

MEKANISME OTOMATIS BERBASIS PLC UNTUK PENGELOLAAN AREA TERBATAS MELALUI PENGOPERASIAN HIDROLIK SILINDER SEBAGAI PENGGERAK *ROAD BLOCKER*

PLC-BASED AN AUTOMATIC MECHANISM TO MANAGE THE CONFINED AREA THROUGH OPERATING THE CYLINDRICAL HYDRAULIC AS A DRIVER OF THE ROAD BLOCKER

Ade Triyana¹, Arief Goeritno*²

¹Kementerian Sekretariat Negara, Istana Kepresidenan Republik Indonesia di Kota Bogor
Jalan Djuanda Nomor 1, Kelurahan Paledang, Kecamatan Bogor Tengah, Kota Bogor 16122

²Electrical Engineering Study Program, Universitas Ibn Khaldun Bogor
Jalan Sholeh Iskandar km.2, Kelurahan Kedungbadak, Kecamatan Tanah Sareal, Kota Bogor 16164

Diterima: 20 September 2022 Direvisi: 18 Oktober 2022 Disetujui: 15 November 2022

ABSTRAK

Area terbatas di lingkungan Istana Kepresidenan Republik Indonesia di Kota Bogor, masih berupa penghalang (*barrier*) yang dioperasikan secara manual melalui pengaktifan kontaktor magnetik sebagai pengendali sistem hidrolik silinder untuk penggerakan penghalang. *Upgrading* terhadap sistem tersebut menjadi suatu keniscayaan sehingga perlu keberadaan sistem berbasis *programmable logic controller* (PLC) dengan kemampuan operasi secara cepat dan akurat agar diperoleh peningkatan hasil secara kuantitas maupun kualitas. Pembuatan sistem berbasis PLC yang diintegrasikan ke sistem sensor-transduser dan sistem penggerak aktuator difungsikan sebagai penggerak miniatur *road blocker* secara otomatis pada keamanan area terbatas. Data diperoleh dari setiap tahapan, yaitu (i) pembuatan struktur miniatur *road blocker*, penempatan sensor-transduser, pemasangan motor *dc* untuk sistem hidrolik, (ii) pembuatan papan operasi, pengawatan, dan pemasangan sistem PLC, (ii) pemrograman sistem PLC berbasis pada *ladder diagram*, dan (iii) pengukuran kinerja sistem kendali. Hasil diperoleh berupa purwarupa sistem, struktur program, dan kinerja sistem. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa perolehan bentuk fisis sistem elektronis berbasis PLC telah terintegrasi secara perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) sehingga dapat digunakan sebagai model sistem keamanan untuk area terbatas melalui pengoperasian secara otomatis miniatur *road blocker*.

Kata kunci: sistem kendali berbasis PLC, automasi pengoperasian, silinder hidrolik sebagai penggerak *road blocker*, keamanan area terbatas.

ABSTRACT

A confined area within the Presidential Palace of the Republic of Indonesia in the City of Bogor is still a barrier that is operated manually through activation of magnetic contactor to drive the cylindrical hydraulic system to actuate the barrier. Upgrading the system is a necessity, so it is necessary to have a system based on a programmable logic controller (PLC) with the ability to operate quickly and accurately, in order to obtain increased results in quantity and quality. Manufacture of a PLC-based system that is integrated into a sensor-transducer system and an actuator drive system to function as a miniature road blocker drive automatically in restricted area security. Data were obtained from each stage, namely (i) making the miniature road blocker structure, placing the sensor-transducer, installing the DC motor for the hydraulic system, (ii) making the operation board, wiring and installing the PLC system, (ii) programming the PLC system based on ladder diagram, and (iii) measurement of control system performance. The results obtained are system prototypes, program structures, and system performance. Based on the results, it can be concluded that the acquisition of the physical form of a PLC-based electronic system has been integrated into hardware and software, so that it can be used as a security system model for a limited area through the automatic operation of miniature road blockers.

Keywords: *PLC-based driver system, the automation for operating, cylindrical hydraulic as a driver of the road blocker, the security for a confined area.*

*Corresponding author:

