



Simulasi Integrasi Sistem Kendali PLC dan Simulator 3D Machining Center Menggunakan Protokol Modbus TCP/IP

Muhamad Rayyan Al Farisi ^{a,1}, Arini Retnoningsih ^{a,2}

^a Universitas Kebangsaan Republik Indonesia, Jl. Terusan Halimun No.37, Lkr. Sel., Kec. Lengkong, Kota Bandung, Jawa Barat, Indonesia

¹ rayyanalfarisi282@gmail.com *; ² meariniretno@gmail.com

ARTICLE INFO	ABSTRAK
Article History Submission : 29-07-2026 Revision : 07-05-2026 Accepted : 07-09-2026 Kata Kunci: <i>Programmable Logic Controller, Machining Center, Modbus TCP/IP, Sistem Kendali, Factory I/O</i>	Integrasi sistem kendali dan simulasi proses manufaktur diperlukan untuk memvalidasi logika otomasi sebelum diterapkan pada perangkat fisik. Penelitian ini bertujuan untuk mensimulasikan integrasi sistem kendali <i>Programmable Logic Controller</i> (PLC) dengan simulator 3D <i>Machining Center</i> menggunakan protokol Modbus TCP/IP serta mengevaluasi fungsi sistem dan performa komunikasinya. Logika kendali dirancang menggunakan EcoStruxure Machine Expert-Basic versi 1.0 SP2 Build 64454 dan diintegrasikan dengan Factory I/O sebagai lingkungan simulasi. Komunikasi dilakukan melalui Modbus TCP/IP pada jaringan <i>localhost</i> dengan alamat IP 127.0.0.1 dan port 502. Pengujian dilakukan sebanyak 25 siklus operasi untuk mengevaluasi keberhasilan fungsi input-output serta performa komunikasi berdasarkan <i>response time</i> dan <i>packet loss</i>. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh proses otomasi dapat dijalankan tanpa kegagalan input maupun output, dengan tingkat keberhasilan fungsional sebesar 100%. Performa komunikasi menghasilkan rata-rata <i>response time</i> sebesar 3,2 ms dan <i>packet loss</i> sebesar 0%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa integrasi sistem kendali dan simulator dapat berjalan secara konsisten pada kondisi pengujian yang dilakukan. Namun, hasil penelitian masih terbatas pada lingkungan simulasi dan konfigurasi <i>localhost</i>, sehingga belum merepresentasikan kinerja sistem pada PLC fisik dan jaringan industri nyata. Penelitian ini memberikan validasi awal terhadap integrasi fungsi kendali dan komunikasi data sebelum dilakukan pengujian pada perangkat fisik. This is an open access article under license CC-BY-SA. 

1. Pendahuluan

Perkembangan industri menuju era Industri 4.0 telah mendorong transformasi signifikan dalam pengembangan sistem otomasi manufaktur yang semakin terintegrasi dan berbasis data [1][2]. Parameter seperti efisiensi energi, penurunan biaya operasional, serta peningkatan keandalan sistem menjadi indikator penting dalam mendukung keberlangsungan proses produksi modern [3]. Dalam konteks ini, mesin *Machining Center* berperan sebagai salah satu komponen penting dalam proses manufaktur karena mampu menghasilkan produk dengan

tingkat presisi dan konsistensi yang tinggi [4][5]. Di sisi lain, penggunaan *Programmable Logic Controller* (PLC) sebagai sistem kendali utama menjadi elemen penting dalam mengatur urutan dan proses kerja pada sistem otomasi industri [6].

Meskipun demikian, implementasi sistem kendali berbasis PLC pada *Machining Center* masih menghadapi berbagai tantangan teknis. Kesalahan dalam perancangan logika kontrol dapat menyebabkan gangguan operasional, kesalahan urutan proses, hingga potensi kerusakan perangkat [6]. Oleh karena itu, pengujian terhadap logika kendali sebelum diterapkan pada perangkat nyata menjadi tahap penting dalam pengembangan sistem otomasi. Pendekatan simulasi dapat digunakan untuk mengurangi risiko tersebut karena proses pengujian dapat dilakukan sebelum sistem diterapkan secara langsung pada perangkat fisik.

Salah satu pendekatan yang dapat digunakan dalam pengembangan sistem otomasi adalah simulator industri berbasis tiga dimensi. Simulator 3D *Machining Center* memungkinkan representasi *virtual* dari proses kerja mesin sehingga pengujian logika kontrol dapat dilakukan secara aman dan efisien tanpa risiko terhadap perangkat fisik [7][8]. Konsep simulasi dan virtualisasi juga dapat digunakan untuk merepresentasikan proses manufaktur serta mendukung proses pengujian dan evaluasi sistem sebelum diterapkan pada lingkungan nyata [9]. Dengan demikian, penggunaan lingkungan simulasi dapat membantu melakukan validasi terhadap urutan proses, fungsi kendali, sistem proteksi, dan respons sistem secara lebih aman.

Keberhasilan integrasi antara PLC dan simulator tidak hanya ditentukan oleh logika kendali, tetapi juga oleh sistem komunikasi data yang digunakan. Dalam sistem kendali diskrit, sinkronisasi data dan waktu respons menjadi aspek penting karena keterlambatan pertukaran data dapat memengaruhi urutan kerja dan respons sistem *Machining Center*. Salah satu protokol komunikasi yang dapat digunakan dalam integrasi sistem otomasi adalah Modbus TCP/IP. Protokol tersebut memungkinkan pertukaran data antara perangkat kendali dan perangkat lain melalui jaringan Ethernet menggunakan mekanisme komunikasi *client-server* [10][11]. Penggunaan komunikasi berbasis TCP/IP juga memberikan fleksibilitas dalam integrasi berbagai perangkat pada sistem otomasi [12] [13]. Penerapan Modbus TCP/IP pada sistem otomasi juga telah digunakan pada integrasi PLC dengan perangkat lain, termasuk sistem monitoring dan SCADA [14] [15].

