

**Implementasi Trainer Kit Sistem Kontrol Distribusi Dan
Penyortiran Benda Kerja Logam – Nonlogam
Berbasis Plc Schneider Tm221ce16r**

Mochammad Aldi Mauludin^{1*)}, Ivan Hanafi¹, Widodo¹

¹Pendidikan Teknologi Kejuruan, Fakultas Teknik,
Universitas Negeri Jakarta, Jakarta, 13220, Indonesia

*)E-mail: Mochammadmauludin39@guru.smk.belajar.id

Abstrak: Perkembangan teknologi otomasi industri membutuhkan media pembelajaran yang mampu menggambarkan proses kerja sistem kontrol secara nyata dan aplikatif. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan trainer kit sistem kontrol distribusi dan penyortiran benda kerja logam–nonlogam berbasis Programmable Logic Controller (PLC) Schneider TM221CE16R sebagai media pendukung pembelajaran otomasi industri. Sistem dikendalikan menggunakan program ladder diagram melalui perangkat lunak EcoStruxure Machine Expert Basic untuk mengatur proses pendeteksian, distribusi, dan penyortiran benda kerja secara otomatis. Komponen utama yang digunakan meliputi sensor inframerah, sensor proximity, motor konveyor, solenoid valve, silinder pneumatik, dan Human Machine Interface (HMI) untuk pemantauan dan pengendalian sistem. Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) dengan pendekatan kuantitatif melalui pengujian fungsi dan kinerja operasional trainer kit. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berhasil menjalankan proses penyortiran sesuai dengan logika kontrol yang dirancang dalam 20 kali pengujian dengan tingkat kesesuaian sebesar 100%. Pengukuran tegangan keluaran pada kondisi HIGH menunjukkan rentang 21,72–21,75 V pada sensor inframerah dan 21,21–21,23 V pada sensor proximity. Sementara itu, tegangan pada solenoid valve tercatat sebesar 22,04–22,05 V selama pengujian. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sensor, program kontrol, dan aktuator dapat beroperasi sesuai dengan rancangan sistem. Dengan demikian, trainer kit yang dikembangkan berpotensi digunakan sebagai media pembelajaran untuk mendukung pemahaman mahasiswa mengenai penerapan PLC dalam sistem distribusi dan penyortiran benda kerja secara otomatis.

Kata kunci: trainer kit; Programmable Logic Controller (PLC); ladder diagram; penyortiran otomatis; otomasi industri.

***Implementation Of A Trainer Kit For A Distribution And Sorting Control System For
Metallic And Non-Metallic Workpieces Based On The Schneider Tm221ce16r Plc***

Abstract: Advances in industrial automation technology require learning materials that can realistically and practically illustrate the operational processes of control systems. This study aims to design and implement a trainer kit for a distribution and sorting control system based on a Programmable Logic Controller (PLC), specifically the Schneider TM221CE16R, to support industrial automation learning. The system is controlled using a ladder diagram program developed in EcoStruxure Machine Expert Basic software to manage the automatic detection, distribution, and sorting of metal and non-metal workpieces. The main components include infrared sensors, proximity sensors, a conveyor motor, a solenoid valve, a pneumatic cylinder, and a Human-Machine Interface (HMI) for system monitoring and control. This study

employs a Research and Development (R&D) methodology with a quantitative approach to evaluate the functional performance and operational reliability of the developed trainer kit. The test results show that the system successfully performed the sorting process according to the designed control logic, achieving 100% conformity across 20 test trials. Output voltage measurements under HIGH conditions ranged from 21.72 to 21.75 V for the infrared sensor and from 21.21 to 21.23 V for the proximity sensor. Meanwhile, the voltage measured at the solenoid valve ranged from 22.04 to 22.05 V during testing. These findings indicate that the sensors, control program, and actuators operated according to the system design. Therefore, the developed trainer kit has the potential to support student learning by facilitating an understanding of PLC applications in automated workpiece distribution and sorting systems.

Keywords: *trainer kit; Programmable Logic Controller (PLC); ladder diagram; automatic sorting; industrial automation.*

PENDAHULUAN

Transformasi industri menuju *Industry 4.0* dan perkembangan menuju *Industry 5.0* telah mengubah paradigma sistem produksi dari proses manual menjadi sistem otomasi yang terintegrasi. Teknologi seperti *Programmable Logic Controller* (PLC), sensor, *Human Machine Interface* (HMI), *Internet of Things* (IoT), serta sistem kontrol berbasis jaringan telah menjadi standar pada berbagai sektor industri manufaktur (Longo, *et al.* 2022). Kondisi tersebut menuntut dunia pendidikan vokasi untuk menghasilkan lulusan yang tidak hanya menguasai teori, tetapi juga memiliki kompetensi praktik yang sesuai dengan teknologi yang digunakan di dunia usaha dan dunia industri (DUDI) (Suhartini, dkk. 2022). Pemerintah melalui Direktorat Jenderal Pendidikan Vokasi juga menegaskan bahwa penguatan pembelajaran berbasis praktik, *teaching factory*, sertifikasi kompetensi, dan penyelarasan kurikulum dengan kebutuhan industri merupakan strategi utama dalam meningkatkan daya saing lulusan SMK.

Pada bidang otomasi industri, *Programmable Logic Controller* (PLC) merupakan perangkat pengendali yang paling banyak digunakan untuk mengendalikan mesin produksi, *conveyor*, robot industri, sistem distribusi material, dan proses penyortiran otomatis. PLC mampu mengintegrasikan berbagai perangkat masukan (*input*) berupa sensor dengan perangkat keluaran (*output*) seperti motor, aktuator pneumatik, *solenoid valve*, maupun indikator sehingga menghasilkan sistem produksi yang efisien, fleksibel, dan mudah diprogram ulang (Herdiana, H. 2024). Perkembangan industri saat ini menunjukkan bahwa PLC tidak lagi digunakan sebagai pengendali tunggal, melainkan menjadi bagian dari sistem otomasi yang saling terhubung melalui komunikasi industri dan Ethernet (Jatmiko, B. 2021). Oleh karena itu, penguasaan kompetensi pemrograman PLC menjadi salah satu keterampilan utama yang harus dimiliki oleh lulusan pendidikan vokasi.