Email: arief.goeritno@uika-bogor.ac.id

DOI: <http://dx.doi.org/10.37209/jtbbt.v12i2.260>

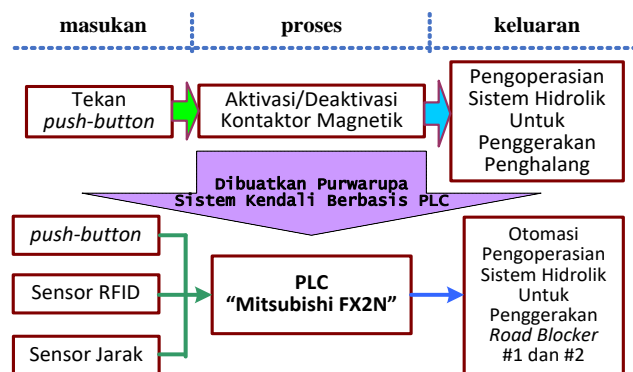
PENDAHULUAN

Purwarupa sistem kendali berbasis *programmable logic controller* (PLC) atau pengontrol logika terprogram dimaknai sebagai sebuah miniatur sistem berbantuan perangkat elektronika [1]-[6] yang dilengkapi dengan prasarana pendukung untuk cakupan dan/atau kegunaan tertentu. Sistem berbasis PLC dengan kemampuan operasi secara cepat dan akurat telah menjadi suatu keniscayaan, sehingga peningkatan hasil secara kuantitas maupun kualitas dapat diperoleh [7]-[11]. Kenyataan yang ada saat ini, area terbatas di lingkungan Istana Kepresidenan Republik Indonesia di Jalan Haji Insinyur Djuanda nomor 1, Kelurahan Paledang, Kecamatan Bogor Tengah, Kota Bogor, masih dengan pengoperasian sistem penghalang (*barrier*) secara manual. Mekanisme secara manual dilakukan melalui penekanan terhadap *push-button* untuk pengaktifan kontaktor magnetik sebagai penyambung dan pemutus arus listrik untuk pengendali sistem silinder hidrolik sebagai penggerak penghalang (*barrier*). Keamanan area terbatas (*the security for the confined area*) merupakan mekanisme pengamanan daerah dengan keterbatasan dan pembatasan tertentu yang tidak dapat digunakan untuk lalu-lalang sembarang kendaraan [12]. Beberapa penjelasan tersebut merupakan alasan pemilihan judul artikel ini, sehingga pembuatan purwarupa sistem kendali berbasis PLC untuk automasi pengoperasian *road blocker* pada area terbatas di Istana Kepresidenan dapat terimplementasikan.

Sejumlah *state-of-the-art* penelitian sebelumnya dan terkait erat dengan penelitian ini menjadi acuan khusus. Sistem kendali berbasis PLC terimplementasikan [13]-[18] sesuai konsep sebagai perangkat pengontrol untuk mekanisme automasi sederhana terhadap sejumlah peranti (instrumentasi) elektronis [19]-[23] sangat berkaitan dengan pemilihan terhadap merek dan tipe PLC [13]-[18], dilengkapi dengan jenis dan tipe sistem sensor-transduser terhubung di jalur (porta) masukan (*input*) pada PLC, termasuk juga beberapa sistem penggerak aktuator dihubungkan ke porta keluaran (*output*) pada PLC [30], [13]-[18], [19]-[23], maupun keberadaan struktur sintaks program komputer yang telah dibuat (*a built program* atau *user program*) [24]-[27]. Beberapa sistem kendali berbasis PLC berbentuk simulator digunakan untuk keperluan tertentu atau sebagai sebuah

sistem tertentu, seperti (i) sistem penyortiran material [13], (ii) sistem pengoperasian miniatur badan jembatan pada perlintasan jalur kapal [14], (iii) sistem pengoperasian *rejection system* [15], [16], (iv) sistem pengisian cairan ke dalam botol dan pemasangan tutup botol [17], maupun (v) simulator untuk sistem pemberian label dan pemisahan botol [18].

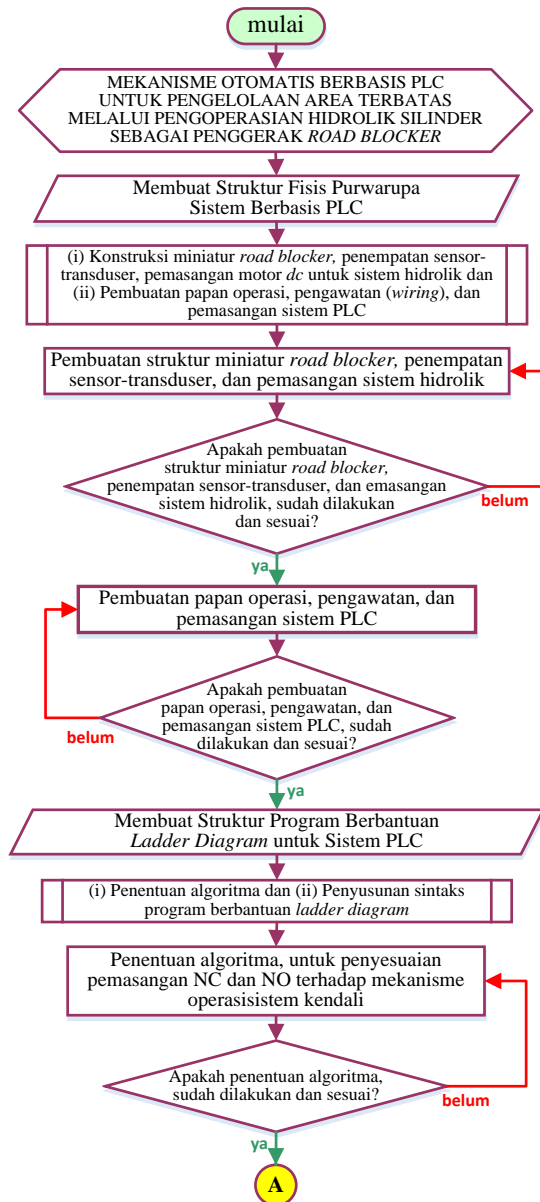
Pengoperasian otomatis sebuah *road blocker* [10] untuk pengamanan area terbatas merupakan target ketercapaian penelitian ini, sehingga dipilih rumusan masalah yang berkaitan dengan topik penelitian tentang pemanfaatan sistem instrumentasi dan mekanisme automasi terkendali oleh sebuah PLC dengan acuan penelitian sebelumnya [13]-[18] yang difungsikan sebagai sebuah sistem kendali berbasis PLC untuk pengoperasian otomatis *road blocker* pada mekanisme keamanan area terbatas di lingkungan Istana Kepresidenan Republik Indonesia di Kota Bogor. Struktur penelitian saat ini merupakan sebuah penelitian yang dapat direalisasikan dalam bentuk penggambaran skematis untuk rumusan masalah. Diagram skematis rumusan masalah, seperti ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Diagram skematis rumusan masalah

Berpedoman kepada alinea rumusan masalah melalui penggambaran dalam bentuk diagram skematis, maka pada penelitian ini ditetapkan tiga sasaran penelitian yang meliputi (i) membuat bentuk fisis prototipe sistem elektronis berbasis PLC Mitsubishi FX2N-32MR, (ii) mengintegrasikan sistem dan memrogram sistem PLC, dan (iii) mengukur kinerja sistem. Pencapaian sasaran penelitian dilakukan untuk perolehan manfaat penelitian, yaitu (i) pembuatan fisis prototipe sistem elektronis berbasis PLC digunakan sebagai pedoman untuk pengintegrasian dan pemrograman sistem PLC,

(ii) pengintegrasian dan pemrograman sistem PLC digunakan sebagai pedoman untuk pengukuran kinerja sistem, dan (iii) pengukuran kinerja sistem digunakan sebagai pedoman pembuatan prototipe sistem elektronis berbasis PLC untuk pengelolaan area terbatas melalui pengoperasian silinder hidrolis sebagai penggerak *road blocker* secara otomatis.