Penelitian terdahulu telah menunjukkan penerapan Modbus TCP/IP pada berbagai sistem otomasi industri. Kusuma dkk. [1] menerapkan Modbus TCP dalam pengiriman data deteksi objek menuju PLC Schneider M221, sedangkan Prastiwi dkk. [2] membahas integrasi Modbus TCP/IP pada PLC dan HMI untuk mendukung pertukaran data pada sistem otomasi. Penelitian mengenai simulasi dan virtualisasi manufaktur juga telah memanfaatkan lingkungan virtual untuk merepresentasikan proses *Machining Center* dan mendukung pengujian sistem sebelum diterapkan pada perangkat nyata [7][8]. Selain itu, penelitian mengenai komunikasi Modbus TCP/IP telah dilakukan untuk menganalisis komunikasi dan pertukaran data antarperangkat kendali [14], sedangkan penerapannya pada sistem SCADA menunjukkan penggunaan protokol tersebut untuk mendukung proses monitoring pada sistem otomasi [15]. Berdasarkan penelitian tersebut, Modbus TCP/IP dan lingkungan simulasi telah digunakan pada berbagai konteks otomasi, tetapi penelitian-penelitian tersebut memiliki fokus yang berbeda. Oleh karena itu, integrasi antara simulasi sistem kendali PLC, simulator 3D *Machining Center* pada Factory I/O, serta evaluasi performa komunikasi menggunakan parameter *response time* dan *packet loss* dalam satu lingkungan simulasi masih perlu dikaji lebih lanjut. Penelitian ini

berkontribusi pada validasi awal integrasi fungsi kendali dan komunikasi data antara lingkungan kendali PLC dan simulator 3D *Machining Center* menggunakan Modbus TCP/IP.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan simulasi untuk membangun lingkungan otomasi yang merepresentasikan proses kerja *Machining Center* secara virtual. Logika kendali PLC dirancang dan dijalankan menggunakan perangkat lunak EcoStruxure Machine Expert-Basic versi 1.0 SP2 Build 64454 tanpa menggunakan perangkat PLC fisik, kemudian diintegrasikan dengan simulator Factory I/O menggunakan protokol Modbus TCP/IP sebagai media komunikasi data. Komunikasi dilakukan melalui jaringan *localhost* dengan alamat IP 127.0.0.1 dan port 502. Pada konfigurasi ini, lingkungan kendali PLC yang disimulasikan berperan sebagai *server*, sedangkan Factory I/O bertindak sebagai *client*. Pemetaan komunikasi menggunakan coil 0–6 sebagai variabel kendali aktuator dan input register 7–13 sebagai variabel pembacaan kondisi sensor.

Pengujian dilakukan dalam **25 siklus operasi kontinu** yang mencakup proses inisialisasi, pembacaan sensor, pengaktifan aktuator, proses *machining*, dan pemindahan objek. Pengujian fungsional digunakan untuk mengetahui keberhasilan operasi input dan output, sedangkan performa komunikasi dievaluasi berdasarkan *response time* dan *packet loss*. *Response time* diperoleh dari selisih waktu antara *request* dan *response*.

Rata-rata *response time* dihitung menggunakan Persamaan:

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \quad (1)$$

Dimana:

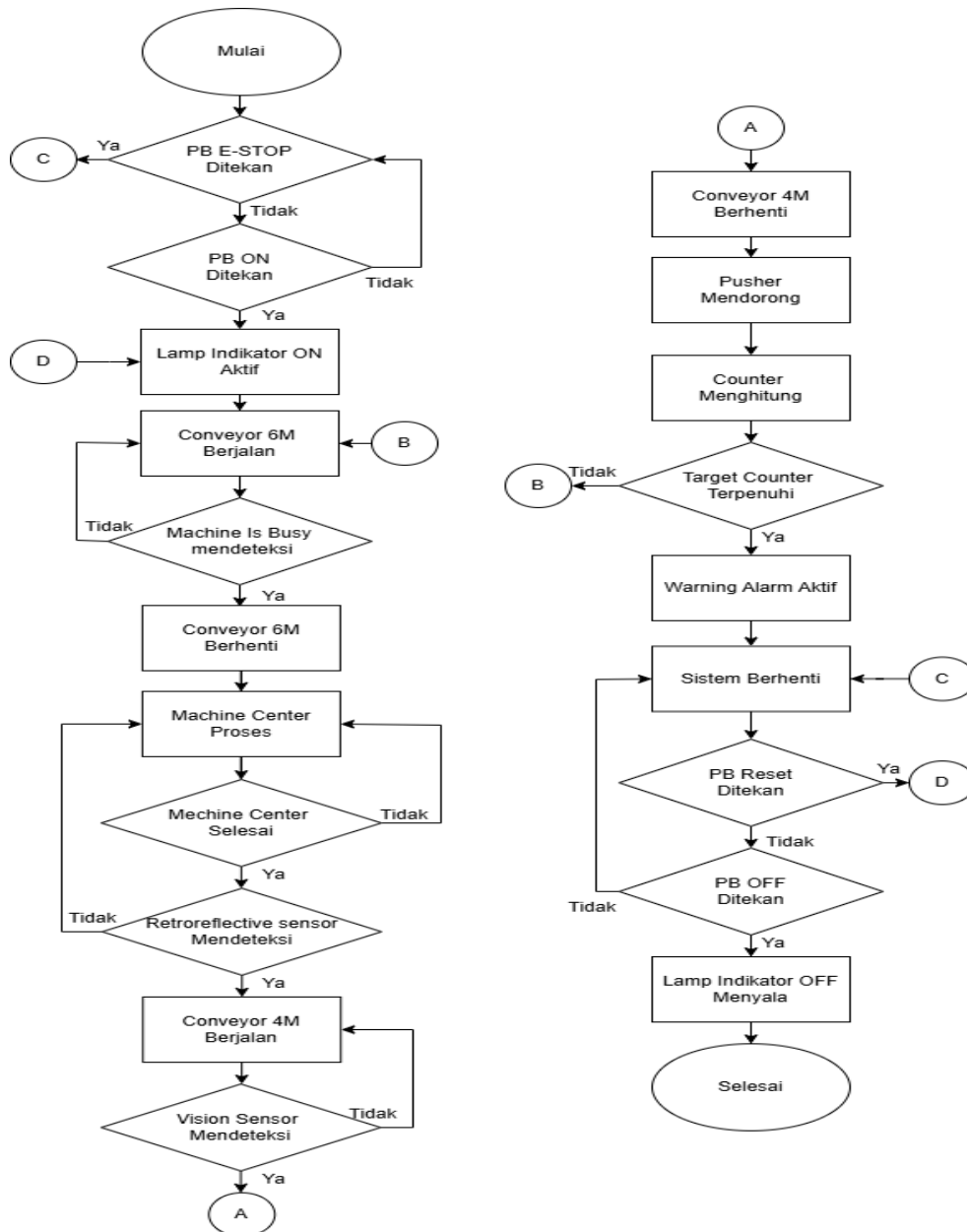
- $\bar{t}$ = rata-rata response time
- t_i = waktu respons pada pengujian ke- i
- n = jumlah percobaan