Sejalan dengan perkembangan tersebut, *Schneider Electric* sebagai salah satu produsen

otomasi industri secara aktif mendorong peningkatan kompetensi peserta didik SMK melalui berbagai program pendidikan vokasi dan kompetisi otomasi industri. Dalam implementasinya, *PLC Schneider Modicon M221* telah banyak digunakan sebagai perangkat pembelajaran maupun perangkat industri karena memiliki kemampuan komunikasi Ethernet, mendukung bahasa pemrograman IEC 61131-3 melalui *EcoStruxure Machine Expert Basic*, serta memiliki fleksibilitas tinggi untuk berbagai aplikasi otomasi skala kecil dan menengah (M. , A. A. Hadid, 2021). Penggunaan PLC yang sesuai dengan standar industri diharapkan mampu mengurangi kesenjangan kompetensi antara lulusan SMK dan kebutuhan dunia kerja (Nasution M. I . 2020)

Meskipun demikian, proses pembelajaran otomasi industri di SMK masih menghadapi beberapa kendala. Salah satu permasalahan utama adalah keterbatasan media praktik yang mampu mensimulasikan proses produksi industri secara nyata (C. A. Lestari, 2023). Trainer PLC yang tersedia umumnya masih berorientasi pada latihan input-output dasar seperti pengendalian lampu indikator, motor sederhana, atau simulasi logika dasar sehingga belum memberikan pengalaman belajar mengenai sistem produksi yang sesungguhnya. Akibatnya, peserta didik kurang memperoleh pengalaman dalam mengintegrasikan sensor, aktuator, conveyor, sistem penyortiran, serta pemrograman PLC secara komprehensif. Kondisi ini berpengaruh terhadap kesiapan peserta didik dalam menghadapi uji kompetensi maupun kebutuhan dunia kerja yang menuntut penguasaan sistem otomasi secara menyeluruh.

Salah satu sistem otomasi yang banyak diterapkan di industri adalah sistem distribusi dan penyortiran benda kerja (*distribution and sorting system*). Sistem ini digunakan pada industri manufaktur, logistik, makanan dan minuman, farmasi, maupun industri otomotif untuk memisahkan produk berdasarkan karakteristik tertentu, seperti ukuran, warna, berat, maupun jenis material. Pada penelitian ini, proses penyortiran dilakukan berdasarkan karakteristik logam dan non-logam menggunakan sensor logam (*inductive proximity sensor*) yang dikendalikan oleh PLC Schneider TM221CE16R. Sistem tersebut dipilih karena mampu merepresentasikan proses otomasi industri yang melibatkan integrasi sensor, conveyor, aktuator, dan logika kontrol sehingga sangat sesuai digunakan sebagai media pembelajaran mekatronika.

Pengimplementasi Trainer Kit Sistem Kontrol Distribusi dan Penyortiran Benda Kerja Logam–Non Logam Berbasis PLC Schneider TM221CE16R diharapkan dapat menjadi solusi terhadap keterbatasan media pembelajaran praktik. Trainer kit dirancang menyerupai miniatur sistem produksi industri yang memungkinkan peserta didik mempelajari pemrograman PLC, instalasi sensor, pengendalian aktuator, troubleshooting, commissioning, serta analisis proses

produksi secara langsung. Dengan demikian, pembelajaran tidak hanya berfokus pada penguasaan *ladder diagram*, tetapi juga mengembangkan kemampuan berpikir sistematis, pemecahan masalah, dan pengambilan keputusan sebagaimana diterapkan di dunia industri.

METODE

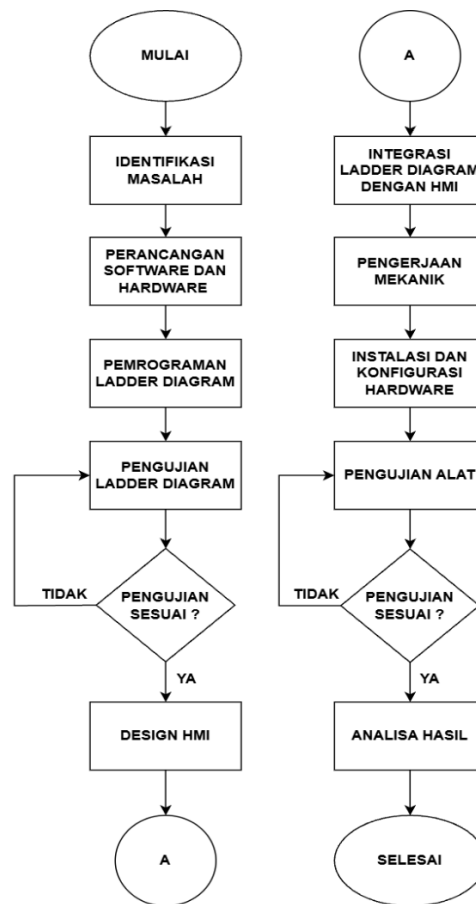
a. Desain Penelitian:

Penelitian ini menerapkan metode Penelitian dan Pengembangan (*Research and Development / R&D*) dengan pendekatan kuantitatif untuk menguji keandalan fisik dan unjuk kerja operasional *trainer kit* yang dikembangkan. Pendekatan ini didukung oleh kajian dari Herdiana (2024) yang menyatakan bahwa “*integrasi perangkat berbasis PLC dalam sistem otomasi menuntut pengujian kuantitatif yang presisi pada setiap komponen masukan dan keluaran guna menjamin kestabilan serta efisiensi sistem saat dijalankan*”. Oleh karena itu, pendekatan kuantitatif dalam penelitian ini diimplementasikan melalui serangkaian pengukuran fisik, meliputi fluktuasi tegangan pada terminal input/output PLC, tingkat akurasi deteksi sensor (inframerah dan *proximity*), serta respons mekanis silinder pneumatik dalam memilah benda kerja. Data pengukuran fisik tersebut dianalisis secara deskriptif kuantitatif untuk membuktikan bahwa seluruh sistem kontrol distribusi dan penyortiran logam–nonlogam telah berfungsi stabil sesuai dengan spesifikasi teknis yang dirancang

b. Prosedur Penelitian

Perancangan *trainer kit* (gambar 3.1) untuk sistem distribusi dan penyortiran benda kerja logam dan non-logam terdiri dari dua tahap utama yaitu perancangan perangkat lunak dan perangkat keras. Tahap perancangan perangkat lunak meliputi penyusunan alur kerja sistem serta pembuatan program *ladder diagram* menggunakan perangkat lunak *EcoStruxure Machine Expert Basic*. Program dirancang untuk mengimplementasikan logika pengendalian sistem, membaca sinyal masukan dari sensor, serta mengendalikan aktuator pada proses distribusi dan penyortiran benda kerja. Ketika sensor inframerah mendeteksi benda kerja akan mengaktifkan motor konveyor sehingga benda kerja bergerak menuju area identifikasi material. *Timer* konveyor mulai bekerja untuk menghitung waktu tempuh benda kerja menuju area penampungan. Selama proses perpindahan berlangsung, *sensor proximity* melakukan identifikasi jenis material benda kerja. Tahap lain terdapat perancangan desain *Human Machine Interface* (HMI) untuk media pemantauan dan pengendalian sistem secara *real time*. Tahap perancangan perangkat keras meliputi desain fisik *trainer kit*, penentuan tata letak

komponen, perancangan mekanisme distribusi dan jalur pergerakan benda, serta perakitan rangkaian listrik dan komponen lainnya