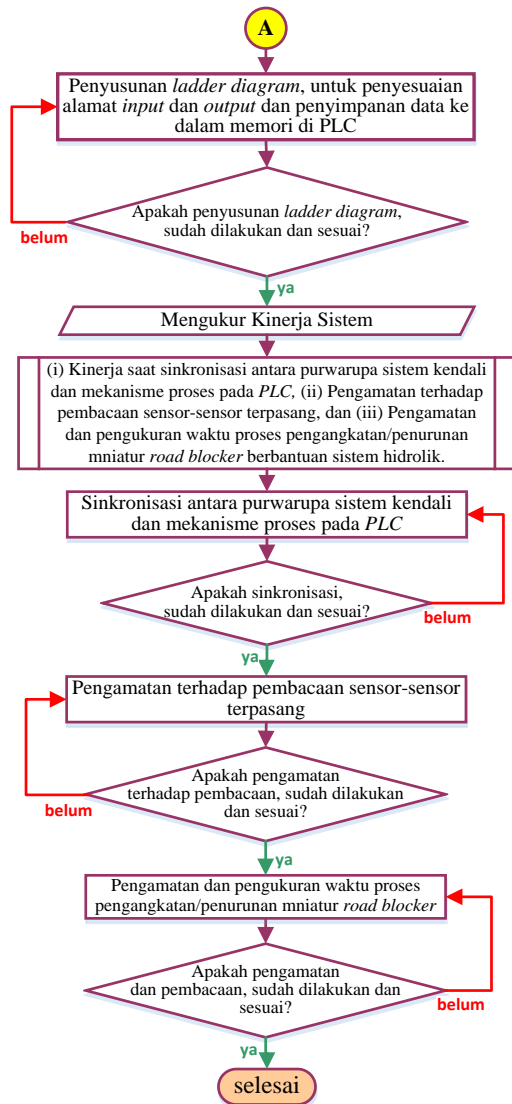


Gambar 2.a Diagram alir metode penelitian (berlanjut)

BAHAN DAN METODE

Berpedoman kepada sasaran penelitian, maka dibuat tahapan-tahapan pelaksanaan yang terdapat di metode penelitian berbentuk diagram alir (*flow chart*) sebagai sebuah algoritma yang

didasarkan kepada setiap sasaran penelitian [28]-[32]. Diagram alir metode penelitian, seperti ditunjukkan pada Gambar 2(a-b). Berdasarkan Gambar 2 dapat dijelaskan, bahwa untuk pencapaian setiap sasaran penelitian diperlukan sejumlah tahapan pelaksanaan.



Gambar 2.b Diagram alir metode penelitian (lanjutan)

Pembuatan Bentuk Fisis Sistem Kendali Berbasis PLC Mitsubishi FX2N-32MR

Pembuatan konstruksi fisis sistem kendali berbasis PLC, meliputi (i) miniatur *road blocker*, penempatan sistem sensor-transduser; dan pemasangan pompa untuk hidrolis; dan (ii) papan operasi, pengawatan, dan pemasangan sistem PLC.

Pembuatan Struktur Program Berbantuan Ladder Diagram untuk Sistem PLC

Pembuatan struktur program berbasis, dilakukan melalui langkah-langkah (i) penentuan algoritma, untuk penyesuaian pemasangan *Normally Closed (NC)* dan *Normally Opened (NO)* terhadap mekanisme operasi prototipe sistem elektronis, dan (ii) penyusunan *ladder diagram*, untuk pemberian alamat *input* dan *output* dan penyimpanan data ke dalam memori di *PLC*.

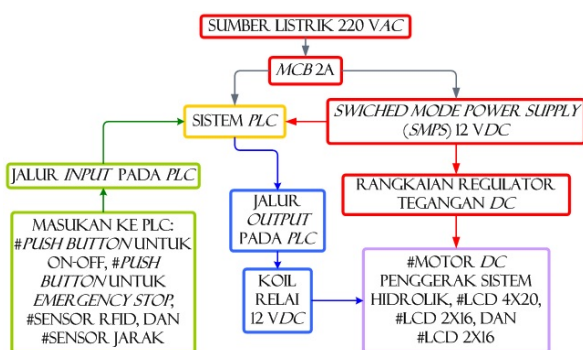
Pengukuran Kinerja Sistem Berbasis PLC

Pengukuran kinerja sistem kendali meliputi (i) Kinerja saat sinkronisasi antara purwarupa sistem kendali dan mekanisme proses pada *PLC*, (ii) pengamatan terhadap pembacaan sensor-sensor terpasang, dan (iii) pengamatan dan pengukuran awal waktu proses pengangkatan/penurunan miniatur *road blocker* berbantuan sistem hidrolik silinder.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Struktur Fisis Purwarupa Sistem Berbasis PLC

Bentuk fisis prototipe sistem elektronis berbasis *PLC* melalui konstruksi miniatur *road blocker* pada keamanan area terbatas dilakukan dengan pembuatan miniatur *road blocker*, penggerak sistem hidrolik, dan pengawatan terintegrasi. Diagram skematis prototipe sistem elektronis berbasis *PLC*, seperti ditunjukkan pada **Gambar 3**.

