

Development of Competency Testing Tools for IIoT-Based Pneumatic Control System Operation Clusters Using Siemens S71200 PLC and Node-Red

Taufik Muchtar¹, Atikah Tri Budi Utami², Lutfi³

^{1,2,3}Politeknik ATI Makassar

taufik@atim.ac.id¹, atikah.tribudi@atim.ac.id², lutfi@atim.ac.id

Abstract

The Polytechnic ATI Makassar emphasizes the importance of producing D3 graduates who meet industry needs through the Professional Certification Institute (LSP), which has developed 42 certification schemes for various study programs, including Mechanical System Automation. One prominent scheme is the Pneumatic Control System Operation Cluster, which refers to Indonesia's national competency standards in the processing industry. The ultimate goal is to prepare graduates to design Industrial Automation Systems, in line with the Making Indonesia 4.0 initiative. This research aims to develop a competency test tool based on IIoT, upgrading technology from conventional pneumatics to an electro-pneumatic system using PLC and a web-based HMI user interface using Node-Red. The research adopts a Research and Development (RnD) methodology with the DEDTE (Define, Explore, Design, Test, Evaluate) approach. The case studied is a Material Handling System using two cylinders with a sequence of A+ B+ A- B-, involving 16 I/O tags for the PLC. The initial state diagram design resulted in four states, which were then converted into five networks in the form of ladder diagrams. Kepware OPC Server was used to connect PLC tags to Node-Red, with communication test results showing Good Quality. The system development results demonstrate that the IIoT-based Pneumatic Control System can be controlled and monitored via a smartphone by accessing the Node-Red-based Web HMI.

Keyword: Competency Test, Control System, Pneumatics, IIoT, PLC, Node-Red.

Abstrak

Politeknik ATI Makassar menekankan pentingnya menghasilkan lulusan D3 yang sesuai dengan kebutuhan industri melalui Lembaga Sertifikasi Profesi (LSP), yang telah mengembangkan 42 skema sertifikasi untuk berbagai program studi, termasuk Otomasi Sistem Permesinan. Salah satu skema yang menonjol adalah Klaster Pengoperasian Sistem Kendali Pneumatik, yang mengacu pada standar kompetensi nasional Indonesia dalam industri pengolahan. Tujuan akhirnya adalah mempersiapkan lulusan untuk merancang Sistem Otomasi Industri, sejalan dengan inisiatif Making Indonesia 4.0. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alat uji kompetensi berbasis IIoT, meningkatkan teknologi dari pneumatik konvensional menjadi sistem elektropneumatik dengan menggunakan PLC dan antarmuka pengguna berbasis Web HMI menggunakan Node-Red. Penelitian ini mengadopsi metode penelitian pengembangan (RnD) dengan menggunakan metodologi DEDTE (Define, Explore, Design, Test, Evaluate). Kasus yang diteliti adalah Material Handling System menggunakan dua silinder dengan urutan A+ B+ A- B- dan sebanyak 16 tag I/O untuk PLC. Desain state diagram awal menghasilkan empat state, yang kemudian dikonversi menjadi lima network dalam bentuk ladder diagram. Kepware OPC Server digunakan untuk menghubungkan tag PLC ke Node-Red, dengan hasil pengujian komunikasi: Good Quality. Hasil pengembangan sistem menunjukkan bahwa sistem kontrol Pneumatik berbasis IIoT dapat dikendalikan dan dipantau melalui Smartphone dengan mengakses Web HMI berbasis Node-Red.

Kata kunci: Uji Kompetensi, Sistem Kendali, Pneumatik, IIoT, PLC, Node-Red

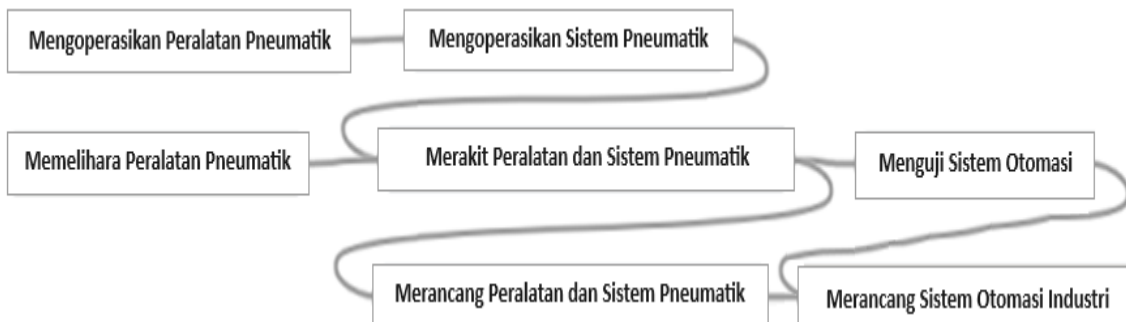
1. Pendahuluan

Politeknik ATI Makassar memiliki komitmen untuk menghasilkan lulusan diploma tiga yang memiliki kompetensi sesuai dengan kebutuhan industri, sejalan dengan misi Lembaga Sertifikasi Profesi (LSP) Politeknik ATI Makassar yang fokus pada penyelenggaraan uji kompetensi di bidang teknik industri sesuai dengan tuntutan dari dunia usaha dan industri.