Gambar 1. Flowchart Perancangan

c. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan secara kuantitatif melalui dua metode utama, yaitu pengukuran parameter elektrik dan uji kinerja fungsional sistem pemilah. Pengukuran elektrik dilakukan menggunakan multimeter digital untuk mengukur nilai tegangan pada terminal *input* dan *output* (I/O) PLC Schneider TM221CE16R, baik dalam kondisi aktif (*state* High) maupun tidak aktif (*state* Low), guna memastikan kestabilan serta keamanan distribusi daya ke sensor dan aktuator. Selanjutnya, uji keakuratan pemilahan (*sorting*) dilakukan dengan menjalankan siklus kerja alat secara berulang pada benda kerja logam dan nonlogam untuk mengukur tingkat presisi pembacaan sensor inframerah serta *inductive proximity*. Prosedur pengumpulan data ini diperkuat oleh kajian terbaru dari Saputra dan Handayani (2024) yang menegaskan bahwa 'pengukuran tegangan kerja secara langsung pada terminal I/O PLC serta pengujian berulang terhadap akurasi respon sensor merupakan parameter krusial untuk meminimalkan kegagalan sistem kontrol pada

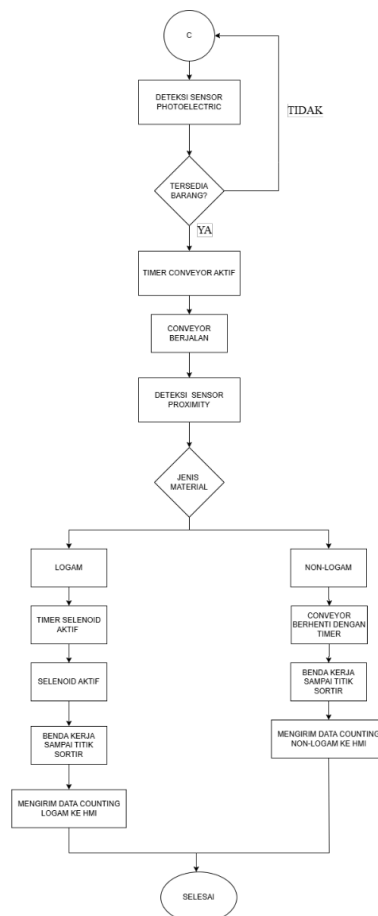
proses sortasi material'. Melalui integrasi kedua data kuantitatif ini, tingkat keandalan mekanis dan elektrik dari *trainer kit* yang dikembangkan dapat dianalisis secara akurat.

HASIL

a. Perancangan Alat

Cara kerja dari alat yang dirancang adalah benda kerja yang berada di atas konveyor akan diproses oleh PLC sebagai pengendali utama sistem penyortiran. Sensor inframerah digunakan untuk mendeteksi keberadaan benda kerja sebagai indikasi bahwa proses penyortiran dilakukan. Apabila benda kerja belum terdeteksi, motor konveyor tetap berada dalam kondisi berhenti. Ketika sensor inframerah mendeteksi benda kerja akan mengaktifkan motor konveyor sehingga benda kerja bergerak menuju area identifikasi material. *Timer* konveyor mulai bekerja untuk menghitung waktu tempuh benda kerja menuju area penampungan. Selama proses perpindahan berlangsung, sensor proximity melakukan identifikasi jenis material benda kerja.

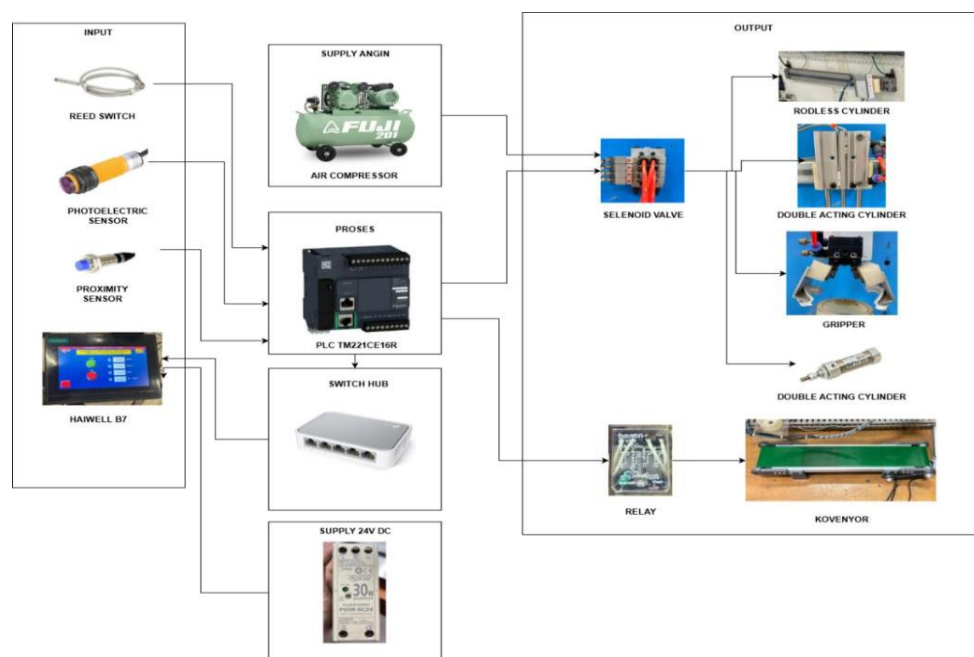
Sensor proximity menggunakan karakteristik material yang terdeteksi untuk membedakan benda kerja logam dari non-logam. Sinyal hasil deteksi kemudian diproses oleh PLC untuk menentukan tindakan penyortiran yang sesuai.



Gambar 2. Flowchart Cara Kerja Alat

Benda kerja teridentifikasi sebagai logam, PLC akan mengaktifkan solenoid sehingga mekanisme pemilah mengarahkan benda kerja ke wadah logam. Sebaliknya, jika kerja tidak terdeteksi sebagai logam, sistem akan mengarahkan benda kerja menuju jalur dan wadah non logam. Setelah benda kerja berhasil ditempatkan pada wadah, proses penyortiran dinyatakan selesai dan sistem melakukan pembaruan data jumlah benda kerja yang telah diproses. Data hasil penyortiran, baik logam maupun non logam, ditampilkan pada HMI karena dapat dipantau secara langsung dan sistem kembali ke kondisi awal dan siap untuk melakukan proses penyortiran pada benda kerja berikutnya.