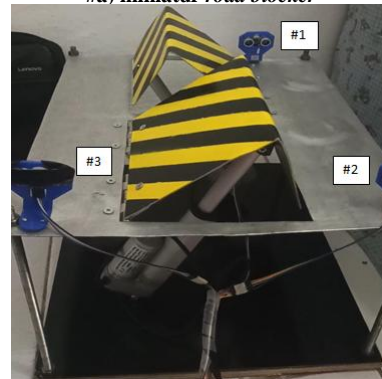


Gambar 3. Diagram skematis prototipe sistem elektronis berbasis *PLC*

Berdasarkan **Gambar 3** dapat dijelaskan, bahwa tegangan masukan 220 Vac untuk *switched-mode power supply (SMPS)* disambungkan pada jalur catu daya di *PLC*, sedangkan catu daya 12 Vdc untuk keperluan komponen kontrol, agar sistem elektronis dapat dioperasikan.



#a) miniatur *road blocker*



#b) penempatan sejumlah sistem sensor-transduser

Keterangan pada gambar:

#1) sensor jarak ping, berfungsi untuk penutupan jalan

#2) sensor jarak ping, berfungsi untuk pembukaan akses jalan

#3) sensor jarak ping, berfungsi untuk penutupan jalan, agar kendaraan yang melintas tidak lebih dari satu kendaraan

Gambar 4. Penampang fisis miniatur *road blocker* dan penempatan sejumlah sensor-transduser

Keluaran *switched-mode power supply* 12 Vdc (kutub positif) dihubungkan ke koil modul relai 4 *channel*, termasuk ke sensor-sensor, dan ke jalur masukan pada rangkaian, sedangkan keluaran pada rangkaian relai sebagai jalur catu daya untuk motor *dc* penggerak silinder hidrolik. Semua masukan maupun keluaran *PLC* berupa *NPN* yang artinya semua masukan pada *PLC* adalah *common negative* dan keluaran *PLC* juga *common negative*. Porta masukan pada sistem *PLC*, meliputi (i) *push button ON*, (ii) *push button OFF*, (iii) modul *RFID reader*, dan (iv) sensor-sensor dengan semua jalur masukan tersambung *common negative* (kutub negatif catu daya 12 Vdc). Porta keluaran pada modul *PLC* dihubungkan ke kutub negatif koil modul relai 4 *channel*.

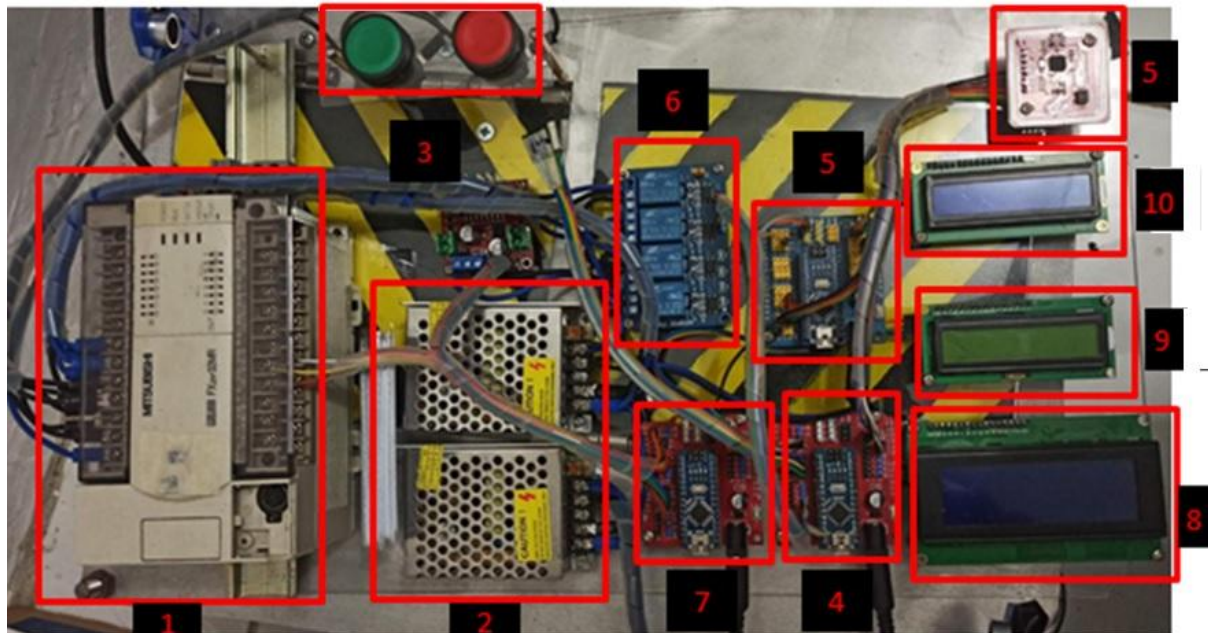
Fisis miniatur road blocker, penempatan sistem sensor-transduser, dan pemasangan motor *dc* untuk penggerak hidrolik silinder

Fisis miniatur *road blocker* sebagai media penginstalan sistem pengoperasian berbasis *PLC*. Bagian-bagian dari fisis sistem elektronis, yaitu (i) badan *road blocker* terbuat dari pelat besi ukuran 0,7 dengan lembaran *multi-plex* dengan ketebalan 9 mm sebagai alas miniatur *road blocker*, dudukan motor *dc* penggerak silinder

hidrolik, (ii) penempatan sensor pada badan *road blocker*, dan (iii) pengawatan terintegrasi. Penampang fisis miniatur *road blocker* dan penempatan sejumlah sensor-transduser, seperti ditunjukkan pada **Gambar 4**.