Pada awal tahun 2024, LSP ini telah mengembangkan 42 skema sertifikasi yang terdiri dari empat program studi berbeda. Di antaranya, Program Studi Otomasi Sistem Permesinan memiliki 10 skema yang meliputi Okupasi Teknisi Muda Jaringan Komputer, Klaster Pemasangan Rangkaian Instalasi dan Kontrol Motor Listrik, Okupasi Hardware Design Engineer Junior Bidang Prototipe Elektronika, Klaster Pengoperasian Sistem Kendali Pneumatik, Klaster Pengolahan Data Science untuk Pengambilan Keputusan, Okupasi Foreman Bidang Otomasi Industri, Okupasi Schematic Designer Bidang Prototipe Elektronika, Okupasi Leader Bidang Otomasi Industri, serta KKNi Level 5 dan KKNi Level 6 di Bidang Otomasi Industri.

Kesepuluh skema ini merujuk pada enam SKKNI yang berbeda, yaitu SKKNI No.631 Tahun 2016, SKKNI No.211 Tahun 2019, SKKNI No.098 Tahun 2018, SKKNI No.109 Tahun 2018, SKKNI No.304 Tahun 2019, dan SKKNI No.299 Tahun 2020.

Klaster Pengoperasian Sistem Kendali Pneumatik adalah salah satu program yang mengacu pada Keputusan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia Nomor 631 Tahun 2016 tentang Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia dalam kategori Industri Pengolahan, khususnya dalam golongan mesin dan perlengkapan yang tidak diklasifikasikan di tempat lain (YTDL) di bidang Otomasi Industri. Program ini terdiri dari tujuh unit kompetensi yang saling terhubung dan dapat dipetakan ^{[1] [2] [3]} seperti yang dijelaskan dalam diagram berikut:

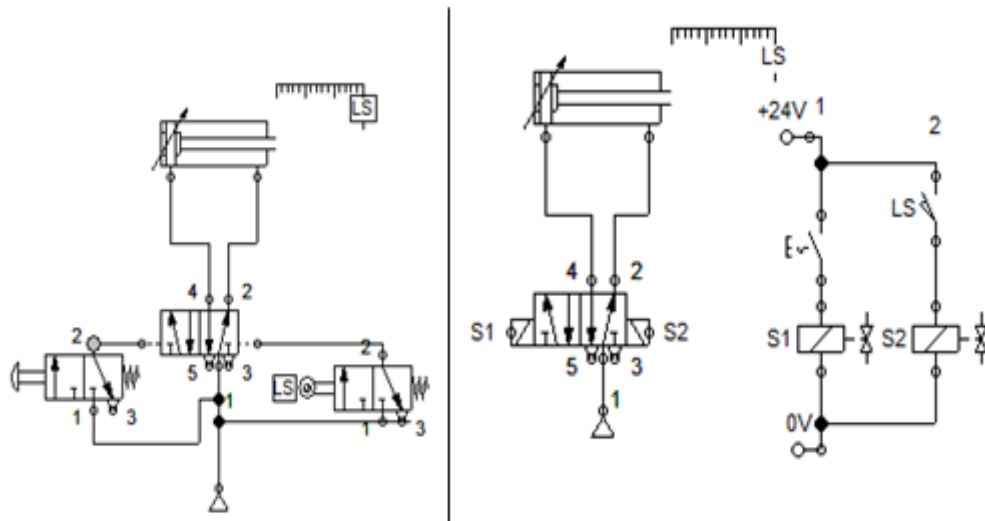


Gambar 1. Peta Kompetensi Klaster Pengoperasian Sistem Kendali Pneumatik

Gambar 1 menunjukkan bahwa tujuan akhir dari skema ini adalah kemampuan untuk merancang Sistem Otomasi Industri. Keterkaitan kompetensi ini dengan inisiatif Making Indonesia 4.0, sebuah program pemerintah yang dicanangkan oleh Kementerian Perindustrian RI untuk mempersiapkan Indonesia menghadapi era industri digital 4.0, menjadi landasan bagi penelitian ini. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alat uji kompetensi berbasis IIoT, yang sebelumnya terbatas pada pneumatik konvensional, menjadi sistem elektro pneumatik dengan integrasi PLC dan antarmuka pengguna berbasis Web HMI menggunakan Node-Red.