b. Diagram Blok



Gambar 3. Diagram Blok

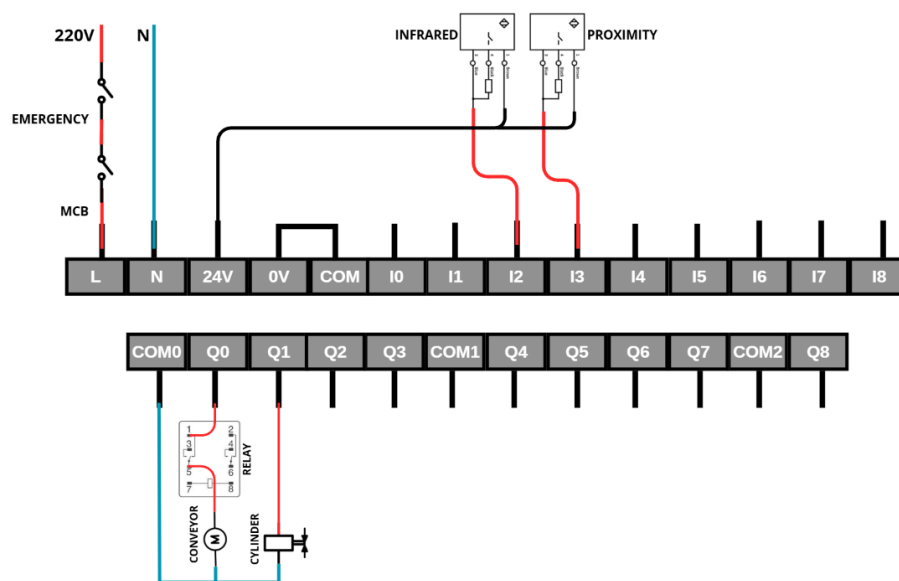
Pada Gambar 3.3 menunjukkan diagram blok *trainer kit* sistem kendali distribusi dan penyortiran benda kerja logam dan non logam yang menggambarkan hubungan antara bagian masukan, pemrosesan, dan keluaran dalam menjalankan sistem secara terintegrasi. Bagian masukan terdiri dari sensor dan *Human Machine Interface* (HMI) yang berfungsi memberikan informasi kepada *Programmable Logic Controller* (PLC) sebagai dasar pengambilan keputusan dalam proses pengendalian. Sensor yang digunakan meliputi SMC D-A93 *Auto Switch* untuk mendeteksi posisi piston silinder pneumatik, sensor inframerah E18- B03PI untuk mendeteksi keberadaan benda kerja pada konveyor, serta sensor proximity induktif tipe PNP yang digunakan untuk mengidentifikasi benda kerja logam.

Seluruh data dari sensor diproses oleh dua unit PLC Scheneider TM221CE16R yang memiliki fungsi berbeda. PLC 1 bertugas mengendalikan sistem distribusi material, termasuk proses pembacaan sensor, pengoperasian aktuator *gripper*, dan pemindahan benda kerja. PLC 2 berfungsi mengendalikan konveyor melaksanakan proses penyortiran berdasarkan jenis material, serta melakukan counting jumlah benda kerja hasil penyortiran. Komunikasi antara PLC dan HMI dilakukan melalui *Switch* Ethernet TP-Link TL-SF1005D menggunakan menggunakan protokol Modbus TCP/IP untuk memungkinkan pertukaran data terjadi secara *real-time*.

Bagian keluaran sistem terdiri dari aktuator dan antarmuka pemantauan. Solenoid *valve* SMC SY3120-5LZ-M5 digunakan untuk mengatur aliran udara menuju silinder pneumatik yang berfungsi melaukan proses pengambilan, pemindahan, dan pendorongan benda kerja. Konveyor berfungsi sebagai media transportasi benda kerja selama proses pernyortiran berlangsung. Informasi jumlah benda kerja yang telah diproses, status operasi sistem, serta notifikasi gangguan ditampilkan melalui HMI sehingga dapat dipantau secara langsung.

Integrasi antara perangkat masukan, unit pemroses, dan perangkat keluaran memungkinkan *trainer kit* bekerja secara otomatis sesuai urutan proses yang telah dirancang. Sistem mampu mendistribusikan dan menyortir benda kerja logam maupun non logam secara efektif serta memberikan gambaran penerapan sistem otomasi industri berbasis PLC dalam lingkungna pembelajaran.

c. Wiring Diagram



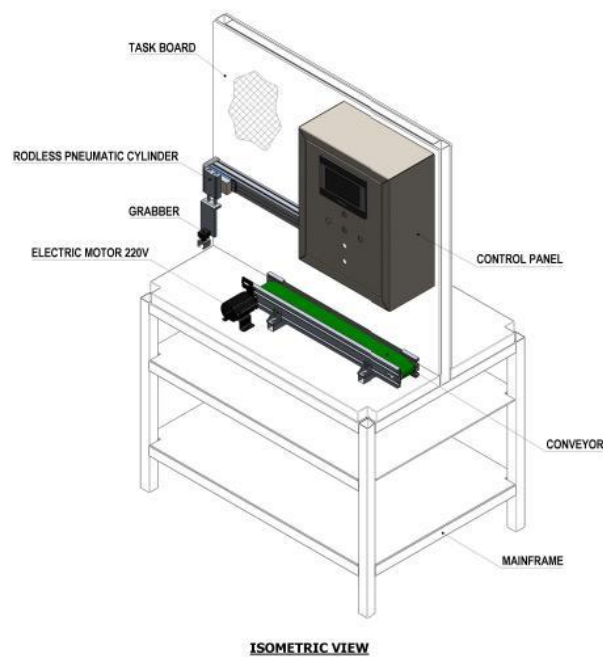
Gambar 4. Wiring Diagram PLC

Berdasarkan Gambar 3.4 menunjukkan rangkaian *Programmable Logic Controller* (PLC) yang digunakan pada sistem penyortiran benda kerja logam dan non logam. Sumber tegangan utama yang digunakan adalah 220 VAC yang terhubung ke terminal L dan N PLC. Jalur fasa dipasang emergency stop dan *Miniature Circuit Breaker* (MCB) sebagai perangkat pengaman sistem. Ketika terjadi kondisi darurat, *Emergency button* menghentikan seluruh operasi, MCB digunakan untuk melindungi rangkaian dari gangguan arus lebih maupun hubung singkat. PLC menyediakan keluaran 24 VDC yang digunakan sebagai sumber tegangan untuk sensor yang terpasang pada sistem.

Bagian *output*, terminal Q0 PLC dihubungkan dengan motor konveyor, terminal Q1 dihubungkan dengan solenoid *valve*. Motor konveyor berfungsi memindahkan benda kerja menuju area identifikasi dan penyortiran. *Output* Q0 aktif motor akan berputar sehingga benda kerja bergerak pada jalur konveyor. Aktivasi *output* Q1 akan mengoperasikan solenoid *valve* yang mengalirkan udara bertekanan ke silinder pneumatik. Gerakan silinder pneumatik tersebut digunakan untuk mengarahkan benda kerja ke jalur pemilahan yang sesuai. Proses dimulai ketika sensor inframerah mendeteksi adanya benda kerja pada konveyor. PLC kemudian mengaktifkan motor konveyor untuk membawa benda kerja menuju area identifikasi. Sensor proximity melakukan pemeriksaan jenis material benda kerja. Jika benda kerja yang terdeteksi merupakan logam, PLC akan mengaktifkan solenoid *valve* sehingga silinder pneumatik bergerak untuk memisahkan benda kerja ke wadah logam. Benda yang terdeteksi bukan logam, benda kerja akan tetap bergerak menuju wadah non logam. Dengan cara kerja tersebut, sistem dapat melakukan proses penyortiran secara otomatis sesuai dengan jenis material yang terdeteksi

d. Realisasi Alat

Rancangan *visual trainer kit* sistem distribusi dan penyortiran benda kerja logam dan non logam dalam tampilan isometric (Gambar 3.5). Rancangan ini menggambarkan integrasi komponen mekanik, pneumatik, dan sistem kontrol yang membentuk keseluruhan sistem. Desain tersebut menjadi acuan dalam proses pembuatan dan pemasangan komponen agar sesuai dengan fungsi dan kebutuhan operasional.