Berdasarkan **Gambar 4** dapat dijelaskan bahwa pembuatan miniatur *road blocker*

dilakukan melalui penyambungan antar material dengan mur-baut. Kayu lapis “*multiplex*” yang berada di tengah akses sebagai badan *road blocker* sekaligus terhubung ke silinder hidrolik untuk pengangkatan *road blocker*, sedangkan pada Gambar #b) berupa pelat besi digunakan untuk penempatan sensor jarak.



Keterangan pada gambar:

- | | | |
|---|--|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Modul PLC Mitsubishi FX2N-32MR 2. <i>Switched-mode Power Supply</i> 12 Vdc 5A 3. <i>Push Button</i> untuk Start dan <i>Emergency Stop</i>. | <ol style="list-style-type: none"> 4. Modul untuk penggerak <i>Linear Actuator</i> 5. Modul <i>RFID Reader</i> 6. Modul relai dengan 4 channel 7. Modul untuk <i>Distance Sensor</i> | <ol style="list-style-type: none"> 8. Tampilan dari <i>RFID Reader</i> 9. Tampilan dari penggerak <i>Linear Actuator</i> 10. Tampilan dari <i>Distance Sensor</i> |
|---|--|--|

Gambar 5. Pemasangan sejumlah komponen pada papan sistem kendali

Papan operasi, pengawatan, dan pemasangan sistem PLC

Setiap komponen terpasang dan saling terintegrasi dalam sistem elektronis berbasis PLC untuk automasi pengendalian *road blocker*. Pemasangan sejumlah komponen pada sistem elektronis, seperti ditunjukkan pada **Gambar 5**.

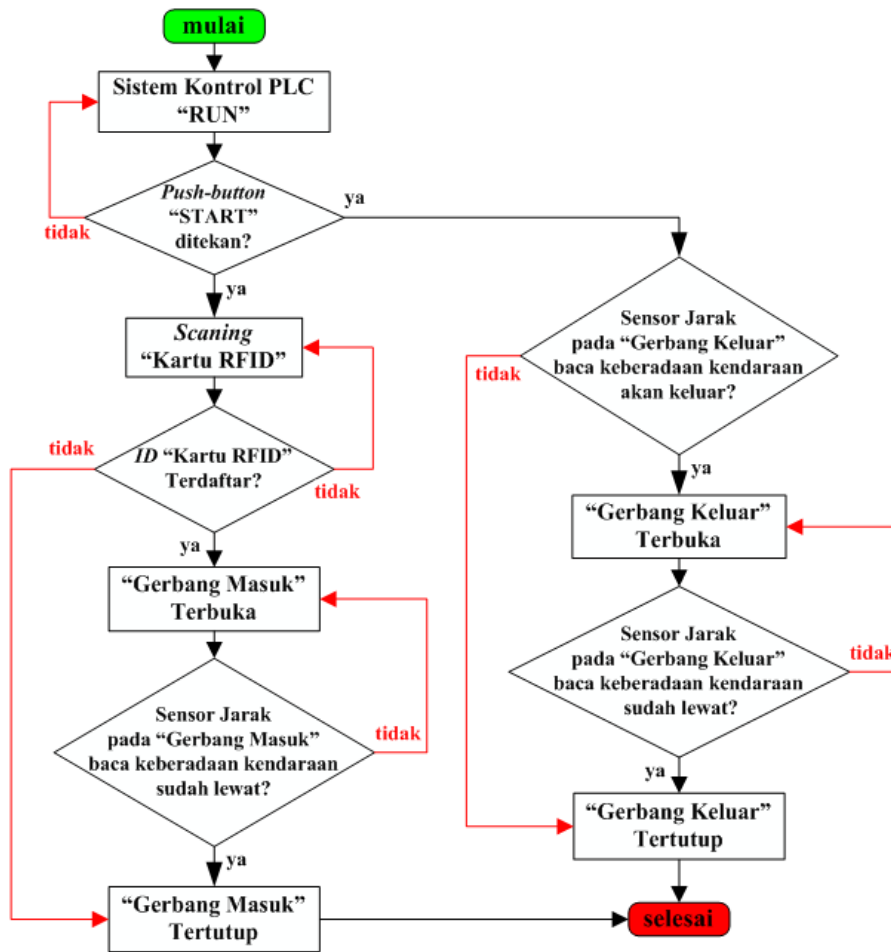
Berdasarkan **Gambar 5** dapat dijelaskan bahwa komponen-komponen disusun dan dilakukan pengintegrasian pengawatan pada lembaran akrilik; terdapat dua jalur catu daya, yaitu catu daya 220 Vac dan 12 Vdc dengan masukan (*input*) dan keluaran (*output*) pada PLC digunakan seperti kabel berbeda untuk kutub positif dan negative penghubungan ke catu daya 220 Vac dengan tusuk kontak.

Struktur Program Berbasis Ladder Diagram untuk Sistem PLC

Pemrograman sistem PLC didasarkan pada penentuan algoritma dan penyusunan *ladder diagram* berbantuan aplikasi *GX Developer/GX Work* untuk penyesuaian pemasangan NC dan NO dan pemberian alamat *input* dan *output* saat penyusunan *ladder diagram* dan penyimpanan data ke dalam memori di PLC.

Penentuan algoritma

Penentuan algoritma digunakan untuk pemasangan NC dan NO yang disesuaikan dengan mekanisme operasi purwarupa sistem kendali. Algoritma pemrograman dibuat dalam berbentuk *flow chart*. Algoritma berbentuk *flow chart* untuk automasi pengoperasian, seperti ditunjukkan pada **Gambar 6**.