Selain itu, *packet loss* dihitung menggunakan persamaan:

$$packet\ loss = \frac{N_g}{N_t} \times 100\% \quad (2)$$

dengan:

- N_g = jumlah paket gagal
- N_t = total paket yang dikirim



Gambar 1. FlowChart

Gambar 1 menunjukkan alur kerja sistem kendali yang digunakan dalam simulasi, mulai dari pemeriksaan Emergency Stop, proses inisialisasi, pengoperasian conveyor dan Machining Center, pembacaan sensor, proses pemindahan objek, hingga pencacahan dan penghentian sistem. Flowchart tersebut menjadi acuan dalam penyusunan logika kendali pada EcoStruxure Machine Expert-Basic.

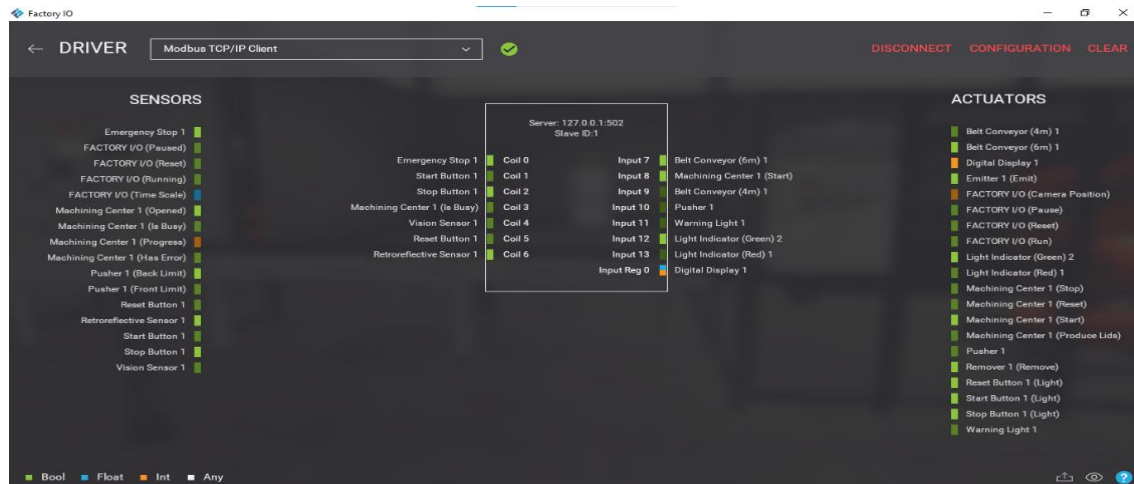
3. Hasil dan Pembahasan

Bab ini membahas hasil implementasi sistem yang telah dirancang pada tahap metodologi penelitian. Hasil simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak Factory I/O yang terintegrasi dengan *EcoStruxure Machine Expert - Basic* melalui komunikasi Modbus TCP/IP. Fokus pembahasan meliputi pengujian alur kerja sistem, fungsi sensor dan aktuator, serta analisis respons sistem terhadap kondisi operasi normal dan kondisi darurat.

Muhamad Rayyan Al Farisi (Simulasi Integrasi Sistem Kendali PLC dan Simulator 3D Machining Center Menggunakan Protokol Modbus TCP/IP)

3.1. Hasil Simulasi Sistem

Berdasarkan hasil implementasi pada simulator Factory I/O, sistem integrasi antara *EcoStruxure Machine Expert – Basic* dan simulator 3D (Factory I/O) menggunakan protokol Modbus TCP/IP berhasil dijalankan dengan baik. Seluruh perangkat input, proses, dan output yang telah dirancang pada tahap metodologi mampu bekerja sesuai dengan fungsi yang diharapkan.