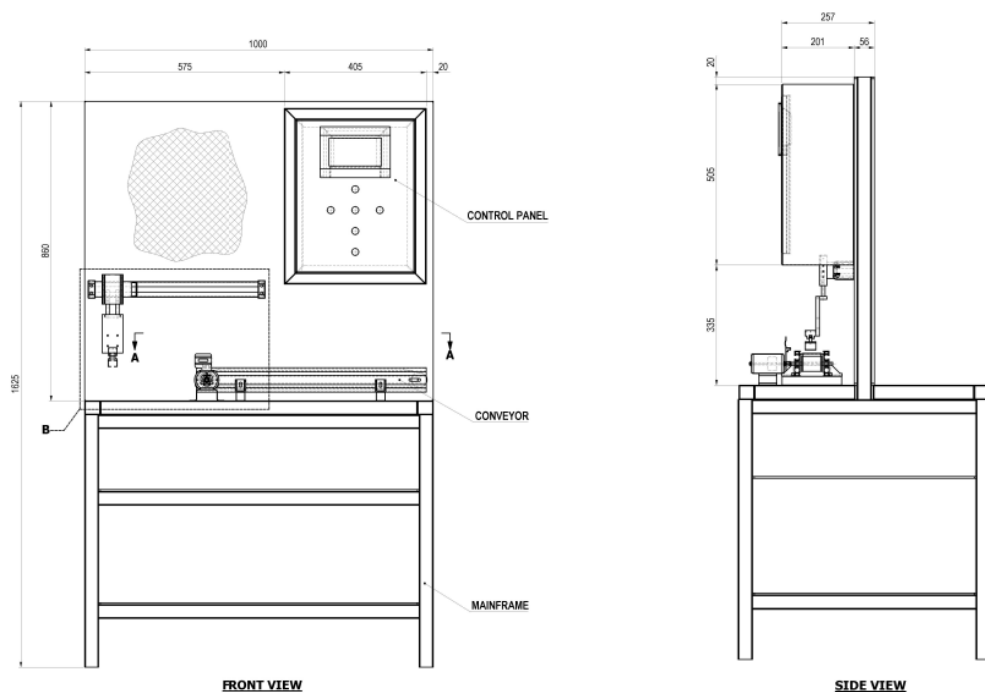


Gambar 5. Desain Visual 3D Tampak Isometric

Trainer kit menggunakan *mainframe* sebagai struktur penopang utama. Pada bagian atas rangka terpasang konveyor yang berfungsi memindahkan benda kerja selama proses distribusi dan penyortiran. Konveyor digerakan oleh motor listrik sehingga benda kerja dapat bergerak secara kontinu.

Diatas konveyor terpasang *rodless pneumatic cylinder* yang berfungsi sebagai aktuator pemindah benda kerja. Bagian silinder terdapat grabber yang digunakan untuk mengambil, memindahkan, dan meletakkan benda kerja sesuai urutan proses yang telah ditentukan. Penggunaan *rodless pneumatic cylinder* dipilih karena memiliki jangkauan gerak yang lebih panjang dan penggunaan ruang yang lebih efisien.

Sistem pengendalian terdapat pada *control panel* yang berisi *Programmable Logic Controller* (PLC), *Human Machine Interface* (HMI), relay, *power supply*, dan komponen lainnya. HMI berfungsi sebagai antarmuka antara pengguna dan sistem untuk melakukan pemantauan serta pengendalian proses. Bagian sisi *trainer kit* terdapat *task board* yang digunakan sebagai media pendukung pembelajaran dan penyediaan informasi terkait tata cara penggunaan alat



Gambar 6. Desain Visual 2D Tampak Depan (kiri) tampak samping (kanan)

Gambar 6 memperlihatkan tampilan depan (kiri) *trainer kit*, tampilan ini menggambarkan tata letak komponen utama beserta ukuran rancangan yang digunakan sebagai referensi dalam proses pembuatan dan perakitan *trainer kit*. *Trainer kit* dirancang dengan dimensi keseluruhan 1000mm x 600mm x 1625mm. Tampilan samping yang memperlihatkan susunan komponen dari sisi samping beserta dimensi yang digunakan sebagai acuan dalam proses perancangan.

PEMBAHASAN

a. Pengujian Sistem Sorting

Proses pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sistem pemilah logam dan non-logam berfungsi sesuai dengan rencana. Sistem yang diuji terdiri dari PLC yang berfungsi sebagai pengendali utama, sensor inframerah yang mendeteksi keberadaan objek, sensor proximity yang mendeteksi material logam, motor konveyor yang memindahkan objek, dan silinder pneumatik yang berfungsi sebagai aktuator pemilah. Selain itu, HMI berfungsi sebagai alat untuk memantau dan mengontrol sistem. Pengujian dilakukan dengan mengamati kinerja sensor dalam mendeteksi benda, kesesuaian urutan kerja konveyor dan aktuator pneumatik, serta keakuratan data counting jumlah benda logam, non-logam, dan total benda yang diproses oleh sistem.

Setelah seluruh prosedur pengujian dilaksanakan, diperoleh data hasil pengujian sistem pemilah logam dan non-logam berbasis PLC yang meliputi pengujian kinerja sensor inframerah dan sensor proximity sebagai sinyal masukan, pengujian kesesuaian status sinyal keluaran pada motor konveyor dan katup solenoid, pengujian keakuratan data *counting*, pengujian data aktual dengan *ladder diagram* serta pengujian tegangan pada komponen masukan dan keluaran dalam kondisi aktif maupun tidak aktif.

b. Data Hasil Pengujian Sensor

1. Sensor Inframerah

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor inframerah mengukur tegangan keluaran untuk mengidentifikasi keberadaan benda kerja. Pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan pada terminal masukan PLC yang terhubung dengan sensor inframerah menggunakan multimeter. Pengukuran dilakukan dengan dua kondisi, yaitu saat terdapat benda kerja dan tidak terdapat benda kerja. Ketika sensor mendeteksi benda kerja, sensor akan mengirim sinyal logika *high* yang diterima PLC sebagai perintah untuk mengaktifkan motor, apabila sensor tidak mendeteksi benda kerja kondisi konveyor akan mati dikarenakan logika yang dihasilkan sensor *low*.