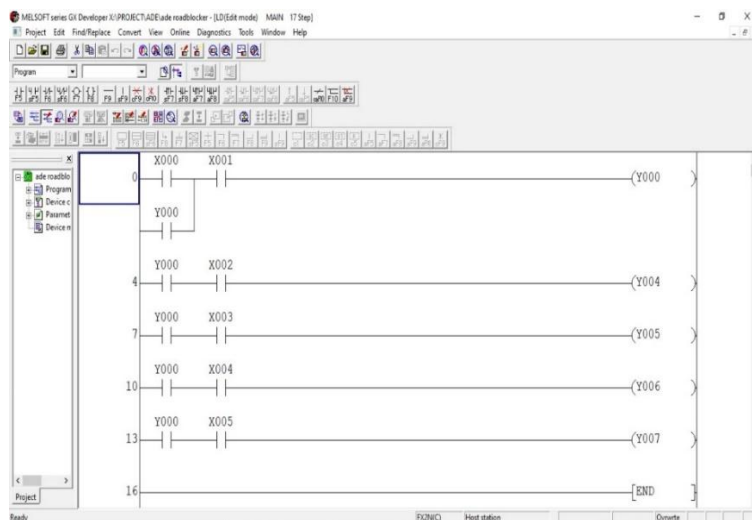


Gambar 6. Algoritma berbentuk *flow chart* untuk automasi pengoperasian

Penyusunan ladder diagram

Penyusunan *ladder diagram* digunakan untuk penyesuaian alamat *input* dan *output* dan penyimpanan data ke dalam memori di PLC.

Salah satu tampilan susunan *ladder diagram*, seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Salah satu tampilan susunan *ladder diagram*

Pengalamatan *input* dan *output* pada PLC harus ditentukan untuk kemudahan dalam proses pemrograman dan pengawatan antar komponen. Pengalamatan *input* dan *output* untuk PLC Mitsubishi FX2N-32MR, seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengalamatan *input* dan *output* untuk PLC Mitsubishi FX2N-32MR

<i>Input</i>		<i>Output</i>	
Alamat PLC	Alamat Purwarupa	Alamat PLC	Alamat Purwarupa
X000	Push-button "START"	Y000	Interlock untuk "START" device
X001	Push-button "STOP"	Y001	
X002	Sensor RFID untuk buka "gerbang"	Y002	
X003	Sensor Jarak untuk tutup "gerbang"	Y003	
X004	Sensor Jarak untuk buka "gerbang"	Y004	Penggerak motor <i>dc</i> untuk pembukaan "gerbang"
X005	Sensor Jarak untuk tutup "gerbang"	Y005	Penggerak motor <i>dc</i> untuk penutupan "gerbang"
X006	Sensor Jarak untuk pembaca kendaraan	Y006	Penggerak motor <i>dc</i> untuk pembukaan "gerbang keluar"
X007		Y007	Penggerak motor <i>dc</i> untuk penutupan "gerbang keluar"

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilakukan penyimpanan data pada memori PLC yang didahului oleh oleh proses *compiling* dan *uploading* struktur *ladder diagram*.

Kinerja Sistem Kendali Berbasis PLC

Subbab ini meliputi (i) kinerja saat sinkronisasi antara purwarupa system kendali dan mekanisme pada system PLC, (ii) pengamatan terhadap pembacaan sensor-sensor terpasang, dan (iii) pengamatan dan pengukuran awal waktu proses pengangkatan/penurunan miniatur *road blocker*. Kinerja sistem kendali untuk pengoperasian otomatis miniatur *road blocker* dengan kontrol PLC berpedoman pada rancangan awal. Purwarupa pengoperasian miniatur *road blocker* dalam satu mode, yaitu mode *auto*. Sistem pengoperasian miniatur badan *road blocker* dalam posisi operasi, maka program pengoperasian miniatur *road blocker* pada PLC

kondisi aktif. Papan pengoperasian miniatur badan *road blocker*, meliputi (i) *push-button* "START" yang difungsikan untuk pengoperasian sistem masukan dan pengeluaran pada PLC, dan (ii) *push-button* "EMERGENCY STOP" difungsikan sebagai pemutus sistem untuk pencegahan apabila terjadi "error" pada sistem dan untuk pengisolasian pada area terbatas.

Pengamatan terhadap pembacaan sensor-sensor pada sistem kendali pengoperasian miniatur *road blocker* dapat diamati dari prinsip operasi purwarupa sistem kendali, yaitu, (a) *step* pengaktifan perangkat, melalui (i) kepastian tegangan pasokan untuk sistem sebesar 220 Vac telah siap (*stand by*) dan (ii) dipastikan sistem PLC dalam posisi "RUN"; (b) untuk pengoperasian perangkat dilakukan dengan *auto*, untuk pembacaan kendaraan masuk diperoleh dari posisi sensor RFID, dengan urutan *step* pertama posisi PLC sudah "RUN" dengan penekanan *push-button* warna hijau dan kondisi jalur masuk *road blocker* turun ketika modul RFID deteksi kartu yang sudah disesuaikan, *road blocker* terangkat dan ketika sensor jarak deteksi keberadaan kendaraan yang sudah lewat dengan batas maksimal 1 kendaraan, dan dalam posisi jalan keluar *road blocker* akan turun apabila kendaraan terdeteksi oleh sensor jarak PING, naik kembali apabila sensor jarak PING deteksi maksimal 1 kendaraan yang keluar area tersebut, dan apabila kendaraan ke-2 lakukan terobosan, maka kendaraan tersebut terhalang oleh *road blocker*. Berdasarkan prinsip operasi purwarupa sistem kendali, dapat diamati untuk sensor-sensor terpasang pada purwarupa sistem kendali, apakah sudah berfungsi seperti yang sudah diprogramkan ke dalam sistem PLC.