Gambar 2. Konfigurasi Factory I/O Dengan EcoStruxure Machine Expert – Basic

Pada Gambar 2. Digunakan protokol Modbus TCP/IP *Client* pada *software* Factory I/O untuk menjembatani komunikasi data yang telah terbaca antara *ladder diagram* pada PLC dengan miniatur pabrik tiga dimensi (*Factory I/O*) dan untuk alamat IP diatur pada *localhost* (127.0.0.1) dengan pemetaan coil 0-6 sebagai variabel kendali *aktuator* (*output*), dan input register 7-13 sebagai pembaca variabel kondisi *sensor* (*input*).

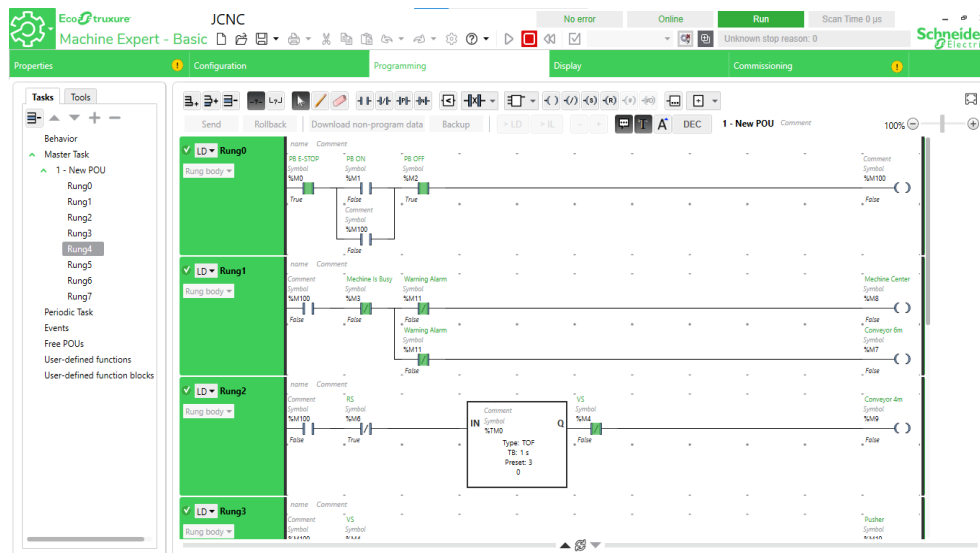
Tabel 1 : Tag Memori Pada *Software* EcoStruxure Machine Expert – Basic

Nama Tag (<i>Input</i>)	Address	Nama Tag (<i>Output</i>)	Address
<i>Emergency Stop</i>	%M0	<i>Conveyor 6m</i>	%M7
<i>PB ON</i>	%M1	<i>Machine Center</i>	%M8
<i>PB OFF</i>	%M2	<i>Conveyor 4m</i>	%M9
<i>machine is busy</i>	%M3	<i>Pusher</i>	%M10
<i>Vision Sensor (VS)</i>	%M4	<i>Warning Alarm</i>	%M11
<i>PB Reset</i>	%M5	<i>Lamp ON</i>	%M12
<i>Retroreflective Sensor (RS)</i>	%M6	<i>Lamp OFF</i>	%M13
		<i>Digital Display</i>	%MW0

Tahap inisiasi sistem dimulai dengan kondisi siaga (*standby*). Seluruh komponen *aktuator* pada perangkat lunak Factory I/O, yang meliputi *belt conveyor*, *pusher*, dan *machining center*, berada dalam keadaan tidak aktif (*nonaktif*), sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 3. Secara simultan, logika program pada perangkat lunak *EcoStruxure Machine Expert – Basic* telah berada dalam status aktif dan siap beroperasi, yang ditunjukkan oleh kondisi setiap *rung* pada Gambar 4.



Gambar 3. Kondisi Stand By Pada Software Factory I/O



Gambar 4. Kondisi Stand By Pada Software EcoStruxure Machine Expert – Basic

Ketika tombol tekan (*push button*) ON diaktifkan, PLC menerima sinyal masukan (*input*) yang memicu menyalanya lampu indikator sebagai tanda dimulainya proses simulasi Gambar 4. Selanjutnya, sistem secara otomatis mengaktifkan *conveyor* utama untuk mentransportasikan material menuju area pemrosesan (*Machining Center*), sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 8. Pada tingkat pemrograman di perangkat lunak *EcoStruxure Machine Expert – Basic*, transisi status ini menyebabkan variabel keluaran (*output*) pada *rung* 1 dan *rung* 2 mengalami perubahan logika dari *false* (0) menjadi *true* (1), yang dapat dilihat dengan jelas pada Gambar 9.