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Sensor Inframerah

No	Tegangan Inframerah	Respon	Keterangan
1.	21.73	Mendeteksi	HIGH
2.	21.72	Mendeteksi	HIGH
3.	21.74	Mendeteksi	HIGH
4.	21.73	Mendeteksi	HIGH
5.	21.73	Mendeteksi	HIGH
6.	21.73	Mendeteksi	HIGH
7.	21.74	Mendeteksi	HIGH
8.	21.73	Mendeteksi	HIGH
9.	21.73	Mendeteksi	HIGH
10.	21.75	Mendeteksi	HIGH
11.	0	Tidak mendeteksi	LOW
12.	0	Tidak mendeteksi	LOW
13.	0	Tidak mendeteksi	LOW

No	Tegangan Inframerah	Respon	Keterangan
14.	0	Tidak mendeteksi	LOW
15.	0	Tidak mendeteksi	LOW
16.	0	Tidak mendeteksi	LOW
17.	0	Tidak mendeteksi	LOW
18.	0	Tidak mendeteksi	LOW
19.	0	Tidak mendeteksi	LOW
20.	0	Tidak mendeteksi	LOW

Data pada tabel 4.1 menunjukkan bahwa ketika sensor mendeteksi benda kerja tegangan yang terukur pada terminal yaitu 21,72 – 21,75 VDC dengan status logika *high*. Saat tidak terdapat benda kerja, tegangan yang terukur yaitu 0 VDC dengan status logika *low*.

Sensor inframerah menurut informasi yang disajikan dalam Tabel 4.1 diuji sebanyak 20 kali untuk mengetahui kemampuannya dalam mendeteksi objek. Pada percobaan ke-1 hingga ke-10, sensor berhasil mendeteksi objek dengan tegangan keluaran sebesar 21,72–21,75 V dan menghasilkan logika *HIGH*. Nilai tegangan yang relatif stabil menunjukkan bahwa sensor bekerja secara konsisten saat mendeteksi objek. Percobaan ke-11 hingga ke-20, sensor tidak mendeteksi objek sehingga tegangan keluarannya bernilai 0 V dengan logika *LOW*. Perubahan keluaran dari *HIGH* ke *LOW* menunjukkan bahwa sensor mampu membedakan kondisi terdapat dan tidak terdapat objek dengan baik. Secara keseluruhan, seluruh pengujian menunjukkan hasil yang sesuai, yaitu logika *HIGH* saat objek terdeteksi dan logika *LOW* saat objek tidak terdeteksi. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor inframerah memiliki kinerja yang stabil dan dapat berfungsi dengan baik sebagai perangkat pendeteksi objek pada sistem yang dirancang.

2. Sensor Proximity

Berdasarkan hasil pengujian, sensor proximity dapat mendeteksi benda kerja logam dengan menggunakan multimeter untuk mengukur tegangan pada terminal masukan PLC. Pengujian dilakukan pada kondisi terdapat dan tidak terdapat benda kerja logam. Ketika sensor mendeteksi benda kerja logam, sensor menghasilkan sinyal logika *high* yang diterima PLC untuk mengaktifkan solenoid *valve*, sehingga silinder pneumatik bergerak dan mengarahkan benda kerja ke wadah logam. Sebaliknya, saat tidak mendeteksi benda kerja logam, sensor

menghasilkan logika *low* sehingga solenoid *valve* dan silinder pneumatik tidak aktif, serta benda kerja akan menuju jalur non-logam.

Data pada Tabel 4.2 menunjukkan bahwa tegangan yang terukur pada terminal *input* PLC saat sensor mendeteksi benda kerja logam berada pada rentang 21,21 – 21,23 VDC dengan status logika *high*. Sementara itu, pada kondisi tidak terdapat benda kerja logam, tegangan yang terukur 0 VDC dengan status logika *low*.

Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Sensor Inframerah

No	Tegangan Inframerah	Respon	Keterangan
1.	21.22	Mendeteksi	HIGH
2.	21.21	Mendeteksi	HIGH
3.	21.21	Mendeteksi	HIGH
4.	21.22	Mendeteksi	HIGH
5.	21.23	Mendeteksi	HIGH
6.	21.22	Mendeteksi	HIGH
7.	21.22	Mendeteksi	HIGH
8.	21.22	Mendeteksi	HIGH
9.	21.22	Mendeteksi	HIGH
10.	21.22	Mendeteksi	HIGH
11.	0	Tidak mendeteksi	LOW
12.	0	Tidak mendeteksi	LOW
13.	0	Tidak mendeteksi	LOW
14.	0	Tidak mendeteksi	LOW
15.	0	Tidak mendeteksi	LOW
16.	0	Tidak mendeteksi	LOW
17.	0	Tidak mendeteksi	LOW
18.	0	Tidak mendeteksi	LOW
19.	0	Tidak mendeteksi	LOW
20.	0	Tidak mendeteksi	LOW

Sensor proximity diuji dua puluh kali untuk Mengetahui kemampuan untuk mendeteksi benda kerja logam, seperti yang ditunjukkan dalam data pada Tabel 4.2. Percobaan ke-1 hingga ke-10, sensor berhasil mendeteksi benda kerja logam dengan tegangan

keluaran sebesar 21,21–21,23 V dan menghasilkan logika *HIGH*. Nilai tegangan yang relatif konstan menunjukkan bahwa sensor bekerja secara stabil selama proses pendeteksian. Pada percobaan ke-11 hingga ke-20, sensor tidak mendeteksi benda kerja logam sehingga tegangan keluarannya bernilai 0 V dengan logika *LOW*. Perubahan keluaran dari *HIGH* ke *LOW* menunjukkan bahwa sensor mampu membedakan keberadaan dan ketiadaan benda kerja logam dengan baik. Secara keseluruhan, seluruh pengujian menunjukkan hasil yang sesuai, yaitu logika *HIGH* saat benda kerja logam terdeteksi dan logika *LOW* saat tidak terdeteksi. Hasil ini mengidentifikasi bahwa sensor proximity kerja secara akurat, stabil, dan layak digunakan sebagai sensor pendeteksi pada sistem yang dirancang.

3. Data Pengujian Aktual Dengan Ladder Diagram

Pengujian aktual menggunakan *ladder* diagram dilakukan untuk membandingkan kondisi kerja sistem dengan logika program yang telah dirancang pada PLC. Pengujian dilakukan dengan mengamati status sensor inframerah, sensor proximity, motor konveyor, dan katup pneumatik pada kondisi aktual sistem, kemudian membandingkannya dengan kondisi yang ditampilkan pada *ladder* diagram. Data hasil pengujian disajikan pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Ladder Diagram

No	Deteksi IR	Deteksi Proximity	Status Valve	Status Motor	Akttual Valve	Aktual Motor	Benda kerja	Hasil
1	1	0	0	1	Mati	Aktif	Plastik	Sesuai
2	1	1	1	1	Aktif	Aktif	Logam	Sesuai
3	1	0	0	1	Mati	Aktif	Plastik	Sesuai
4	1	1	1	1	Aktif	Aktif	Logam	Sesuai
5	1	0	0	1	Mati	Aktif	Plastik	Sesuai
6	1	1	1	1	Aktif	Aktif	Logam	Sesuai
7	1	0	0	1	Mati	Aktif	Plastik	Sesuai
8	1	1	1	1	Aktif	Aktif	Logam	Sesuai
9	1	0	0	1	Mati	Aktif	Plastik	Sesuai
10	1	1	1	1	Aktif	Aktif	Logam	Sesuai
11	1	0	0	1	Mati	Aktif	Plastik	Sesuai
12	1	1	1	1	Aktif	Aktif	Logam	Sesuai
13	1	0	0	1	Mati	Aktif	Plastik	Sesuai