Pengamatan dan pengukuran awal waktu proses berupa kondisi saat pengangkatan/penurunan miniatur *road blocker* berbantuan sistem hidrolik, merupakan salah satu tolok ukur apakah purwarupa sistem kendali telah beroperasi secara normal dan sesuai dengan yang diinginkan. Pengamatan dan pengukuran waktu proses pengangkatan/penurunan miniatur *road blocker*, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengamatan dan pengukuran waktu proses penurunan/pengangkatan miniatur *road blocker*

Uji Coba; Kondisi	Penurunan	Pengangkatan
#1; Jalur Masuk	10,23 detik	10,31 detik
#1; Jalur Keluar	10,2 detik	10,32 detik
#2; Jalur Masuk	10,2 detik	10,3 detik
#2; Jalur Keluar	10,25 detik	10,3 detik

Berdasarkan **Tabel 2** ditunjukkan bahwa proses pengangkatan miniatur *road blocker* berbantuan sistem hidrolik lebih lama dengan selisih waktu pada kisaran 0,05 sampai 0,12 detik dibandingkan proses penurunan miniatur *road blocker*. Hal itu lebih ditekankan kepada keberadaan gaya gravitasi bumi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan, maka dapat ditarik kesimpulan sesuai sasaran penelitian. Perolehan bentuk fisis sistem elektronis berbasis PLC telah terintegrasi secara perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*), sehingga dapat digunakan model keamanan area terbatas melalui pengoperasian secara otomatis miniatur *road blocker*. Kinerja sistem kendali ditekankan kepada saat sinkronisasi antara purwarupa sistem kendali dan mekanisme pada sistem PLC, pengamatan terhadap pembacaan sensor-sensor terpasang, dan pengamatan dan pengukuran waktu proses pengangkatan/penurunan miniatur *road blocker*.

Saran

Saran untuk pengembangan penelitian ini pada masa mendatang berupa penambahan sistem berbasis kamera secara *online* agar dapat dilakukan perekaman secara terus-menerus.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ahmed YEE, Agoub AMA, and Idris FEA. "Design and Simulation of an Embedded Computer System for Fabric Structure," *International Journal of Computer Application*, vol. 64, no. 7, pp. 24-27, 2013, <http://dx.doi.org/10.5120/10647-5405>
- [2] Liu X, Chen X, and Kong F. "Utilization Control and Optimization of Real-Time Embedded Systems," *Foundations and Trends® in Electronic Design Automation*, vol. 9, no. 3, pp. 211-307, 2015, <https://doi.org/10.1561/1000000042>
- [3] Jiang K. *Security-driven Design of Real-time Embedded Systems*, Ph.D. Dissertation, Department of Computer and Information Science, Linköping University, Linköping, Sweden, 2016, <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:881552/FULLTEXT01.pdf>
- [4] Texas Instrument, *Embedded System Design using TIVA*, 2017, pp. 12-54. [Online]. Available: <https://www.ti.com/seclit/ml/ssqu017/ssqu017.pdf>.
- [5] Goeritno A, dan Herutama Y, "Prototipe Sistem Elektronis Berbantuan PC untuk Pemantauan Kondisi Pasokan Daya Listrik," *Jurnal Rekayasa Elektrika*, vol. 14, no. 2, pp. 96-104, Agustus 2018, <http://dx.doi.org/10.17529/jre.v14i2.10904>.
- [6] Bhunia S, and Tehranipoor M. "A Quick Overview of Electronic Hardware," *Hardware Security*, pp. 23-45, 2019, <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812477-2.00007-1>
- [7] Kandray DE. "Introduction to Programmable Logic Controllers," in *Programmable Automation Technologies: An Introduction to CNC, Robotics, and PLCs*. New York, NY: Industrial Press, Inc., 2010, pp. 1-29.
- [8] NEMA (the National Electrical Manufacturers Association). 2013. NEMA ICS 61131-1-2005 (R2013). [Online] Available: [https://www.nema.org/Standards/ComplementaryDocuments/ICS%2061131%201-2005\(R2013\)-contents-and-scope.pdf](https://www.nema.org/Standards/ComplementaryDocuments/ICS%2061131%201-2005(R2013)-contents-and-scope.pdf)
- [9] Bolton W. *Programmable Logic Controllers*, 6th ed. Burlington, MA: Newnes, 2015, pp. 1-19.
- [10] NEMA (the National Electrical Manufacturers Association), 2015. *NEMA ICS 61131-1-2005 (R2013), IEC Publication 61131-1 Programmable Controllers Part 1: General Information*. [Online] (Updated 12 August 2015) Available: [https://www.nema.org/docs/default-source/standards-document-library/ics-61131-1-2005\(r2013\)-contents-and-scope.pdf?sfvrsn=cf9fc601_2](https://www.nema.org/docs/default-source/standards-document-library/ics-61131-1-2005(r2013)-contents-and-scope.pdf?sfvrsn=cf9fc601_2). [Accessed 30 January 2020]
- [11] Patel D. *Introduction Practical PLC (Programmable Logic Controller) Programming*. Munich, Grin Verlag, 2017.
- [12] Occupational Safety and Health Administration (OSHA) – U.S.DoL. Confined Space. [Online]. Available: <https://www.osha.gov/confined-spaces>
- [13] Goeritno A, and Pratama S. "Rancang-Bangun Prototipe Sistem Kontrol Berbasis Programmable Logic Controller untuk Pengoperasian Miniatur Penyortiran Material," *Jurnal Rekayasa Elektrika*, vol. 16, no. 3, pp. 198-206, Desember 2020, <http://dx.doi.org/10.17529/jre.v16i3.14905>
- [14] Tirta S, and Goeritno A, "Simulator Berbasis PLC untuk Pengaturan Lalu-lintas