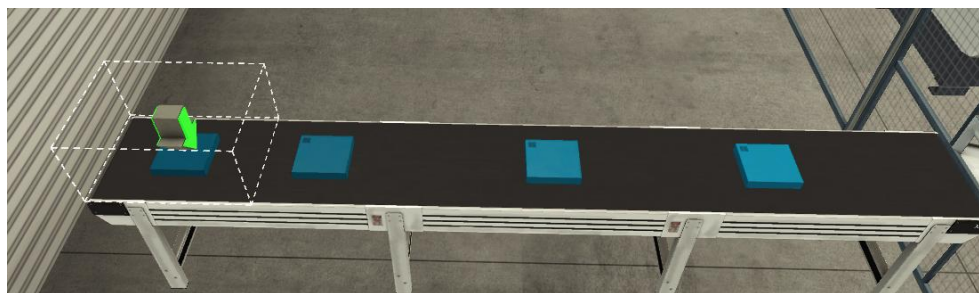
Gambar 5. Kondisi Lamp ON



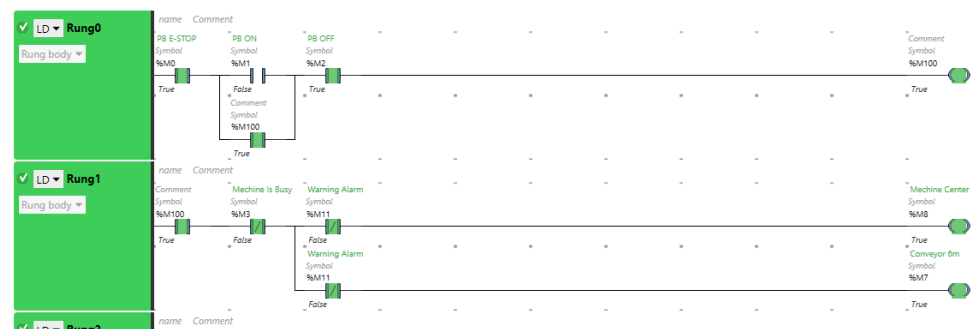
Gambar 6. Kondisi Lamp OFF



Gambar 7. Rung Lamp Indikator



Gambar 8. Kondisi Conveyor 6M Aktif



Gambar 9. Rung 0 & 1 ketika PB ON Ditekan

Pada tahap ini, *machine is busy sensor* akan aktif sebagai indikator bahwa proses machining sedang berlangsung. Selama sensor ini aktif, PLC menahan proses selanjutnya agar tidak terjadi penumpukan item pada area machining terlihat pada Gambar 10.

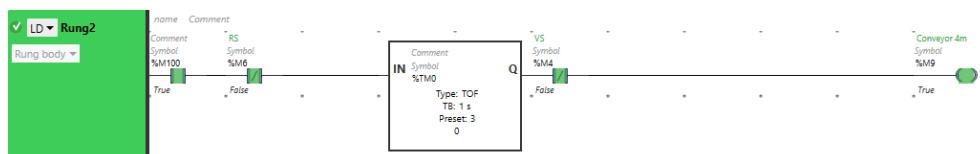


Gambar 10. Kondisi Sensor Machine Is Busy



Gambar 11. Rung 1 ketika Machine Is Busy Mendeteksi Barang

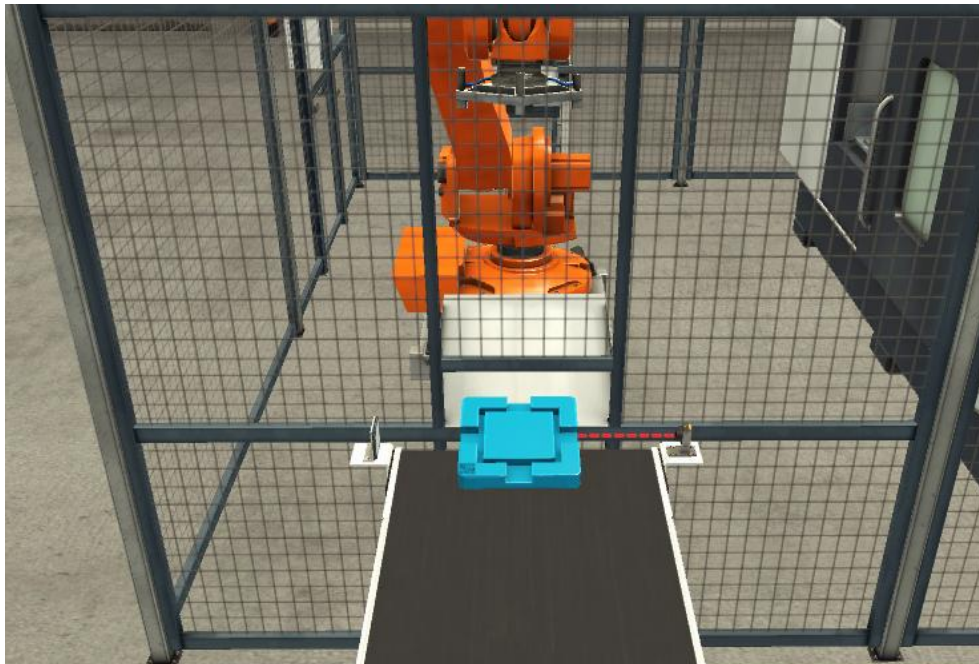
Kondisi pada *rung 1* pada Gambar 11. menunjukkan *output conveyor 6m*, dan *Machine Center* apabila terdeteksi *sensor machine is busy* menunjukkan *false* (0).Selanjutnya *retroreflective sensor* berfungsi untuk mendeteksi keberadaan objek yang melintas pada jalur *conveyor 4m*. *Sensor* akan mengirimkan sinyal digital ke PLC ketika terdapat barang yang melewati area *sensor* pada Gambar 12.