No	Deteksi IR	Deteksi Proximity	Status Valve	Status Motor	Akttual Valve	Aktual Motor	Benda kerja	Hasil
15	1	0	0	1	Mati	Aktif	Plastik	Sesuai
16	1	1	1	1	Aktif	Aktif	Logam	Sesuai
17	1	0	0	1	Mati	Aktif	Plastik	Sesuai
18	1	1	1	1	Aktif	Aktif	Logam	Sesuai
19	1	0	0	1	Mati	Aktif	Plastik	Sesuai
20	1	1	1	1	Aktif	Aktif	Logam	Sesuai

Motor konveyor diaktifkan ketika sensor inframerah mendeteksi keberadaan benda kerja pada tahap awal proses, kemudian dilanjutkan dengan pendeteksian menggunakan sensor proximity untuk identifikasi jenis material. Ketika sensor proximity mendeteksi benda kerja logam, katup pneumatik berada dalam kondisi aktif sementara motor konveyor tetap beroperasi. Sebaliknya, ketika sensor proximity tidak mendeteksi benda kerja logam, katup pneumatik berada dalam kondisi tidak aktif dan motor konveyor tetap beroperasi. Kondisi aktual yang diamati selama pengujian kemudian dibandingkan dengan status masukan dan keluaran yang ditampilkan pada program *ladder* diagram untuk mengetahui kesesuaian antara logika kendali yang diprogram dan operasi sistem yang berlangsung.

Berdasarkan data pada Tabel 4.3 pengujian aktual menggunakan ladder diagram dilakukan sebanyak 20 kali untuk memverifikasi kesesuaian logika kendali PLC dengan kondisi aktual sistem pemilah benda kerja. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor inframerah selalu mendeteksi keberadaan benda kerja, sedangkan sensor proximity membedakan benda kerja logam dan nonlogam sesuai dengan logika yang dirancang. Ketika sensor proximity mendeteksi logam, *valve* dan aktuator pneumatik aktif untuk melakukan proses pemilahan. Sebaliknya, saat tidak mendeteksi logam, *valve* tidak aktif. Pada kedua kondisi tersebut, motor konveyor tetap beroperasi untuk memindahkan benda kerja. Seluruh percobaan menunjukkan status "Sesuai" tanpa adanya kesalahan deteksi maupun aktuasi. Dengan demikian, *ladder* diagram yang dirancang telah berfungsi dengan baik dan mampu mengendalikan proses pemilahan benda kerja secara akurat dan konsisten.

4. Pengujian Keakuratan Data Hasil Counting Proses Kerja Sistem

Proses pengujian dilakukan dengan menghitung secara manual benda kerja yang melewati sistem dan mencocokkannya dengan tampilan *counting* pada HMI untuk memastikan kesesuaian data. Berdasarkan data pada Tabel 4.4, seluruh hasil *counting* pada PLC enunjukkan kesesuaian dengan jumlah benda kerja aktual, dengan selisih 0 pada setiap percobaan.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Keakuratan Data Hasil Counting Proses Kerja Sistem

No	Count PLC	Count Aktual	Selisih	Hasil
1	1	1	0	Sesuai
2	2	2	0	Sesuai
3	3	3	0	Sesuai
4	4	4	0	Sesuai
5	5	5	0	Sesuai
6	6	6	0	Sesuai
7	7	7	0	Sesuai
8	8	8	0	Sesuai
9	9	9	0	Sesuai
10	10	10	0	Sesuai
11	11	11	0	Sesuai
12	12	12	0	Sesuai
13	13	13	0	Sesuai
14	14	14	0	Sesuai
15	15	15	0	Sesuai
16	16	16	0	Sesuai
17	17	17	0	Sesuai
18	18	18	0	Sesuai
19	19	19	0	Sesuai
20	20	20	0	Sesuai

5. Pengujian Tegangan Komponen Aktuator

Pengujian tegangan komponen aktuator dilakukan untuk memastikan kondisi kerja aktuator yang digunakan pada sistem, yaitu motor DC dan silinder pneumatik yang dikendalikan melalui *solenoid valve*. Pengukuran dilakukan menggunakan multimeter dengan mengecek pada terminal blok yang terhubung terhadap keluaran PLC, Serta pengecekan dilakukan pada saat kondisi aktif dan tidak aktif untuk memastikan tegangan keluaran sesuai dengan kebutuhan operasi masing-masing komponen. Berdasarkan data pada Tabel 4.5, motor DC memiliki tegangan maksimum sebesar 12,20 V dengan tegangan kerja berkisar antara 8,20 V - 8,24 V selama pengujian berlangsung. Silinder pneumatik yang dikendalikan melalui *solenoid valve* menerima tegangan 22,05 V pada kondisi aktif dan 0 V pada kondisi tidak aktif.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Tegangan Komponen Output

No	Motor			Silinder	
	Min	Max	Use	Max	Min
1	0	12.20V	8.21V	22.05V	0
2	0	12.20V	8.20V	22.04V	0
3	0	12.20V	8.21V	22.05V	0
4	0	12.20V	8.22V	22.05V	0
5	0	12.20V	8.20V	22.05V	0
6	0	12.20V	8.20V	22.05V	0
7	0	12.20V	8.22V	22.05V	0
8	0	12.20V	8.21V	22.05V	0
9	0	12.20V	8.22V	22.05V	0
10	0	12.20V	8.23V	22.05V	0
11	0	12.20V	8.22V	22.05V	0
12	0	12.20V	8.22V	22.05V	0
13	0	12.20V	8.23V	22.05V	0
14	0	12.20V	8.24V	22.05V	0
15	0	12.20V	8.20V	22.05V	0
16	0	12.20V	8.24V	22.05V	0
17	0	12.20V	8.22V	22.05V	0
18	0	12.20V	8.21V	22.05V	0
19	0	12.20V	8.22V	22.05V	0
20	0	12.20V	8.20V	22.05V	0

