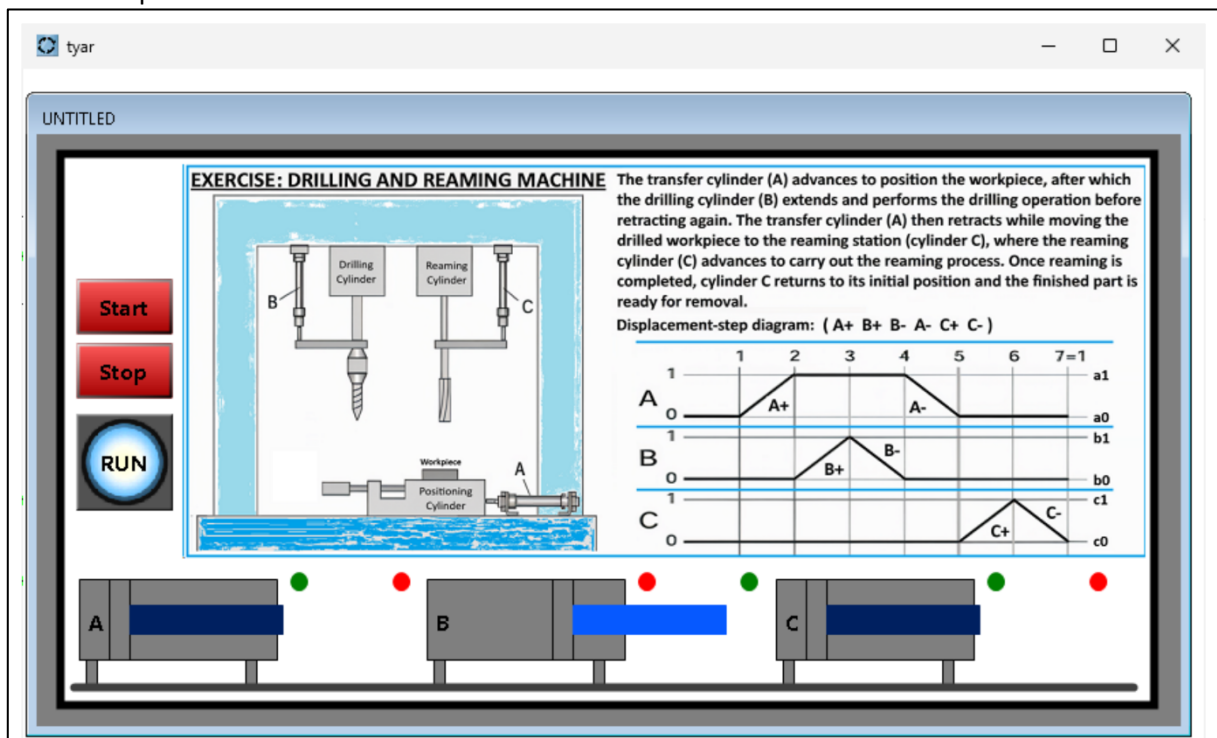
Tabel 1. Hasil Simulasi dan Validasi Sistem dengan HMI SCADA CX Supervisor

Test Scenario	Functional Aspect	HMI Display	Result
Normal operation	Sequence execution	Real-time animation	Valid (100%)
State transition	S1 → S2 → S3 → S4 → S5 → S6 → S1	Progress indication	Valid (100%)
Emergency stop	Immediate halt	System stopped	Valid (100%)
Sensor monitoring	Input status	LED indicators active	Valid (100%)
Timer monitoring	Delay visualization	Countdown accurate	Valid (100%)
Cycle counting	20 cycles test	Complete cycles	20/20 success

Tabel 2. Hasil Testing Simulasi CX-Programmer

Aspek Validasi	Hasil
State progression	S1 → S2 → ... → S6 → S1 verified
Akurasi timer	±50 ms (acceptable tolerance)
Race condition	Tidak ditemukan
Transisi state	Bersih dan stabil
Timing output	Sinkron dengan state

SCADA CX-Supervisor berhasil menampilkan status operasi secara real-time, termasuk animasi perubahan state dan alarm kesalahan. Operator dapat menjalankan Start/Stop Cycle, Manual Override, serta Emergency Stop tanpa pengaruh terhadap stabilitas sistem.



Gambar 4. Tampilan HMI SCADA untuk kasus Drilling and Reaming menggunakan CX Supervisor

Integrasi HMI berbasis CX-Supervisor berhasil menampilkan komunikasi real-time dengan PLC, di mana perubahan state, status sensor, dan kondisi aktuator dapat dipantau secara langsung tanpa jeda. Indikator LED pada tampilan memastikan monitoring limit switch berlangsung akurat, sementara status keluaran solenoid dan hitung mundur timer divisualisasikan secara presisi sesuai urutan proses. Animasi aktuator yang bergerak selaras dengan siklus operasi turut meningkatkan keterbacaan alur kerja sistem. Secara keseluruhan, antarmuka SCADA yang dikembangkan telah mampu menyediakan visualisasi yang profesional, mudah dipahami, serta mendukung pemantauan dan diagnostik sistem secara efisien.