Gambar 12. Rung retroreflective Sensor Ketika Terdapat Barang Melewati Sensor

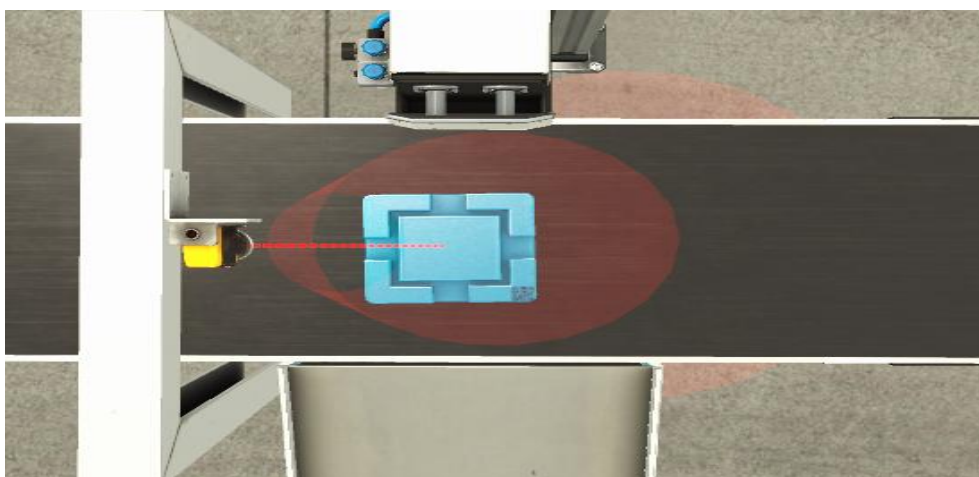
Visualisasi aliran logika pada *Rung 2* untuk pengendalian *Conveyor 4m* disajikan pada Gambar 13 Pada kondisi yang terdokumentasi, kontak memori *%M100* berstatus *True*, sehingga mengalirkan arus digital menuju blok pengatur waktu *%TM0*. Jenis timer yang digunakan pada sistem ini adalah *Time Off Delay* (TOF) dengan *preset value* sebesar 3 detik. Karena *input* pengatur waktu terpenuhi dan tidak ada interupsi dari kontak *Normally Closed* (NC) pada variabel *%M6 retroreflective Sensor* (RS) serta *%M4 Vision Sensor* (VS), instruksi tetap meneruskan logika menuju koil keluaran. Akibatnya, koil *%M9* yang merepresentasikan

Conveyor 4m berubah status menjadi *True* (1), mengindikasikan bahwa motor penggerak *conveyor* pada simulasi *Factory I/O* sedang beroperasi.

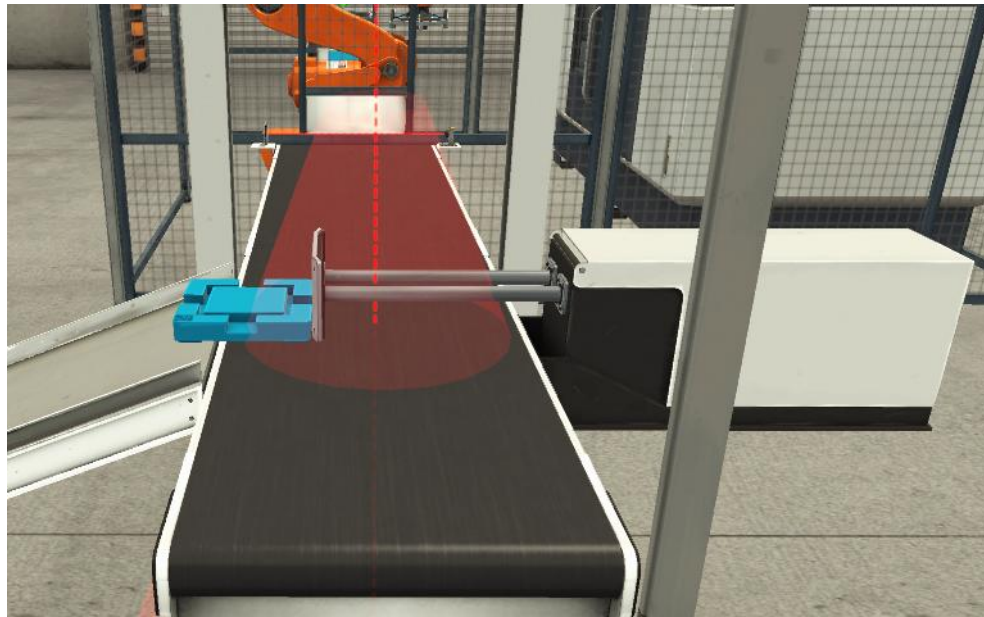


Gambar 13 Kondisi *Retroreflective Sensor* Ketika Terdapat Barang Melewati Sensor

Integrasi sistem pada tahap ini melibatkan *vision sensor* sebagai instrumen pendeteksi utama. Saat benda kerja teridentifikasi, sensor mengirimkan sinyal interupsi yang menghentikan laju *conveyor 4m* pada Gambar 14. dan setelah itu mengaktifkan fungsi pencacah (*counter*) yang divisualisasikan melalui *digital display* pada Gambar 16. Kemudian data diskrit dari *sensor* tersebut kemudian diproses oleh algoritma pada PLC untuk memberikan perintah kerja kepada *aktuator pusher*. Mekanisme ini memastikan bahwa setiap item yang telah teridentifikasi akan didorong secara akurat ke jalur *remover* untuk tahap eliminasi atau penyortiran lebih lanjut bisa dilihat pada Gambar 15 .