- Jalan Raya pada Perlintasan Jalur Kapal,” *Jurnal RESTI*, vol. 4, no. 6, pp. 1007-1016, Desember 2020, <https://doi.org/10.29207/resti.v4i6.2668>
- [15] Wildan M, Goeritno A, and Irawan J. “Embedded device berbasis PLC pada miniatur konveyor untuk pengoperasian simulator rejection system,” *Jurnal RESTI*, vol. 5, no. 2, pp. 301-311, April 2021, <https://doi.org/10.29207/resti.v5i2.2994>
- [16] Riyandar R, Wildan M, Goeritno A, and Irawan J. “Pengembangan embedded device berbasis PLC untuk simulator rejection system dengan penambahan human machine interface,” *Jurnal RESTI*, vol. 5, no. 6, pp. 1171-1181, Desember 2021, <https://doi.org/10.29207/resti.v5i6.3641>
- [17] Purnomo AD, Goeritno A, and Nugroho DA. “Simulator proses pengisian dan pemasangan tutup botol terkendali PLC berbantuan miniatur konveyor,” *Jurnal RESTI*, vol. 5, no. 4, pp. 774-782, Agustus 2021, <https://doi.org/10.29207/resti.v5i4.3189>
- [18] Nugroho DA, Goeritno A, and Purnomo AD. “Sistem Tertanam Berbasis PLC pada Simulator Pemberian Label dan Pemisahan Botol,” *Jurnal RESTI*, vol. 5, no. 5, pp. 884-895, Oktober 2021, <https://doi.org/10.29207/resti.v5i5.3455>
- [19] Pawar R, and Bhasme NR. “Application of PLC’s for Automation of Processes in Industries,” *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, vol. 6, no. 6, pp. 53-59, June 2016, https://www.ijera.com/papers/Vol6_issue6/Part%20-%203/I0606035359.pdf.
- [20] Alphonsus ER, and Abdullah MO. “A review on the applications of programmable logic controllers (PLCs),” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 60 (C), pp. 1185-1205, July 2016, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.025>
- [21] Saleh MS, Mohammed KG, Shuker ZS, and Sameen AZ. “Design and Implementation of PLC-Based Monitoring and Sequence Controller System,” *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*, vol 10, no. 02-special issue, pp. 2281-2289, January 2018.
- [22] Langmann R, and Stiller M. “The PLC as a Smart Service in Industry 4.0 Production Systems,” *Applied Science*, vol. 9, no. 3815, pp. 1-22, Sept. 2019, <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/18/3815/htm>.
- [23] Choudhary A, and Abidi SB. “PLC based Sorting System using Metal Detection,” *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, vol. 07, no. 04, pp. 6350-6355, Apr. 2020.
- [24] Ebert C, and Salecker J. “Embedded Software– Technologies and Trends,” *IEEE Software*, vol. 26, no. 3, pp. 14-18, 2009, <https://doi.org/10.1109/MS.2009.70>
- [25] Rodriguez-Sanchez MC, Torrado-Carvajal A, Vaquero J, Borromeo S, and Hernandez-Tamames JA. “An Embedded Systems Course for Engineering Students Using Open-Source Platforms in Wireless Scenarios,” *IEEE Transactions on Education*, vol. 59, no. 4, pp. 248-254, Nov. 2016, <https://doi.org/10.1109/TE.2016.2526676>
- [26] Garousi V, Felderer M, Karapıçak CM, and Yılmaz U. “Testing embedded software: A survey of the literature,” *Information and Software Technology*, vol 104, pp. 14-45, July 2018, doi:10.1016/j.infsof.2018.06.016
- [27] Hadi TR, Perancangan dan Uji Kualitas Software Simulasi Virtual “Digichip” Platform Android Penunjang Mobile-Virtual Learning Untuk Kejuruan Teknik Mekatronika, Tesis, Program Studi Pendidikan Teknologi dan Kejuruan, Program Pascasarjana, Universitas Negeri Yogyakarta, 2018, <https://eprints.uny.ac.id/64874/1/tesis-titih%20rejyasmito%20hadi-14702251086.pdf>
- [28] Goeritno A, Nurmansyah D, and Maswan. “Safety instrumented systems to investigate the system of instrumentation and process control on the steam purification system,” *International Journal of Safety and Security Engineering*, vol. 10, no. 5, pp. 609-616, Oct. 2020, <https://dx.doi.org/10.18280/ijss.100504>
- [29] Goeritno A, Nugraha I, Rasiman S, and Johan A. “Injection current into the power transformer as an internal fault phenomenon for measuring the differential relay performance,” *Instrumentation Measure Métrologie.*, vol. 19, no. 6, pp. 443-451, Dec. 2020, <https://dx.doi.org/10.18280/i2m.190605>
- [30] Goeritno A, Setyawibawa I, and Suhartono D. “Designing a microcontroller-based half duplex interface device drove by the touch-tone signal,” *J. INFOTEL*, vol. 13, no. 4, pp.

205-215, Nov. 2021,
<https://doi.org/10.20895/infotel.v13i4.712>

- [31] Goeritno A, and Setyawibawa I. "An Electronic device reviewed by diagnosing on the module embodiment," *International Journal of Electronics, Communications, and Systems*, vol. 1, no. 2, pp. 41-55, Dec. 2021,
<http://dx.doi.org/10.24042/ijecs.v1i2.10383>

- [32] Prayudyanto MN, Goeritno A, Ikhsan SHA, Taqwa FML. "Designing a model of the early warning system on the road curvature to prevent the traffic accidents," *International Journal of Safety and Security Engineering*, vol. 12, no. 3, pp. 291-298, June 2022,
<https://dx.doi.org/10.18280/ijssse.120303>