Pembahasan

Integrasi antara state diagram, MCR, dan HMI SCADA dibuktikan efektif dalam menciptakan sistem otomasi yang robust, di mana visualisasi pada HMI SCADA tidak hanya dimanfaatkan untuk monitoring, tetapi juga digunakan sebagai tools debugging yang powerful sehingga masalah dapat diidentifikasi dengan cepat melalui tampilan visual yang jelas. Pada implementasinya, timer delay satu detik diterapkan untuk memberikan waktu stabilisasi mekanis pada silinder pneumatik sekaligus tetap menjaga responsivitas sistem. Seluruh proses tersebut berhasil dijalankan pada PLC Omron CP1L-L20DR-A, sehingga kemampuan hardware kelas entry-level telah terbukti mampu menangani aplikasi otomasi yang kompleks dengan dukungan integrasi HMI SCADA.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian dan diskusi yang telah diuraikan, dapat disimpulkan bahwa Sistem Kontrol Drilling and Reaming Machine Berbasis State Diagram menggunakan PLC Omron CP1L Dan HMI SCADA CX-Supervisor telah berhasil didesain dan diimplementasikan dengan kemampuan operasi yang stabil, mencapai tingkat keberhasilan 100% dalam 20 siklus pengujian, waktu siklus konsisten 6-7 detik, serta urutan kerja silinder yang tepat tanpa adanya tabrakan sinyal berkat penerapan timer 1 detik pada setiap pergantian state. Integrasi HMI SCADA juga berhasil menampilkan antarmuka yang mudah dipahami untuk memantau kondisi mesin secara langsung. Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan untuk menambahkan fitur penyimpanan data produksi, mengembangkan sistem untuk beberapa mesin sekaligus, serta membuat modul pelatihan berbasis sistem ini untuk kebutuhan pendidikan di Program Studi Otomasi Sistem Permesinan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Al Mahdali, Lutfi and A. I. Amal. "Analisis Warehouse Storage Otomatis Berbasis Siemens S71200 dan Factory I/O". *JITSA (Jurnal Industri & Teknologi Samawa)* 5(2):96-101. 2024.
- [2] Azis, M. F., Lutfi and M. S. Amiruddin. "Development of DCS SCADA Module for Factory I/O Pick and Place XYZ Case Based on Siemens S7-1200 PLC and HMI Excel Link". *INTEK Jurnal Penelitian* 11(1):7-12. 2024.
- [3] Bolton, W. *Programmable Logic Controllers, Edition 6*. Elsevier Ltd. 2015.
- [4] Gazali, R., L. Fedianto, M. A. Permana and S. S. Utomo. "Perancangan Modul Latih Elektro Pneumatic Berbasis PLC". *Jurnal Elektro & Informatika Swadharma (JEIS)* 02:49-54. 2022.
- [5] Lutfi and S. Buwarda. "Development of DCS SCADA teaching module on a PID based Water Level Control case using Labview and Factory I/O". *Inspiration: Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi* 12(2):89-96. 2022.
- [6] Lutfi. *Modul Praktikum DCS dan SCADA*. Laboratorium Kontrol dan Otomasi Program Studi Otomasi Sistem Permesinan Politeknik ATI Makassar. 2022.
- [7] Rouff, H. W. C. **TP 202 Electro-Pneumatics Workbook Advanced Level**. Festo Didactic KG. 1994.
- [8] Muchtar, T., A. T. Utami, Lutfi and M. Nawir. "Pengembangan Sistem Interface Navigasi Fitur Berbasis Algoritma Diagram Keadaan untuk Efisiensi Jumlah Tombol pada Embedded System Terintegrasi". *e-Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri VIII*:105-109. 2021.
- [9] Muslimin, T. Muchtar, A. T. Utami, Lutfi and A. Husain. "Pengembangan Sistem Elektropneumatik Berbasis OPC dan IoT pada Kasus Clamping Unit for Grinding Menggunakan PLC Siemens S7-1200 dan Node-RED". *HEXAGON (Jurnal Teknik dan Sains)* 6(1):155-161. 2025.
- [10] Muchtar, T., Lutfi and Ilham. "Rancang Bangun Programmable Logic Controller dengan menggunakan Arduino Uno dan Aplikasi Soap Box Snap untuk SCADA Gateway Kualitas". *Majalah Teknik Industri* 26. 2018.
- [11] Lutfi and T. Muchtar. "Pengembangan Metode Perancangan Ladder Diagram pada Studi Kasus yang Menggunakan Fungsi Timer". *e-Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri VIII*:65-69. 2021.
- [12] Muchtar, T. and Lutfi. "Modul Praktikum Programmable Logic Controller (PLC) Omron CP1L-L20DR-A + CP1W-MAD11". *Politeknik ATI Makassar*. 2023.
- [13] Muchtar, T., A. T. Utami and Lutfi. "Design and Implementation of a Simple Quiz Bell System Using Omron PLC and SCADA CX-Supervisor". *JEAT: Journal of Electrical and Automation* 3(1):22-28. 2024.