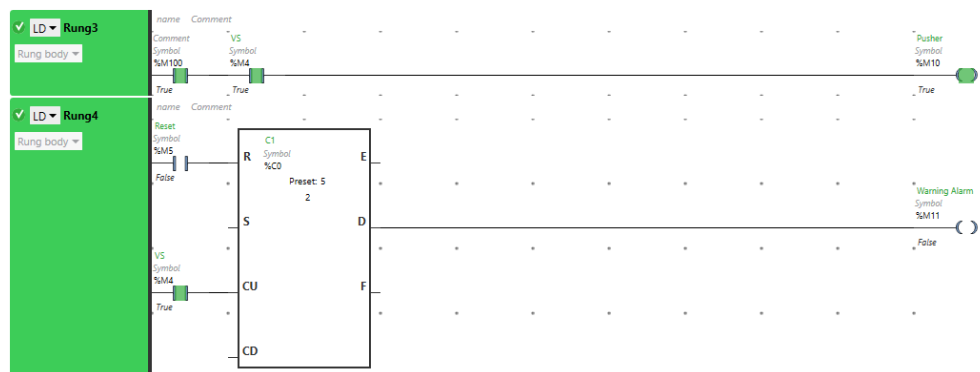
Gambar 14. Kondisi *Conveyor 4M* Ketika *Vision Sensor* Mendeteksi Barang



Gambar 15. Kondisi Pusher Ketika Vision Sensor Mendeteksi Barang



Gambar 16. Kondisi *Digital Display* Ketika *Vision Sensor* Mendeteksi Barang



Gambar 17. Rung 3 & 4 Output Untuk Counter, Pusher dan Warning Alarm

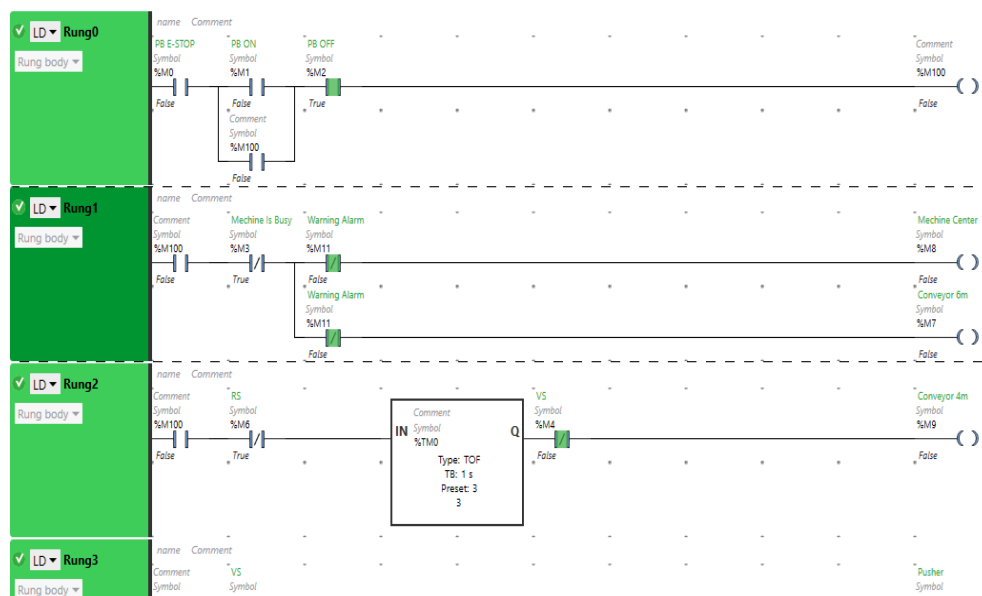
Logika operasional untuk mekanisme pemisahan benda kerja dan sistem penghitungan direpresentasikan pada Gambar 17 melalui *Rung 3* dan *Rung 4*. Pada *Rung 3*, *aktuator Pusher* (%M10) akan tereksitasi berstatus *True* (1) apabila memori sistem (%M100) aktif dan *Vision*

Sensor (%M4) mendeteksi keberadaan objek di area kerja. Sinyal dari *sensor* tersebut berfungsi sebagai pemicu (*trigger*) langsung bagi *pusher* untuk mendorong benda kerja ke jalur *remove*.

Selanjutnya, pada *Rung 4*, sistem mengintegrasikan fungsi pencacah menggunakan blok *Counter* (%C0). Setiap kali *Vision Sensor* (%M4) memberikan sinyal masukan pada terminal *Count-Up* (CU), nilai pada cakupan memori *counter* akan bertambah secara bertahap. Berdasarkan gambar 19, nilai ambang batas (*Preset*) ditetapkan sebesar 5, dengan nilai aktual saat ini mencapai 2. Jika nilai akumulasi telah mencapai batas preset, output koil pada terminal D akan mengaktifkan *Warning Alarm* (%M11). Selain itu, sistem menyediakan fitur manual melalui kontak *Reset* (%M5) untuk menginisialisasi ulang nilai perhitungan ke kondisi awal.



Gambar 18. *Warning Alarm True* Ketika *Counter* Mencapai Nilai Batas



Gambar 19. Kondisi *rung* ketika *PB E-Stop* ditekan

Apabila terjadi kegagalan sistem atau situasi bahaya, penekanan tombol Emergency Stop (E-STOP) berfungsi untuk menghentikan operasi aktuator pada sistem simulasi *Factory I/O*. Kondisi ini menyebabkan seluruh variabel status aktuator beralih menjadi false sehingga pergerakan mekanis pada simulasi dihentikan.

3.2. Pembahasan

Tabel 2: Hasil Pengujian Kegagalan Sensor Dan Aktuator

NO	Jumlah Siklus	Kegagalan <i>Input</i> (%)	Kegagalan <i>Output</i> (%)
1	5 Siklus	0	0
2	10 Siklus	0	0
3	15 Siklus	0	0
4	20 Siklus	0	0
5	25 Siklus	0	0

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 2, sistem berhasil menyelesaikan seluruh proses operasi pada 25 siklus pengujian tanpa ditemukan kegagalan pada input maupun output. Dengan demikian, tingkat keberhasilan fungsional pada kondisi pengujian yang dilakukan mencapai 100%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa logika kendali yang dirancang mampu menjalankan urutan proses otomasi sesuai dengan skenario simulasi yang telah ditentukan. Namun, jumlah pengujian yang terbatas pada 25 siklus dan penggunaan lingkungan simulasi menyebabkan hasil tersebut belum dapat merepresentasikan keandalan sistem pada durasi operasi yang lebih panjang, variasi beban komunikasi, maupun kondisi jaringan industri nyata.