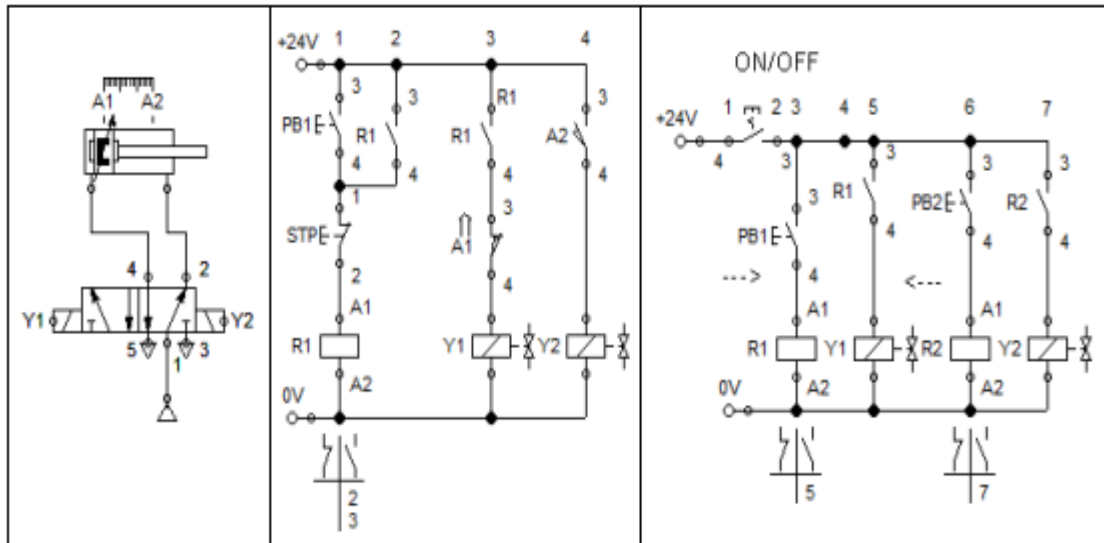
Pneumatik, hidrolik, dan elektronik memiliki peran sentral dalam perkembangan teknologi otomasi saat ini. Pneumatik khususnya mempelajari pemanfaatan udara bertekanan dalam industri, menjadi media utama untuk penggerak dan pengendali. Sistem pneumatik terdiri dari lima elemen utama: elemen sumber daya udara bertekanan, elemen input sensor, elemen pemroses sinyal, elemen pengendali, dan elemen output atau aktuator.

Elektropneumatik merupakan evolusi dari pneumatik yang menggunakan sinyal listrik untuk mengendalikan solenoid valve pada katup pneumatik, memungkinkan kontrol yang lebih presisi dan integrasi dengan sistem elektronik modern seperti PLC. Elektropneumatik menawarkan keunggulan dalam pengaturan posisi dan kecepatan gerakan yang akurat serta adaptabilitas tinggi terhadap perubahan kebutuhan produksi, menjadikannya pilihan utama dalam industri untuk meningkatkan efisiensi operasional dan tingkat keselamatan.



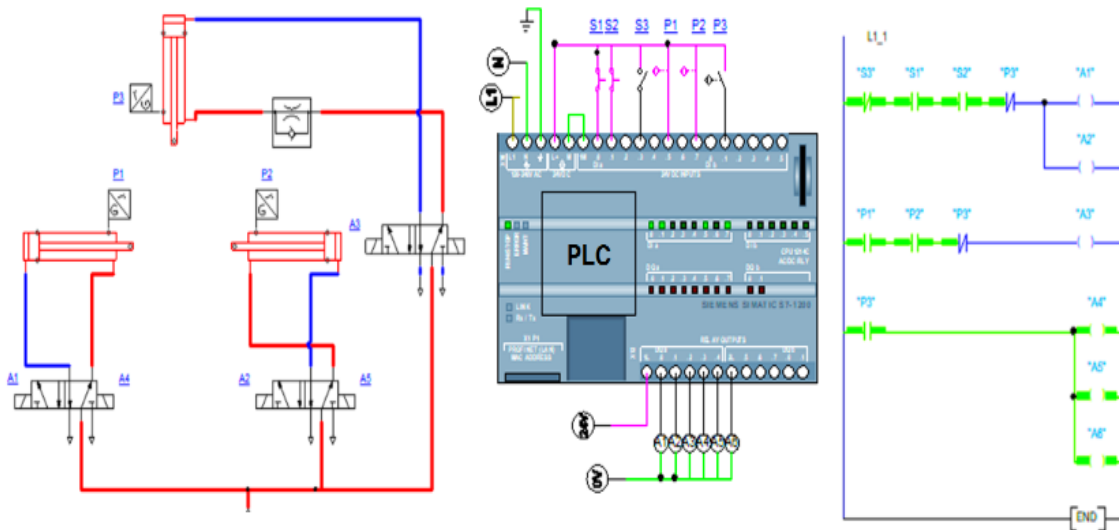
Gambar 2. Contoh rangkaian pneumatik (kiri) dan elektropneumatik (kanan) [4]

Gambar 2 menunjukkan rangkaian aktuator satu silinder menggunakan double acting cylinder sebagai actuating device. Sistem pneumatik menggunakan 5/2 valve untuk processing element dan pneumatikal limit switch untuk input elements, sedangkan sistem elektropneumatik menggunakan 5/2 solenoid valve dan electrical limit switch. Keduanya menggunakan air compressor, namun sistem elektropneumatik membutuhkan tambahan voltage supply (biasanya 24vdc) untuk mengoperasikan solenoid valve.



Gambar 3. Contoh rangkaian 1 silinder untuk mode auto (tengah) dan manual (kanan) [5]

Gambar 3 bagian kiri menunjukkan rangkaian aktuator menggunakan double acting cylinder, 5/2 solenoid valve, electrical limit switch, dan air compressor. Di bagian tengah dan kanan, ada rangkaian kontrol elektropneumatik untuk mode auto dan manual. Mode auto memiliki tombol start dan stop untuk menggerakkan silinder dengan bantuan dua limit switch. Mode manual menggunakan tombol terpisah untuk menggerakkan silinder maju dan mundur. Perbedaan antara kedua mode tersebut terletak pada jumlah relay kontaktor dan jalur rangkaian. Jika perlu mengganti jumlah silinder atau kombinasi gerakannya, akan dibutuhkan PLC untuk meningkatkan fleksibilitas dan efisiensi sistem kontrol.



Gambar 4. Contoh rangkaian Pneumatic Press Machine [6]

Gambar 4 menampilkan rangkaian pneumatik dengan tiga silinder double-acting di bagian kiri, masing-masing dilengkapi dengan 5/2 solenoid valve dan sensor proximity. Terdapat juga flow control valve dan air compressor. Bagian tengah menunjukkan PLC yang memiliki empat input (push button dan tiga proximity sensor untuk batas tiap silinder) serta enam output (Tiga solenoid valve, masing-masing dengan dua output).

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian pengembangan (Research and Development), ialah metode penelitian yang digunakan untuk menghasilkan produk tertentu, dan menguji keefektifan produk tersebut. Dalam penelitian ini produk yang dikembangkan ialah alat uji kompetensi untuk klaster pengoperasian sistem kendali pneumatik berbasis IIoT menggunakan PLC Siemens S71200 dan Node-Red.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kontrol dan Otomasi yang terletak di Politeknik ATI Makassar. Penelitian ini dilaksanakan selama empat bulan setelah kegiatan uji kompetensi pada skema terkait dan Memberi Kontribusi Validasi Asesment (MKVA). Dalam penelitian ini, beberapa alat dan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut:

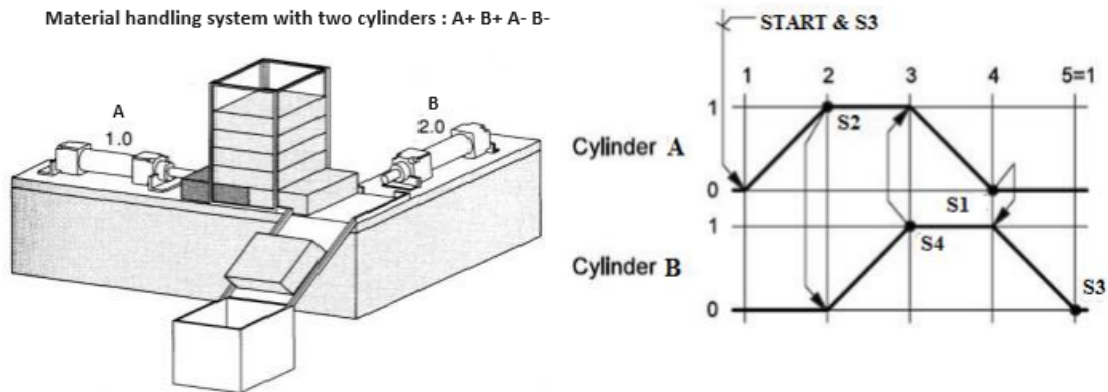
1. PC dengan Windows 64 bit, Intel Core i7 CPU 3.20GHz, RAM 16GB.
2. Double acting cylinder sebanyak dua buah.
3. 5/2 way valve with double solenoid sebanyak dua buah.
4. Limit switch atau Proximity switch sebanyak empat buah
5. Compressed air supply dan regulator sebanyak satu unit
6. Air flow control valve sebanyak empat buah
7. T junction pneumatic sebanyak satu buah
8. PLC Siemens S71200 CPU1214 AC/DC/Rly
9. PLC programming with Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal)
10. Festo FluidSIM Pneumatics Software Simulation
11. Kepware OPC Server (KepServerEx) include: TiaPortalExporter
12. Back End Programming : NodeJS
13. Node-Red (Pallette: node-red-contrib-opcua dan node-red-dashboard)

Penelitian ini melalui beberapa tahapan pengembangan menggunakan metodologi DEDTE atau Define, Explore, Design, Test dan Evaluate.



Gambar 5. Metodologi Pembelajaran dan Pengembangan Produk [7]

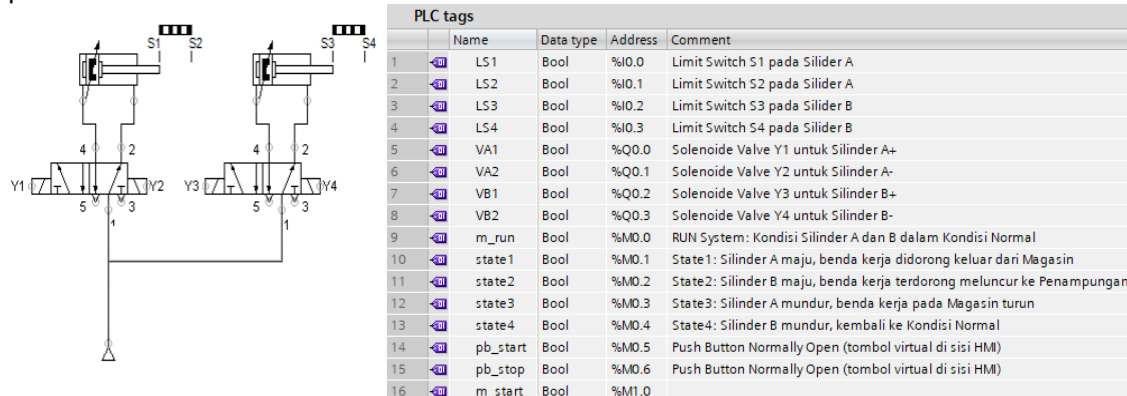
Pada Materi Uji Kompetensi (MUK) untuk klaster Pengoperasian Sistem kendali Pneumatik Skenario Tugas Demonstrasi dijelaskan di tahap Define:



Gambar 6. Sketsa Material Handling System beserta diagram langkahnya

Urutan kerja dari aktuator/silinder 1.0 (A) dan 2.0 (B) adalah sebagai berikut: Saat tombol SF1 ditekan, silinder A akan bergerak maju dan menyentuh limit switch S2. Kemudian, silinder B akan bergerak maju dan menyentuh limit switch S4. Setelah itu, silinder A akan bergerak mundur sampai menyentuh limit switch S1, diikuti oleh silinder B yang bergerak mundur hingga menyentuh limit switch S3. Deskripsi ini dapat disingkat sebagai A+ B+ A- B-.

Pada tahap Explore, dilakukan analisa kondisi kebutuhan I/O melalui rangkaian pneumatik dua silinder:



Gambar 7. Rangkaian Pneumatik beserta daftar I/O Tag

Gambar 7 menunjukkan rangkaian elektropneumatik dengan dua silinder, dua solenoid valve, dan empat limit switch. Di sebelah kanan terdapat daftar tag I/O yang mencakup empat digital input dari limit switch, empat digital output untuk solenoid valve, serta lima memori internal untuk algoritma diagram keadaan. Algoritma diagram keadaan ini mengubah model state diagram menjadi ladder diagram PLC [8] [9].

$$\text{state}_n = \text{MCR} \cdot [(\text{Tr}_{n-1} \cdot \text{state}_{n-1}) + \text{state}_n] \cdot \overline{\text{state}_{n+1}} \quad (1)$$

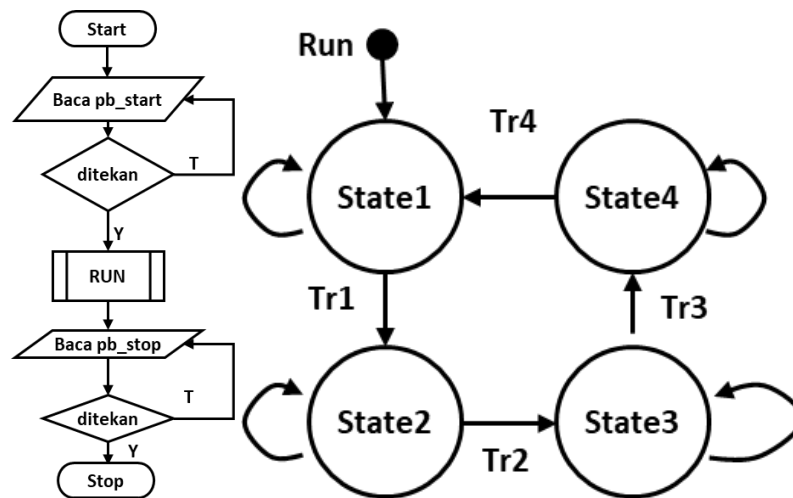
Rumus di atas adalah rumus konversi dari state diagram ke ladder diagram PLC untuk setiap State_n sebagai bit coil. Coil tersebut akan diaktifkan ketika kontak MCR-nya aktif, kombinasi kontak dari state dan transisi masuk aktif, serta kombinasi semua kontak state yang keluar tidak aktif.

Pada tahap Design, skenario kasus yang telah dijelaskan pada tahap Define akan diterjemahkan dalam bentuk State table dan state diagram seperti gambar 8 dan gambar 9.

Setelah tahap Design, sistem dikembangkan sesuai dengan desain yang tercantum pada gambar 9. Proses pengembangan dilakukan dengan melakukan pengujian (Test) sepanjang proses pengembangan berlangsung. Sistem kendali pneumatik berbasis IIoT ini dibagi menjadi beberapa subsistem, dan pengujian dilakukan secara parsial dan terintegrasi. Pada tahap pengujian parsial, simulasi dilakukan di level plant menggunakan FluidSIM Pneumatics, di level controller menggunakan Tiap Portal Simulation, dan di level pengawasan (Supervisory) menggunakan Node-Red. Selanjutnya pada tahap pengujian terintegrasi dilakukan Procedural Test atau pengujian tahapan operasional prosedur.

	State	Condition	Output Device				Output Transition	
			VA1	VA2	VB1	VB2	Tr1	Tr2
Start (FE)	State1	Kondisi Silinder A maju, benda kerja didorong keluar dari Magasin	1	0	0	0	Tr1	Limit Switch LS2 Aktif (S2)
	State2	Kondisi silinder B maju, benda kerja terdorong meluncur ke Penampungan	0	0	1	0	Tr2	Limit Switch LS4 Aktif (S4)
	State3	Kondisi silinder A mundur, benda kerja pada Magasin turun	0	1	0	0	Tr3	Limit Switch LS1 Aktif (S1)
	State4	Kondisi silinder B mundur, kembali ke Kondisi Normal	0	0	0	1	Tr4	Limit Switch LS3 Aktif (S3)

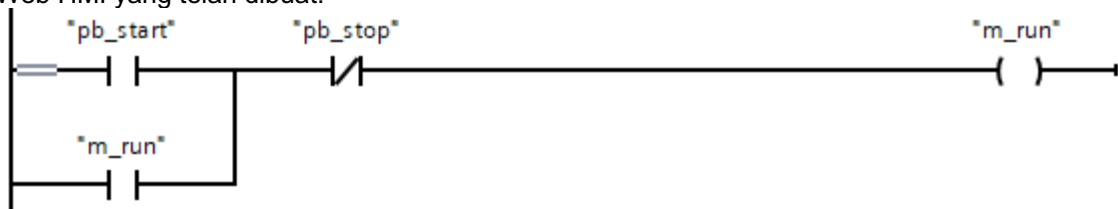
Gambar 8. Perancangan State Table untuk Material Handling System dua silinder



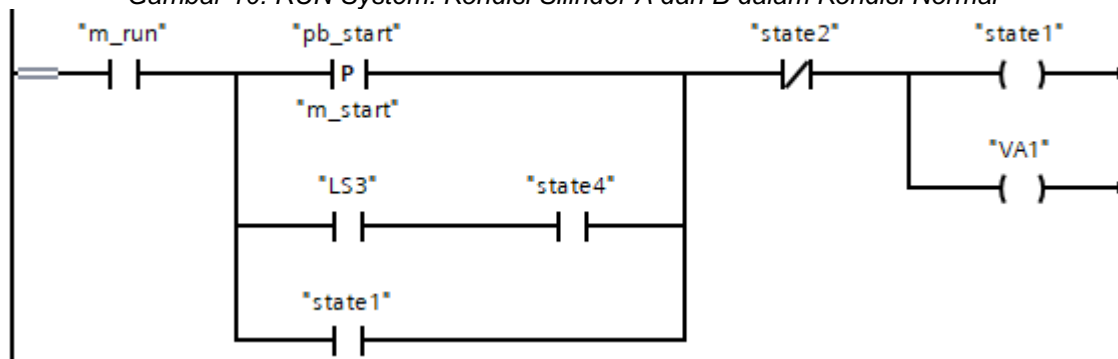
Gambar 9. Flowchart run system dan state diagram untuk material handling system

3. Hasil dan diskusi

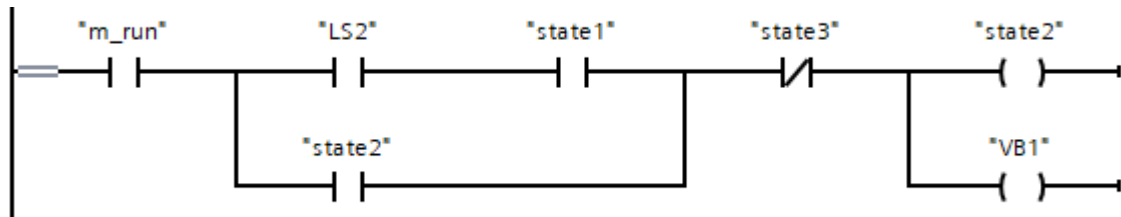
Pada gambar 10, tag m_run berfungsi sebagai Master Control Relay (MCR) untuk network atau RUNG lainnya dimana kedua tombol pb_start dan pb_stop dapat diakses melalui Web HMI yang telah dibuat.



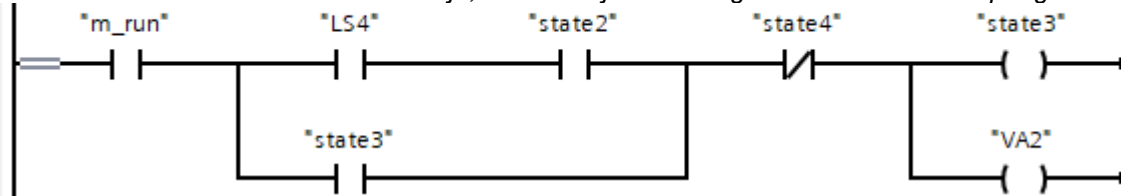
Gambar 10. RUN System: Kondisi Silinder A dan B dalam Kondisi Normal



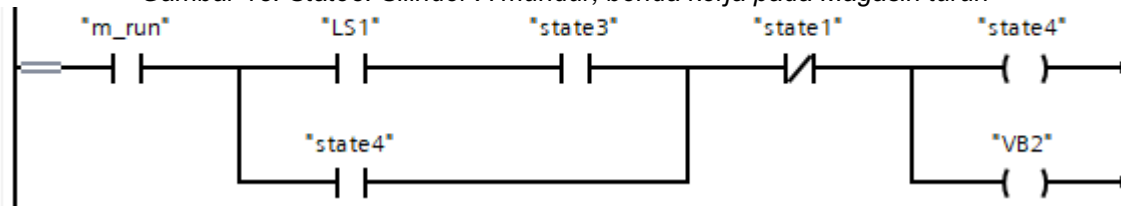
Gambar 11. State1: Silinder A maju, benda kerja didorong keluar dari Magasin



Gambar 12. State2: Silinder B maju, benda kerja terdorong meluncur ke Penampungan



Gambar 13. State3: Silinder A mundur, benda kerja pada Magasin turun



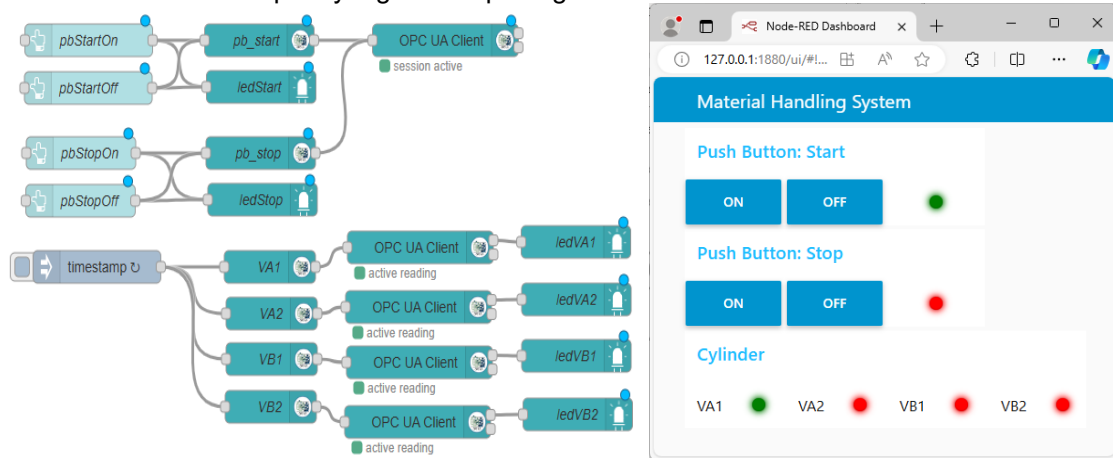
Gambar 14. State4: Silinder B mundur, kembali ke Kondisi Normal

Gambar 11 hingga 14 menunjukkan hasil konversi state diagram menjadi ladder diagram PLC. Setiap rung mewakili satu state dari diagram tersebut, dan setiap state mengontrol satu perangkat output sesuai dengan state tabel. Ladder diagram untuk setiap state mencakup konsep-konsep dasar seperti Latching, Interlock, dan Master Control Relay (MCR). Setelah pembuatan tag dan ladder, program tersebut diunduh dari PC dengan IP Address 192.168.5.34 ke PLC Siemens S71200 CPU1214 AC/DC/Rly yang memiliki IP Address 192.168.5.31. Selanjutnya, tag dibuat untuk OPC server menggunakan KepServerEx dari Kepware dengan bantuan TiaPortalExporter, seperti yang ditunjukkan dalam gambar 15 berikut.

Item ID	Data Type	V.	Timestamp	Quality
plcSiemens.plcS71200.atim.LS1	Boolean	0	10:38:43.477	Good
plcSiemens.plcS71200.atim.LS2	Boolean	0	10:38:43.477	Good
plcSiemens.plcS71200.atim.LS3	Boolean	0	10:38:43.477	Good
plcSiemens.plcS71200.atim.LS4	Boolean	0	10:38:43.477	Good
plcSiemens.plcS71200.atim.m_run	Boolean	0	10:38:43.477	Good
plcSiemens.plcS71200.atim.m_start	Boolean	0	10:38:43.477	Good
plcSiemens.plcS71200.atim.pb_start	Boolean	0	10:38:43.477	Good
plcSiemens.plcS71200.atim.pb_stop	Boolean	0	10:38:43.477	Good
plcSiemens.plcS71200.atim.state1	Boolean	0	10:38:43.477	Good
plcSiemens.plcS71200.atim.state2	Boolean	0	10:38:43.477	Good
plcSiemens.plcS71200.atim.state3	Boolean	0	10:38:43.477	Good
plcSiemens.plcS71200.atim.state4	Boolean	0	10:38:43.477	Good
plcSiemens.plcS71200.atim.VA1	Boolean	0	10:38:43.477	Good
plcSiemens.plcS71200.atim.VA2	Boolean	0	10:38:43.477	Good
plcSiemens.plcS71200.atim.VB1	Boolean	0	10:38:43.477	Good
plcSiemens.plcS71200.atim.VB2	Boolean	0	10:38:43.477	Good

Gambar 15. Hasil pengujian komunikasi menggunakan OPC Client

Gambar 15 menunjukkan bahwa semua tag I/O telah berhasil diuji dan terintegrasi dengan PLC, dengan status Quality: Good. Langkah berikutnya adalah membuat Web HMI berbasis Node-Red seperti yang terlihat pada gambar 16.



Gambar 16. Node Flow Diagram dengan Node-Red beserta tampilan Dashboard Web HMI

Gambar 16 menunjukkan node flow diagram di sebelah kiri menggunakan node OPC UA item untuk tag pb_start dan pb_stop dalam mode write pada OPC UA Client. Selain itu, menggunakan node OPC UA Item untuk tag VA1, VA2, VB1, dan VB3 dalam mode Read pada OPC UA Client. Terdapat juga empat node button dan empat node led. Untuk tag dengan mode Read, digunakan node inject timestamp dengan interval satu detik. Dashboard Web HMI hasilnya dapat diakses di alamat <http://127.0.0.1:1880/ui/>. Karena PC menggunakan dua Ethernet Card (LAN untuk koneksi ke PLC dan WiFi untuk koneksi ke access point internet), sebuah smartphone dapat mengakses Web HMI di alamat <http://10.5.49.68:1880/ui/>.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan diskusi yang telah diuraikan, dapat disimpulkan bahwa alat uji kompetensi berbasis IIoT, yang sebelumnya terbatas pada sistem pneumatik konvensional, telah berhasil dikembangkan menjadi sistem elektro-pneumatik dengan integrasi PLC dan antarmuka pengguna berbasis Web HMI menggunakan Node-Red. Hasil pengujian menunjukkan bahwa komunikasi antara Material Handling System, PLC Siemens S71200, Kepware OPC Server, dan Web HMI berbasis Node-Red telah terintegrasi dengan baik. Sistem ini dapat digunakan sebagai tugas demonstrasi dalam materi uji kompetensi untuk Klaster Pengoperasian Sistem Kendali Pneumatik.

Referensi

- [1] Komite Skema sertifikasi LSP Politeknik ATI Makassar, "Skema Sertifikasi Klaster Pengoperasian Sistem Kendali Pneumatik," LSP Politeknik ATI Makassar, Makassar, 2022.
- [2] Kementerian Ketenagakerjaan R.I., "Keputusan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia Nomor 631 Tahun 2016 tentang Penetapan Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia Kategori Industri Pengolahan Golongan Pokok Industri Mesin dan Perlengkapan yang tidak Diklasifikasikan di Tempat Lain," <https://skkni.kemnaker.go.id/>, Jakarta, 2016.
- [3] Kementerian Perindustrian R.I., "Peraturan Menteri Perindustrian Republik Indonesia Nomor 49 Tahun 2018 tentang Penerapan Kerangka Kualifikasi Nasional Indonesia Bidang Otomasi Industri," <https://skkni.kemnaker.go.id/>, Jakarta, 2019.
- [4] A. Nugraha, [www.diditnote.blogspot.com](http://diditnote.blogspot.com), Februari 2013. [Online]. Available: <http://diditnote.blogspot.com/2013/02/perbedaan-pneumatik-dengan-elektro.html>.

- [5] R. Gazali, L. Fedianto, M. G. A. Permana and S. S. Utomo, "Perancangan Modul Latih Elektro Pneumatic Berbasis PLC," *Jurnal Elektro & Informatika Swadharma (JEIS)*, vol. 02, pp. 49-54, 2 Juli 2022.
- [6] K. Mugunthan, "<https://automationcommunity.com/>," automationcommunity, 30 December 2023. [Online]. Available: <https://automationcommunity.com/pneumatic-press-machine/>.
- [7] 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*, vol. 12, no. 2, pp. 89-96, 31 December 2022.
- [8] Lutfi, T. Muchtar, A. T. B. Utami and M. Nawir, "Pengembangan Sistem Interface Navigasi Fitur Berbasis Algoritma Diagram Keadaan untuk Efisiensi Jumlah Tombol pada Embedded System Terintegrasi," in *Seminar Nasional Teknologi Industri (SNTI) VIII*, Makassar, 2021.
- [9] M. F. Azis, 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*, vol. 11, no. 1, pp. 7-12, April 2024.