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kesesuaian tegangan kerja yang diterima oleh motor dan silinder pneumatik selama sistem beroperasi. Hasil pengujian tegangan komponen *output* dapat ditemukan dalam Tabel 4.5. Parameter yang diamati meliputi tegangan minimum, tegangan maksimum, dan tegangan kerja (*use*) pada motor, serta tegangan minimum dan maksimum pada silinder pneumatik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa motor memperoleh tegangan maksimum sebesar 12,20 V pada seluruh percobaan. Sementara itu, tegangan kerja motor berada pada rentang 8,20 V hingga 8,22 V. Variasi tegangan yang sangat kecil menunjukkan bahwa catu daya dan rangkaian pengendali motor mampu menyediakan tegangan yang stabil selama proses pengoperasian. Tegangan minimum motor tercatat sebesar 0 V yang

menunjukkan kondisi motor tidak aktif atau tidak memperoleh suplai tegangan. Pada pengujian silinder pneumatik, tegangan yang terukur berada pada rentang 22,04 V hingga 22,05 V saat aktuator aktif. Nilai tersebut menunjukkan bahwa tegangan yang diberikan kepada *solenoid valve* mendekati tegangan kerja nominal sebesar 24 V. Adapun tegangan minimum yang terukur sebesar 0 V menunjukkan kondisi ketika *solenoid valve* tidak diaktifkan oleh sistem. Perbedaan tegangan yang sangat kecil antarpercobaan mengindikasikan bahwa suplai daya pada aktuator pneumatik berada dalam kondisi stabil. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa komponen *output* memperoleh tegangan kerja yang sesuai dengan kebutuhan operasionalnya. Tidak ditemukan penurunan tegangan yang signifikan maupun fluktuasi yang dapat memengaruhi kinerja sistem. Dengan demikian, rangkaian kendali dan catu daya yang digunakan mampu mendukung pengoperasian motor serta silinder pneumatik secara stabil dan konsisten selama proses kerja sistem berlangsung

SIMPULAN DAN SARAN

a. SIMPULAN

Trainer kit sistem distribusi dan penyortiran benda kerja logam–nonlogam berbasis PLC Schneider TM221CE16R berhasil dirancang dan direalisasikan sebagai media pembelajaran otomasi industri. Sistem *sorting* berhasil direalisasikan dengan mengintegrasikan komponen perangkat keras berupa PLC, sensor inframerah, sensor proximity, motor konveyor, *valve*, silinder pneumatik, serta HMI sebagai sistem kontrol dan *monitoring*. Penerapan sensor inframerah mampu mendeteksi keberadaan benda kerja pada sistem sorting. Berdasarkan hasil pengukuran, sensor menghasilkan tegangan output *high* sebesar 21.74 VDC saat mendeteksi objek dan *low* sebesar 0 VDC saat tidak mendeteksi objek, sehingga dapat berfungsi dengan optimal sebagai masukan PLC. Penerapan sensor proximity mampu mendeteksi benda kerja logam pada sistem sorting. Berdasarkan hasil pengukuran, sensor menghasilkan tegangan output *high* sebesar 21.23 VDC saat mendeteksi logam dan *low* sebesar 0 VDC saat tidak mendeteksi logam, sehingga dapat digunakan secara efektif sebagai masukan PLC. Pengendalian aktuator menggunakan *valve* dan motor konveyor berhasil diterapkan sesuai dengan logika kontrol yang telah dirancang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *output* PLC mampu mengendalikan proses *sorting* sesuai dengan perintah program. Urutan kerja sistem *sorting* yang dirancang berhasil dijalankan secara otomatis sesuai dengan program *ladder* diagram. Hasil pengujian menunjukkan adanya kesesuaian antara sinyal kontrol PLC dengan pergerakan aktual aktuator pada proses pemilahan benda kerja logam dan non logam.

b. SARAN

(1) Pengembangan sistem *sorting* agar mampu mengidentifikasi lebih banyak variasi benda kerja, sehingga fungsi alat menjadi lebih luas dan aplikatif. (2) Pengembangan berikutnya dapat difokuskan pada peningkatan kapasitas penampungan hasil sortir agar alat lebih mendekati penerapan pada lingkungan industry. (3) Perlu dilakukan penyempurnaan pada bagian mekanik alat agar proses pemindahan dan penyortiran benda kerja dapat berlangsung lebih stabil dan efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Nasional Sertifikasi Profesi. (2025). *Profil LSP P1 SMKN 4 Jakarta*.
- Celeda, P., Vykopal, J., Švábenský, V., & Slavíček, K. (2020). *KYPO4INDUSTRY: A testbed for teaching cybersecurity of industrial control systems*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2004.11575>
- Direktorat Jenderal Pendidikan Vokasi. (2024). *Laporan kinerja Direktorat Sekolah Menengah Kejuruan tahun 2024*. <https://vokasi.kemendikdasmen.go.id/>
- Direktorat Jenderal Pendidikan Vokasi. (2025a). *Rencana strategis Direktorat Jenderal Pendidikan Vokasi 2025–2029*.
- Direktorat Jenderal Pendidikan Vokasi. (2025b). *Rencana strategis Direktorat Jenderal Pendidikan Vokasi 2025–2029*. <https://vokasi.kemendikdasmen.go.id/>
- Hadid, M. A. A. (2021). Internet of Things (IoT) dalam manufaktur: Studi aplikasi dan integrasi. *Indonesian Journal of Indust*
- rial Engineering*, 12, 65–72.
- Haryani, T., & Purwanto, A. (2026). Reorientasi mutu lulusan Sekolah Menengah Kejuruan program empat tahun menuju kesiapan kerja global. *Jurnal Vocational Education Policy*, 1(1), 126–144. <https://doi.org/10.66599/wp.v1i1.21>
- Herdiana. (2024). Programmable Logic Controller (PLC) dan perkembangannya dalam industri 4.0. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa*, 1, 15–23.
- Jatmiko, B., Widodo, A., & Rofiki, I. (2021). Vocational education transformation in the era of Industrial Revolution 4.0 in Indonesia. *Journal of Education and Learning (EduLearn)*, 437–443.
- Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah. (2025/2026). *Data referensi SMKN 4 Jakarta*.
- Lestari, C. A. (2023). *Implementasi lean manufacturing untuk meningkatkan efisiensi produksi* (Vol. 1).
- Longo, F., Nicoletti, L., & Padovano, A. (2017). Smart operators in Industry 4.0: A human-centered approach to enhance operators' capabilities and competencies within the new smart factory context. *Computers & Industrial Engineering*, 113, 144–15[perlu verifikasi]. <https://arxiv.org/abs/2206.00104>
- Nasution, M. I., Lubis, A. R., & Harahap, A. F. (2020). Kesiapan sarana dan prasarana sekolah vokasi dalam menghadapi industri 4.0. *Jurnal Pendidikan Vokasi Indonesia*, 57–65.
- Obermeier, M., Braun, S., & Vogel-Heuser, B. (2022). *A model-driven approach on object-oriented PLC programming for manufacturing systems with regard to usability*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2212.09475>

- Saputra, D. A., & Handayani, S. (2024). Analisis unjuk kerja sistem sortasi material menggunakan sensor proximity dan PLC. *Jurnal Otomasi dan Sistem Kontrol Industri*, 8(2), 112–120.
- Schneider Electric Indonesia. (2022). *Mempersiapkan generasi muda hadapi era Electricity 4.0 melalui Electrical Education Program & Competition*. <https://www.se.com/id/id>
- Schneider Electric Indonesia. (2025). *Cetak talenta otomasi masa depan, Schneider Electric kembali dukung kompetisi E-TIME 2025*. <https://www.se.com/id/id>
- Suhartini, S., Sudira, P., Suryani, N., & Murtadlo, A. (2022). Vocational education transformation to meet the demands of the 4.0 industrial revolution. *Journal of Technical Education and Training*, 1–11.