Tabel 3: Hasil Pengujian Performa Komunikasi Modbus TCP/IP

NO	Jumlah Siklus	<i>Response Time</i> (ms)	<i>Packet Loss</i> (%)
1	5	2	0
2	10	2	0
3	15	3	0
4	20	4	0
5	25	5	0
Rata-rata		3,2 ms	0%

Berdasarkan Tabel 3, *response time* berada pada rentang 2–5 ms dengan rata-rata 3,2 ms. Selama 25 siklus pengujian, *packet loss* tercatat sebesar 0% dan tidak ditemukan kegagalan pertukaran data. Berdasarkan kriteria operasional yang digunakan, seluruh pengujian dikategorikan stabil. Dalam penelitian ini, komunikasi dikategorikan stabil apabila tidak ditemukan kegagalan pertukaran data selama pengujian dan nilai *packet loss* sebesar 0%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa komunikasi antara lingkungan kendali dan Factory I/O berlangsung secara konsisten pada konfigurasi *localhost* yang digunakan. Namun, hasil ini terbatas pada lingkungan simulasi sehingga belum dapat digunakan untuk menggambarkan performa komunikasi pada jaringan industri nyata.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengintegrasikan simulasi sistem kendali PLC dengan simulator 3D *Machining Center* pada Factory I/O menggunakan protokol Modbus TCP/IP. Hasil pengujian fungsional menunjukkan bahwa seluruh proses otomasi dapat dijalankan sesuai dengan skenario yang dirancang pada 25 siklus pengujian, tanpa ditemukan kegagalan pada input maupun output, sehingga tingkat keberhasilan fungsional mencapai 100%. Pengujian komunikasi menghasilkan *response time* rata-rata sebesar 3,2 ms dan *packet loss* sebesar 0% pada konfigurasi *localhost* dengan alamat IP 127.0.0.1 dan port 502. Hasil tersebut menunjukkan bahwa integrasi sistem kendali dan simulator dapat menjalankan pertukaran data secara konsisten pada kondisi pengujian yang dilakukan. Namun, hasil penelitian ini merupakan validasi awal pada lingkungan simulasi dan belum dapat merepresentasikan kinerja sistem pada PLC fisik maupun jaringan industri nyata. Pengujian lebih lanjut dengan

perangkat PLC fisik, jaringan Ethernet nyata, durasi pengujian yang lebih panjang, variasi beban komunikasi, serta kondisi gangguan diperlukan untuk memperoleh validasi yang lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. D. Kusuma et al, "implementasi modbus tcp dalam pengiriman data ke plc," *j. Appl. Electr. Eng.*, 2024, [online]. Available: <https://jurnal.polibatam.ac.id/index.php/jaee/article/view/7334>
- [2] A. S. Prastiwi et al, "integrasi modbus tcp/ip pada plc dan hmi," *j. Elektron. Dan otomasi ind.*, 2023, [online]. Available: <https://jurnal.polinema.ac.id/index.php/elkolind/article/view/3254>
- [3] E. R. Permana et al, "osi dan tcp/ip pada era industri 4.0," *malcom j.*, 2024, [online]. Available: <https://journal.irpi.or.id/index.php/malcom/article/view/1324>
- [4] M. P. Groover, *automation, production systems*. Pearson, 2020.
- [5] S. A. Aebersold, m. O. Akinsolu, s. Monir, and m. L. Jones, "ubiquitous control of a cnc machine : proof of concept for industrial iot applications," 2021.
- [6] H. Ashshidiqi et al, "aplikasi plc dalam sistem industri," *jitel polban*, 2024, [online]. Available: <https://jitel.polban.ac.id/jitel/article/view/179>
- [7] T. Hidayat et al, "penerapan digital twin pada manufaktur," *j. Teknol. Ind.*, 2022.
- [8] F. Hu, x. Zou, h. Hao, p. Hou, and y. Huang, "research and application of simulation and optimization for cnc machine tool machining process under data semantic model reconstruction," *int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 132, no. 1, pp. 801–819, 2024, doi: 10.1007/s00170-024-13415-z.
- [9] F. H. E. Urgency, o. F. Developing, p. L. C. Learning, m. Based, and o. N. Real, "jurnal pendidikan teknik mesin urgensi pengembangan media pembelajaran plc berbasis simulasi : tinjauan terhadap pembelajaran the urgency of developing plc learning media based on real project simulation : a review of automation engineering," vol. 11, no. Mei, 2024.
- [10] Tosin, "implementasi komunikasi industri berbasis modbus," *komputika*, 2021, [online]. Available: <https://ojs.unikom.ac.id/index.php/komputika/article/view/3557>
- [11] Modbus organization, "modbus application protocol specification," 2022.
- [12] A. Mahmood et al, "modbus tcp/ip communication," *ieee access*, 2019.
- [13] Iec, "industrial communication networks," 2018.
- [14] R. I. Fikriansyah et al, "analisis komunikasi modbus tcp/ip," *snte*, 2025, [online]. Available: <https://prosiding.pnj.ac.id/index.php/snte/article/view/3844>
- [15] N. A. Nurzeha et al, "scada berbasis modbus tcp/ip," *snte*, 2025, [online]. Available: <https://prosiding.pnj.ac.id/index.php/snte/article/view/3780>

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN