



Simulator Konveyor Penyortir Logam-Non logam Berbasis PLC dengan Monitoring HMI

Obed.S.Tualage¹, Niko Pinangkaan², Moody.N.Tumembouw³

¹²³Program Studi Teknologi Rekayasa Mekatronika, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Manado

Email: ¹Obedstefan32@gmail.com*

Abstract

Sorting automation in conveyor systems depends not only on a sensor's ability to recognize materials but also on the synchronization of object transport speed, actuator response, PLC logic, and information presented via the HMI. This study aims to design and construct a PLC-based sorting conveyor simulator for metal and non-metal objects, implement inductive and capacitive sensors, integrate an HMI for monitoring and control, and evaluate automated sorting performance. An experimental quantitative approach was employed, involving hardware design, Omron CP1H PLC programming, I/O and HMI register mapping, and testing of PWM voltage variations for the conveyor motor and JGY-370 actuator. Results indicate that increasing the conveyor voltage from 3 V to 10 V reduced the travel time for metal objects from 7.34 s to 2.05 s and for non-metal objects from 9.85 s to 2.94 s. Actuator testing showed that a 6 V supply yielded 100% accuracy for both material types, with cycle times of 0.84 s for metal and 0.79 s for non-metal. Voltages of 8–10 V accelerated the cycle but reduced accuracy due to overly aggressive pusher movement. The optimal combination was achieved with a conveyor voltage of 10 V (theoretical 37.5 RPM) and an actuator voltage of 6 V. The study's key finding is that optimal setpoints differ across subsystems; decoupling the speed settings for the conveyor and the actuator is crucial for achieving a sorting process that is both fast and accurate.

Keywords: conveyor, PLC, HMI, proximity sensor, automatic sorting.

Abstrak

Automasi penyortiran pada sistem konveyor tidak hanya ditentukan oleh kemampuan sensor mengenali material, tetapi juga oleh sinkronisasi laju transportasi benda, respons aktuator, logika PLC, dan informasi yang disajikan melalui HMI. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun simulator konveyor penyortir logam dan non-logam berbasis PLC, mengimplementasikan sensor induktif dan kapasitif, mengintegrasikan HMI sebagai sarana monitoring dan pengendalian, serta menguji performa penyortiran otomatis. Metode yang digunakan adalah penelitian kuantitatif eksperimental melalui perancangan perangkat keras, pemrograman PLC Omron CP1H, pemetaan I/O dan register HMI, serta pengujian variasi tegangan PWM pada motor konveyor dan aktuator JGY-370. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan tegangan konveyor dari 3 V menjadi 10 V menurunkan waktu tempuh benda logam dari 7,34 s menjadi 2,05 s dan benda non-logam dari 9,85 s menjadi 2,94 s. Pada pengujian aktuator, tegangan 6 V menghasilkan akurasi 100% untuk kedua jenis material dengan waktu siklus 0,84 s untuk logam dan 0,79 s untuk non-logam. Tegangan 8-10 V mempercepat siklus, tetapi menurunkan akurasi akibat gerakan pendorong yang terlalu agresif. Kombinasi terbaik diperoleh pada konveyor 10 V (37,5 RPM teoritis) dan aktuator 6 V. Temuan utama penelitian adalah bahwa setpoint optimal tidak identik antar-subsystem; pemisahan pengaturan kecepatan konveyor dan aktuator menjadi kunci untuk memperoleh proses penyortiran yang cepat sekaligus akurat.

Kata kunci: konveyor, PLC, HMI, sensor proximity, penyortiran otomatis.

1. Pendahuluan

Konveyor merupakan salah satu elemen utama dalam sistem material handling karena mampu memindahkan benda secara kontinu, berulang, dan terprediksi dari satu stasiun proses ke stasiun berikutnya. Pada sistem produksi modern, fungsi konveyor sering dikombinasikan dengan sensor, aktuator, Programmable Logic Controller (PLC), dan Human Machine Interface (HMI) agar proses transportasi sekaligus pemilahan dapat dilakukan secara otomatis. PLC berperan sebagai pengendali deterministik yang menerima sinyal digital dari sensor, mengeksekusi urutan logika, kemudian mengaktifkan motor atau aktuator sesuai kondisi proses. HMI melengkapi fungsi tersebut dengan menyediakan antarmuka bagi operator untuk memulai, menghentikan, mengamati status, melakukan kendali manual, dan membaca jumlah benda yang telah diproses. Kombinasi ini relevan untuk pendidikan mekatronika karena mempertemukan aspek mekanik, kelistrikan, instrumentasi, pemrograman, dan interaksi operator dalam satu plant skala laboratorium.

Pada proses penyortiran logam dan non-logam, pemilihan sensor merupakan aspek penting. Sensor proximity induktif sesuai untuk mendeteksi keberadaan material logam berdasarkan perubahan medan elektromagnetik di sekitar permukaan aktif sensor. Sebaliknya, sensor kapasitif dapat merespons perubahan kapasitansi akibat kehadiran material dengan karakteristik dielektrik tertentu sehingga dapat digunakan untuk mendeteksi benda non-logam. Kombinasi kedua sensor memungkinkan sistem melakukan klasifikasi material secara sederhana tanpa kamera atau komputasi visual. Pendekatan ini memiliki keuntungan berupa arsitektur yang relatif murah, mudah dipelajari, dan langsung kompatibel dengan masukan digital PLC.

Berbagai penelitian telah menunjukkan kelayakan PLC untuk sistem penyortiran. Mappa et al. [1] mengembangkan sistem pemilah logam dengan PLC Omron CP1E menggunakan sensor proximity dan photoelectric serta aktuator solenoid. Khairunnas dan Risfendra [2] menggunakan PLC dan sensor proximity untuk sorting machine logam dengan aktuator pneumatik. Hermana et al. [3] kemudian menambahkan HMI sebagai pusat kontrol dan monitoring pada pemilah logam dan non-logam. Pada ranah trainer, Firdaus dan Hudati [4] mengintegrasikan PLC, komponen I/O, pneumatik, konveyor, dan HMI serta melaporkan keberhasilan penyortiran sebesar 85%. Studi-studi tersebut memperlihatkan bahwa integrasi PLC-

HMI telah mapan sebagai arsitektur dasar untuk sistem sorting skala pendidikan maupun prototipe. Meskipun demikian, performa mekanis tidak hanya ditentukan oleh kebenaran ladder logic atau ketepatan sensor. Kecepatan konveyor menentukan waktu yang tersedia bagi sensor dan aktuator untuk bereaksi, sedangkan kecepatan pendorong menentukan energi kontak antara lengan dan benda. Putra [5] menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan konveyor dapat memperbaiki waktu operasional tetapi kecepatan yang terlalu tinggi dapat menurunkan ketepatan pemilahan. Muzaki [6] juga menunjukkan pentingnya sinkronisasi kecepatan konveyor dengan pembaruan status pada sistem otomasi berbasis PLC dan PWM. Di sisi lain, pemanfaatan PWM untuk pengaturan motor DC memungkinkan perubahan kecepatan secara praktis tanpa mengganti mekanisme transmisi, sehingga sesuai untuk trainer laboratorium (Andriani & Sardi, 2023; Ma'arif, Istiarno, & Sunardi, 2021).

Research gap penelitian ini terletak pada belum banyaknya studi trainer penyortiran logam dan non-logam yang mengevaluasi dua subsystem mekanis secara terpisah tetapi menggunakannya untuk menentukan satu titik operasi terintegrasi. Sebagian penelitian terdahulu berfokus pada keberhasilan fungsi, komunikasi PLC-HMI, atau akurasi keseluruhan pada satu konfigurasi aktuator, sedangkan trade-off antara kecepatan konveyor dan karakteristik pendorong jarang dipetakan secara kuantitatif. Bahkan ketika sistem memiliki sensor dan logika yang benar, peningkatan kecepatan aktuator belum tentu meningkatkan keberhasilan sortir karena momentum mekanis dapat menyebabkan benda terpelantak, tersangkut, atau melewati daerah sapuan. Dengan demikian, perancangan sistem perlu memperlakukan konveyor dan aktuator sebagai dua variabel yang harus dituning secara berbeda.

Penelitian ini dilakukan di Politeknik Negeri Manado dengan fokus pada rancang bangun simulator konveyor berbasis PLC Omron CP1H dan monitoring HMI. Tujuan penelitian adalah: merancang dan membangun sistem konveyor penyortir logam dan non-logam berbasis PLC; mengimplementasikan sensor induktif dan kapasitif sebagai sistem deteksi material; mengintegrasikan HMI sebagai sarana monitoring dan pengendalian; dan menguji performa sistem dalam melakukan penyortiran otomatis. Kontribusi utama penelitian adalah penentuan setpoint terpisah untuk motor konveyor dan motor pendorong berdasarkan data waktu tempuh, waktu siklus, dan

akurasi, serta pembuktian bahwa konfigurasi tercepat pada satu subsystem tidak selalu menjadi konfigurasi terbaik untuk sistem secara keseluruhan.

Programmable Logic Controller merupakan pengendali industri yang dirancang untuk bekerja secara siklik dan deterministik. Dalam sistem konveyor, PLC membaca sinyal masukan seperti push button, sensor proximity, dan limit switch, kemudian mengubah keadaan keluaran berdasarkan program ladder. Struktur ini efektif untuk proses diskrit karena urutan operasi dapat dinyatakan sebagai kondisi logika, interlock, timer, counter, dan state transisi. Kshirsagar et al. [9] menekankan bahwa arsitektur sorting berbasis PLC umumnya terdiri atas sensor, aktuator, motor, konveyor, sistem daya, perangkat lunak pemrograman, dan HMI. Keunggulan utama PLC pada aplikasi tersebut adalah kemudahan modifikasi urutan kerja dan integrasi I/O dibandingkan kontrol relay murni.

HMI berfungsi sebagai lapisan interaksi antara plant dan operator. Peran HMI tidak sebatas menampilkan kondisi, tetapi juga memberikan akses terhadap start-stop, mode manual, reset, alarm, dan data proses. Simanjuntak dan Risfendra [10] menunjukkan bahwa penambahan HMI pada sorting machine berbasis PLC meningkatkan kemampuan monitoring tanpa operator harus mengamati semua komponen lapangan secara langsung. Hermana et al. [3] menggunakan HMI NB7W-TW00B untuk kendali dan monitoring pemilah logam-nonlogam melalui mode manual dan otomatis. Hidayat dan Yanto [11] juga menunjukkan bahwa HMI dapat dipakai untuk memantau arah dan kecepatan konveyor sekaligus menjalankan fungsi kontrol. Literatur tersebut menguatkan bahwa HMI layak diposisikan sebagai antarmuka operasional, bukan sekadar layar indikator.

Pada sisi sensor, sistem penyortiran berbasis proximity menawarkan metode klasifikasi yang relatif sederhana. Oladapo et al. [12] menunjukkan pemanfaatan proximity sensor pada mesin penyortir otomatis berbasis konveyor dan PLC. Dalam konfigurasi logam-nonlogam, sensor induktif digunakan sebagai pendeteksi utama material konduktif, sedangkan sensor kapasitif digunakan pada tahap berikutnya untuk mengidentifikasi benda yang tidak terdeteksi oleh sensor induktif. Intawong et al. [13] mengembangkan demonstrator sorting terintegrasi PLC dan touch screen dengan sensor kapasitif dan induktif; pengujian mereka mencatat tingkat

deteksi 95% pada sensor kapasitif dan 97% pada sensor induktif serta presisi penempatan benda 92% dari 100 percobaan. Angka tersebut menunjukkan bahwa kinerja sorting merupakan hasil gabungan antara kemampuan deteksi dan ketepatan mekanisme penempatan.

Aktuator juga menentukan keberhasilan pemisahan. Banyak penelitian menggunakan silinder pneumatik karena responnya cepat dan gaya dorongnya tinggi, seperti pada Khairunnas dan Risfendra [2], Hermana et al. [3], serta Firdaus dan Hudati [4]. Namun, trainer berbasis motor DC memiliki kelebihan berupa kesederhanaan sumber daya, kemudahan pembalikan arah, dan kemampuan pengaturan kecepatan melalui PWM. Pada motor DC, peningkatan tegangan rata-rata atau duty cycle PWM umumnya meningkatkan kecepatan putar, tetapi hubungan antara kecepatan motor dan hasil mekanis tidak selalu linear saat motor berinteraksi dengan beban. Ma'arif et al. [8] menunjukkan bahwa karakteristik kecepatan motor DC perlu dipahami melalui pemodelan dan respons sistem, sedangkan Andriani dan Sardi [7] memperlihatkan bahwa PWM dapat diintegrasikan dengan PLC-HMI untuk mengendalikan aktuator secara real-time.

Aspek penting lain adalah sinkronisasi. Pada sistem sorting, benda bergerak di atas belt dengan kecepatan tertentu, melewati area sensor, kemudian harus berada dalam jangkauan pendorong pada saat output PLC aktif. Jika konveyor terlalu lambat, throughput turun dan motor dapat berada pada daerah torsi yang kurang efektif. Jika terlalu cepat, waktu reaksi dan jendela aktuasi menyempit. Jika pendorong terlalu lambat, benda dapat lolos; jika terlalu cepat, tumbukan menjadi keras dan benda dapat terpental. Putra [5] menemukan adanya kompromi antara kecepatan transport dan akurasi pada konveyor pemilah logam-nonlogam. Bhat et al. [14] melaporkan akurasi simulasi 98% pada sistem omni-wheel yang dikendalikan PLC, tetapi juga menegaskan bahwa kondisi simulasi ideal tidak mewakili seluruh pengaruh beban dinamis dan lingkungan nyata. Hal ini penting karena simulator fisik memperlihatkan efek mekanis yang sering tidak muncul pada model virtual.

Berdasarkan perbandingan penelitian terdahulu tersebut, gap yang ditangani penelitian ini bukan pada penciptaan arsitektur PLC-HMI yang sama sekali baru, melainkan pada cara mengevaluasi dan menyeimbangkan dua subsystem penggerak. Konveyor dan pendorong diuji pada beberapa level tegangan sehingga perubahan waktu transport, waktu siklus pendorong, dan akurasi dapat diamati

secara kuantitatif. Pendekatan ini memberikan dasar tuning yang lebih argumentatif daripada sekadar menyatakan sistem "berfungsi". Selain itu, pemetaan I/O dan register HMI digunakan untuk menjaga konsistensi antara sinyal lapangan, program PLC, indikator visual, dan counter jumlah material. Dengan demikian, kontribusi penelitian berada pada integrasi aspek kontrol dan aspek mekanis dalam penentuan titik operasi.

2. Metode Penelitian

Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental dengan tahapan perancangan, perakitan, integrasi kontrol, dan pengujian kinerja. Plant penelitian berupa simulator konveyor penyortir logam dan non-logam yang dirancang sebagai media pembelajaran otomasi di Politeknik Negeri Manado. Data primer berasal dari pengukuran pada prototipe yang telah direalisasikan, sedangkan literatur digunakan untuk membangun dasar teoritis dan membandingkan hasil dengan penelitian sebelumnya.

Arsitektur sistem terdiri atas konveyor, motor wiper sebagai penggerak belt, dua sensor proximity, dua motor DC JGY-370 sebagai aktuator pendorong, empat limit switch, relay Omron MY2N, PLC Omron CP1H, dua modul PWM, catu daya 24 VDC dan 12 VDC, serta HMI yang dikonfigurasi melalui NB-Designer. Catu 24 VDC digunakan untuk PLC, common input, sensor, dan koil relay, sedangkan catu 12 VDC dialirkan ke dua modul PWM sebelum diteruskan ke motor melalui kontak relay. Susunan ini mengikuti konfigurasi wiring pada data pengujian dan memisahkan level tegangan kontrol dari suplai beban motor.

Mekanisme kerja sistem dimulai ketika operator mengaktifkan perintah start dari panel atau HMI. Motor konveyor membawa benda dari posisi awal menuju stasiun sensor. Sensor proximity induktif ditempatkan lebih dahulu pada lintasan. Jika benda logam berada dalam jangkauan sensor, PLC menerima logika aktif pada input sensor logam dan menjalankan urutan aktuator pendorong logam. Jika benda tidak terdeteksi sebagai logam, benda melanjutkan perjalanan menuju sensor proximity kapasitif. Aktivasi sensor kapasitif digunakan sebagai kondisi untuk menjalankan aktuator pendorong non-logam. Setelah lengan maju mencapai limit switch depan, PLC membalik arah motor hingga lengan kembali ke limit switch home. Konsep forward-reverse motor DC direalisasikan dengan pasangan relay yang mengubah polaritas tegangan pada terminal motor.



Gambar 1. Prototipe simulator konveyor penyortir logam dan non-logam.

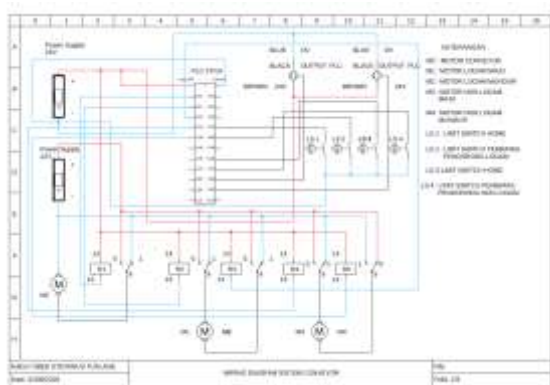
Pengalaman PLC mengikuti tabel I/O pada data pengujian. Tombol START dan STOP menggunakan I:0.00 dan I:0.01. Limit switch pendorong logam menggunakan I:0.03 (home/LS1) dan I:0.04 (forward/LS2), sedangkan pendorong non-logam menggunakan I:0.06 (home/LS3) dan I:0.07 (forward/LS4). Sensor proximity induktif dan kapasitif masing-masing menggunakan I:0.08 dan I:0.09. Perintah relay pendorong logam maju-mundur berada pada Q:100.01 dan Q:100.02, sedangkan pendorong non-logam pada Q:100.03 dan Q:100.04. Indikator deteksi logam/non-logam menggunakan Q:100.05 dan Q:100.06; buzzer Q:100.07; indikator gerak motor menggunakan Q:100.08 sampai Q:100.11; indikator conveyor Q:100.12; dan counter material disimpan pada D100 serta D101. Pemetaan alamat utama dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. Pemetaan I/O dan register utama PLC Omron CP1H.

Komponen	Alamat	Fungsi
Tombol Start / Stop	I:0.00 / I:0.01	Start dan stop fisik
LS logam home / maju	I:0.03 / I:0.04	Batas home dan dorong logam
LS non-logam home / maju	I:0.06 / I:0.07	Batas home dan dorong non-logam
Sensor induktif	I:0.08	Deteksi material logam
Sensor kapasitif	I:0.09	Deteksi material non-logam

Relay logam maju / mundur	Q:100.01 / Q:100.02	Aktuator logam
Relay non-logam maju / mundur	Q:100.03 / Q:100.04	Aktuator non-logam
LED deteksi logam / non-logam	Q:100.05 / Q:100.06	Indikator deteksi
Buzzer	Q:100.07	Alarm saat counter mencapai 5
LED gerak logam	Q:100.08 / Q:100.09	Indikator maju / mundur
LED gerak non-logam	Q:100.10 / Q:100.11	Indikator maju / mundur
LED konveyor	Q:100.12	Indikator konveyor aktif
Counter logam / non-logam	D100 / D101	Data jumlah benda untuk HMI

Pada HMI, perintah operator menggunakan area kerja W0.01-W0.08: START pada W0.01, STOP pada W0.02, RESET pada W0.03, JOG CONVEYOR pada W0.04, manual maju-mundur pendorong logam pada W0.05-W0.06, dan manual maju-mundur pendorong non-logam pada W0.07-W0.08. Status conveyor ditampilkan dari Q100.12; indikator gerak aktuator dari Q100.08-Q100.11; status sensor dari I0.08 dan I0.09; serta indikator buzzer dari Q100.07. Number Display membaca counter logam D100 dan counter non-logam D101. Pemetaan ini menjaga sinkronisasi kendali, monitoring, dan pencatatan jumlah benda antara PLC dan HMI.



Gambar 2. Wiring sistem konveyor dengan relay MY2N, pembalik polaritas, dan PWM.

Pengujian dibagi menjadi dua kelompok. Kelompok pertama mengevaluasi hubungan tegangan motor konveyor dengan kecepatan putar teoritis dan waktu tempuh benda menuju sensor. Tegangan motor konveyor divariasikan pada 3, 6, 8, dan 10 V. Kecepatan motor dihitung secara linear terhadap spesifikasi maksimum motor wiper 45 RPM pada 12 V menggunakan Persamaan (1). Karena posisi sensor induktif dan sensor kapasitif berbeda, waktu tempuh benda logam dan non-logam dianalisis secara terpisah. Pada konfigurasi 3 V, motor konveyor dan pendorong sama-sama diberi 3 V. Pada konfigurasi 6 V, keduanya bekerja pada 6 V, sedangkan pada pengujian konveyor 8 V dan 10 V, aktuator dipertahankan pada 6 V.

$$RPM \text{ teoritis} = (V \text{ uji} / 12) \times 45 \quad (1)$$

Kelompok kedua mengevaluasi motor pendorong JGY-370 secara khusus. Tegangan aktuator divariasikan pada 3, 6, 8, dan 10 V. Untuk setiap level tegangan dan setiap jenis material dilakukan lima kali percobaan. Variabel yang dicatat adalah waktu satu siklus maju-mundur dan jumlah benda yang berhasil masuk ke bucket yang sesuai. Akurasi sederhana dihitung menggunakan Persamaan (2). Data diolah secara deskriptif melalui perbandingan antar-setpoint, perubahan persentase, dan korelasi Pearson untuk melihat kekuatan hubungan linear antara tegangan dengan waktu. Korelasi digunakan sebagai indikator deskriptif karena jumlah level tegangan hanya empat dan tidak digunakan untuk generalisasi inferensial.

$$Akurasi (\%) = (\text{jumlah sukses} / \text{jumlah total percobaan}) \times 100\% \quad (2)$$

Kriteria penentuan setpoint terbaik tidak didasarkan pada satu variabel tunggal. Setpoint konveyor dipilih berdasarkan waktu tempuh yang rendah tetapi tetap menghasilkan gerak stabil dan memberikan jendela waktu cukup bagi sensor serta aktuator. Setpoint pendorong dipilih berdasarkan akurasi 100% dengan waktu siklus yang lebih cepat dibanding level tegangan yang lebih rendah. Pendekatan multi-kriteria ini diperlukan karena setpoint tercepat dapat menghasilkan dampak terlalu tinggi dan menurunkan akurasi, sedangkan setpoint terlalu rendah dapat menurunkan torsi dan throughput.

3. Hasil dan Pembahasan

Prototipe berhasil direalisasikan sebagai satu kesatuan mekanik-elektrik yang terdiri atas rangka konveyor, belt, motor wiper, sensor induktif dan kapasitif, dua mekanisme pendorong, panel PLC-HMI, relay, limit switch, dan power supply. Secara fungsional, aliran proses mengikuti urutan deteksi berjenjang: benda logam disortir pada stasiun sensor induktif, sedangkan benda yang tidak terdeteksi pada tahap pertama diteruskan ke sensor

kapasitif untuk penyortiran non-logam. Konfigurasi ini mengurangi kebutuhan algoritma klasifikasi yang kompleks karena identitas material dibangun dari urutan respons sensor. Implementasi fisik juga memperlihatkan bahwa HMI ditempatkan pada panel operator sehingga status dan kendali dapat diakses tanpa menyentuh bagian mekanis konveyor.

Wiring sistem menggunakan arsitektur dua level tegangan. Power supply 24 VDC menyuplai PLC CP1H, common input, sensor, dan koil relay, sedangkan power supply 12 VDC dialirkan ke dua modul PWM untuk pengaturan kecepatan motor. Relay MY2N digunakan untuk switching dan pembalik polaritas aktuator. Aktuator logam dikendalikan Relay 2 (maju/M1) dan Relay 3 (mundur/M2), sedangkan aktuator non-logam menggunakan Relay 4 (maju/M3) dan Relay 5 (mundur/M4). Empat limit switch membatasi posisi home dan posisi dorong maksimum agar gerak aktuator tetap berada pada batas mekanis yang ditentukan.

Integrasi HMI dan PLC berhasil direalisasikan melalui pemetaan alamat yang konsisten. Counter logam dan non-logam disimpan pada D100 dan D101. HMI membaca status sensor I0.08-I0.09, indikator gerak motor Q100.08-Q100.11, status conveyor Q100.12, dan alarm Q100.07, sementara fungsi manual operator menggunakan W0.01-W0.08. Dengan pemetaan tersebut, operator dapat menjalankan START/STOP/RESET, melakukan JOG conveyor, menguji gerak maju-mundur kedua aktuator, memantau status sensor, serta melihat jumlah benda yang telah tersortir. Hasil integrasi fisik dan sistem kontrol ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.

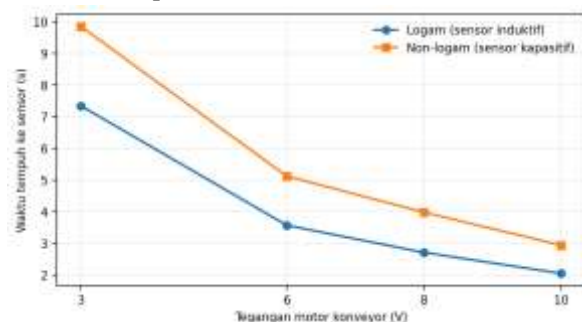
Tabel 2. Hasil pengujian tegangan konveyor dan waktu tempuh benda.

V konv./akt. (V)	RPM	t logam (s)	t non-logam (s)
3 / 3	11,25	7,34	9,85
6 / 6	22,50	3,57	5,12
8 / 6	30,00	2,71	3,98
10 / 6	37,50	2,05	2,94

Pengujian konveyor memperlihatkan hubungan yang jelas antara tegangan dan waktu transport. Pada 3 V, kecepatan teoritis motor adalah 11,25 RPM dan waktu tempuh benda logam menuju sensor induktif sebesar 7,34 s. Waktu benda non-logam menuju sensor kapasitif lebih lama, yaitu 9,85 s, karena posisi sensor kapasitif berada setelah sensor induktif. Pada 6 V, kecepatan teoritis naik menjadi 22,50 RPM, sedangkan waktu tempuh turun menjadi 3,57 s untuk logam dan 5,12 s untuk

non-logam. Pada 8 V, kecepatan teoritis 30 RPM menghasilkan waktu 2,71 s dan 3,98 s. Nilai tercepat diperoleh pada 10 V atau 37,50 RPM, yaitu 2,05 s untuk logam dan 2,94 s untuk non-logam.

Dari 3 V ke 10 V, waktu tempuh logam berkurang 72,07%, sedangkan non-logam berkurang 70,15%. Korelasi deskriptif antara tegangan dan waktu tempuh sebesar $r = -0,951$ untuk logam dan $r = -0,960$ untuk non-logam, yang menunjukkan hubungan invers yang kuat pada rentang pengujian. Selisih waktu antara non-logam dan logam turun dari 2,51 s pada 3 V menjadi 0,89 s pada 10 V. Hal ini bukan berarti jarak kedua sensor berubah, tetapi menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan belt mempersingkat tambahan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai stasiun sensor kedua.



Gambar 3. Hubungan tegangan konveyor dengan waktu tempuh menuju sensor.

Kondisi mekanis pada 3 V dikategorikan gagal sortir ketika konveyor dan pendorong sama-sama bekerja pada tegangan rendah. Torsi awal tidak cukup untuk menghasilkan aliran benda dan dorongan yang andal. Pada 6 V sistem mulai stabil, tetapi benda masih dapat lolos jika posisi awal terlalu dekat dengan tepi belt. Pada 8 V transport menjadi lebih cepat, sementara akurasi mekanis masih sensitif terhadap posisi benda. Kondisi terbaik pada pengujian terintegrasi diperoleh saat konveyor bekerja pada 10 V dan aktuator dipertahankan 6 V. Kombinasi ini mempercepat transport tanpa mengorbankan kontrol gerak pendorong.

Temuan tersebut memperkuat hasil Putra [5] yang menyatakan bahwa kecepatan konveyor harus dipilih dengan mempertimbangkan akurasi, bukan hanya throughput. Perbedaannya, pada penelitian ini peningkatan tegangan konveyor hingga 10 V masih dapat digunakan karena aktuator tidak ikut dinaikkan ke 10 V. Dengan kata lain, keterbatasan kecepatan sistem bukan hanya fungsi belt, tetapi fungsi rasio dinamika antara belt dan pendorong. Muzaki [6] juga menunjukkan bahwa sinkronisasi kecepatan konveyor dengan proses lain menjadi syarat penting pada otomasi berbasis PLC. Data

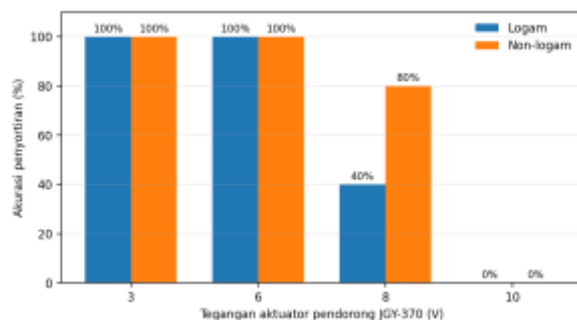
penelitian ini memperluas gagasan tersebut pada sinkronisasi mekanis antar-motor.

Pengujian aktuator JGY-370 menunjukkan hubungan berlawanan antara kecepatan gerak dan akurasi sortir. Untuk material logam, waktu siklus maju-mundur turun dari 1,03 s pada 3 V menjadi 0,84 s pada 6 V, 0,66 s pada 8 V, dan 0,43 s pada 10 V. Untuk non-logam, waktu siklus turun dari 1,29 s menjadi 0,79 s, 0,56 s, dan 0,44 s. Setiap titik tegangan diuji lima kali untuk masing-masing material. Data ini menunjukkan bahwa tegangan lebih tinggi mempercepat siklus mekanik, tetapi keberhasilan penyortiran tidak ikut meningkat.

Tabel 3. Waktu siklus, keberhasilan, dan akurasi aktuator JGY-370 (n=5 per material).

V (V)	t L (s)	Sukses L	t NL (s)	Sukses NL
3	1,03	5/5 (100%)	1,29	5/5 (100%)
6	0,84	5/5 (100%)	0,79	5/5 (100%)
8	0,66	2/5 (40%)	0,56	4/5 (80%)
10	0,43	0/5 (0%)	0,44	0/5 (0%)

Pada 3 V dan 6 V, lima dari lima percobaan material logam berhasil masuk ke bucket sehingga akurasi sederhana 100%. Pada 8 V hanya dua dari lima benda logam berhasil, sehingga akurasi turun menjadi 40%. Pada 10 V tidak ada benda logam yang berhasil tersortir. Material non-logam memperlihatkan pola serupa tetapi sedikit lebih toleran pada 8 V: akurasi 100% pada 3 V dan 6 V, 80% pada 8 V, dan 0% pada 10 V. Jika kedua material dirata-ratakan per setpoint, akurasi gabungan adalah 100%, 100%, 60%, dan 0% berturut-turut untuk 3, 6, 8, dan 10 V.

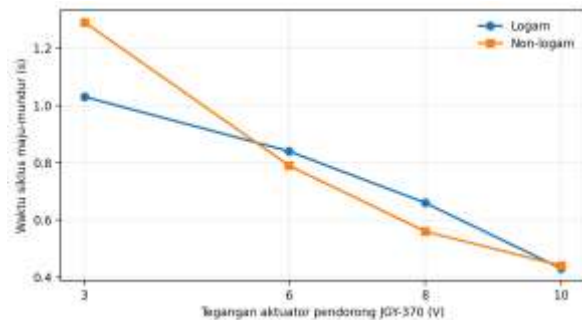


Gambar 4. Akurasi penyortiran terhadap tegangan aktuator pendorong.

Penurunan akurasi pada tegangan tinggi menunjukkan bahwa waktu siklus yang minimum bukan indikator performa terbaik. Pada 10 V, lengan bergerak sangat cepat sehingga kontak dengan benda menghasilkan benturan yang lebih keras. Secara observasional, benda dapat terpental, keluar dari lintasan ideal, atau tersangkut pada tepi

konveyor. Fenomena ini menjelaskan mengapa peningkatan energi aktuator justru menurunkan hasil sorting. Temuan tersebut penting pada desain simulator, karena logika PLC dapat mengaktifkan output pada saat yang benar tetapi proses tetap gagal jika mekanika interaksi tidak sesuai.

Tegangan 6 V dipilih sebagai setpoint aktuator karena mempertahankan akurasi 100% sekaligus mempercepat siklus dibanding 3 V. Untuk benda logam, waktu siklus 6 V lebih singkat 18,45% dibanding 3 V. Untuk non-logam, pengurangan waktu mencapai 38,76%. Dengan demikian, 6 V mendominasi 3 V dari sisi kecepatan tanpa kehilangan akurasi. Sebaliknya, kenaikan ke 8 V tidak layak karena tambahan kecepatan dibayar dengan penurunan akurasi menjadi 40% pada logam dan 80% pada non-logam. Hasil ini menegaskan adanya titik optimum sebelum sistem memasuki daerah over-actuation.



Gambar 5. Hubungan tegangan aktuator dengan waktu siklus maju-mundur.

Ada satu temuan yang perlu dibaca secara hati-hati. Pada pengujian actuator-only, 3 V masih menghasilkan akurasi 100% karena lengan memiliki waktu cukup untuk mendorong benda pada kondisi pengujian terkontrol. Namun, pada pengujian sistem terintegrasi, konfigurasi 3 V dikategorikan gagal sortir karena motor konveyor dan pendorong sama-sama bekerja pada tegangan rendah sehingga torsi dan aliran proses tidak memadai. Perbedaan ini tidak kontradiktif, tetapi menunjukkan bahwa keberhasilan satu subsystem tidak otomatis menjamin keberhasilan sistem. Dengan kata lain, metrik actuator-only mengukur ketepatan sapuan pada kondisi terbatas, sedangkan pengujian terintegrasi mengukur kemampuan keseluruhan urutan transport-detect-push. Insight ini menjadi salah satu kontribusi praktis penelitian. Dibandingkan penelitian sebelumnya, hasil penelitian ini menunjukkan pola yang konsisten tetapi fokus evaluasinya berbeda. Firdaus dan Hudati [4] melaporkan keberhasilan penyortiran 85% pada trainer PLC-HMI dengan aktuator pneumatik. Intawong et al. [13] melaporkan

kemampuan deteksi sensor 95-97% dan presisi penempatan 92% pada demonstrator sorting. Dalam penelitian ini, akurasi 100% pada 6 V diperoleh dari lima percobaan per material pada pengujian aktuator, sehingga nilai tersebut tidak dapat langsung dianggap lebih unggul karena jumlah pengulangan dan konfigurasi sistem berbeda. Nilai 100% harus dibaca sebagai performa pada kondisi pengujian yang ditetapkan, bukan sebagai estimasi reliabilitas industri jangka panjang.

Bhat et al. [14] mendapatkan akurasi simulasi 98% pada conveyor sorting berbasis PLC. Perbandingan dengan prototipe fisik menunjukkan pentingnya uji mekanis aktual. Simulasi dapat memodelkan timing dan logika dengan sangat presisi, tetapi tidak selalu menangkap pantulan benda, variasi gesekan belt, ketidaktepatan peletakan awal, elastisitas mekanisme pendorong, atau toleransi komponen. Pada prototipe ini, kegagalan pada 8-10 V terutama muncul dari interaksi fisik tersebut. Oleh karena itu, commissioning sistem sorting sebaiknya tidak berhenti pada validasi ladder logic dan sensor, tetapi dilanjutkan dengan tuning aktuator terhadap karakteristik benda.

Dari sisi arsitektur kontrol, penggunaan relay MY2N untuk pembalik polaritas memberi solusi sederhana dan mudah dipahami mahasiswa. Namun, switching mekanis memiliki batas kecepatan dan umur kontak yang lebih rendah dibanding driver H-bridge elektronik. Untuk skala simulator, pendekatan relay tetap relevan karena transparan secara pedagogis dan memudahkan penelusuran jalur arus. Untuk pengembangan ke arah sistem dengan siklus lebih tinggi, driver motor elektronik dengan interlock dapat mengurangi wear mekanis dan memungkinkan kontrol PWM yang lebih langsung.

Kontribusi lain berasal dari HMI. Penggunaan D100 dan D101 sebagai counter memungkinkan operator memantau jumlah produk berdasarkan kelas material, sedangkan indikator sensor dan aktuator membantu diagnosis urutan. Struktur ini mendukung konsep observability pada sistem otomasi: operator tidak hanya mengetahui hasil akhir, tetapi dapat melihat keadaan internal yang menyebabkan hasil tersebut. Kshirsagar et al. [9] menekankan bahwa HMI pada sorting machine perlu menampilkan status mesin, jumlah produk, dan kondisi kesalahan. Sistem yang dikembangkan telah mengimplementasikan dua dari tiga fungsi tersebut secara langsung, yaitu status dan counting, serta buzzer saat counter mencapai batas lima sebagai bentuk alarm sederhana.

Penelitian ini memiliki keterbatasan: pengujian aktuator hanya lima kali per kondisi; data waktu tempuh conveyor hanya satu nilai per level tegangan; RPM merupakan hasil interpolasi linear dari spesifikasi 45 RPM pada 12 V, bukan pengukuran tachometer; serta ukuran, massa, bentuk, dan posisi awal benda belum divariasikan secara sistematis. Akurasi deteksi sensor juga belum dipisahkan dari akurasi mekanisme pendorong. Penelitian lanjutan perlu menambah ulangan, menggunakan tachometer/encoder, memvariasikan karakteristik benda, dan memakai confusion matrix untuk mengevaluasi deteksi logam dan non-logam secara independen.

4. Kesimpulan

Simulator conveyor penyortir logam dan non-logam berbasis PLC berhasil direalisasikan dengan mengintegrasikan motor conveyor, sensor proximity induktif dan kapasitif, aktuator pendorong JGY-370, limit switch, relay pembalik polaritas, PLC Omron CP1H, PWM, dan HMI. Sensor induktif digunakan pada tahap pertama untuk mendeteksi logam, sedangkan sensor kapasitif digunakan pada tahap berikutnya untuk mendeteksi benda non-logam. HMI menyediakan fungsi start, stop, reset, jog, kontrol manual aktuator, indikator status, alarm, serta tampilan counter D100 dan D101.

Pengujian menunjukkan bahwa peningkatan tegangan conveyor mempercepat waktu tempuh, dengan kondisi terbaik pada 10 V atau 37,5 RPM teoritis: 2,05 s untuk logam dan 2,94 s untuk non-logam. Pada aktuator JGY-370, 6 V memberikan kompromi terbaik antara kecepatan dan akurasi, yaitu 100% untuk logam dan non-logam dalam lima percobaan masing-masing, dengan waktu siklus 0,84 s dan 0,79 s. Tegangan 8-10 V mempercepat pendorong tetapi menurunkan akurasi karena gerakan yang terlalu agresif. Oleh karena itu, kombinasi conveyor 10 V dan aktuator 6 V dipilih sebagai setpoint operasi terbaik.

Kontribusi utama penelitian adalah menunjukkan bahwa optimasi sistem sorting harus dilakukan per-subsystem. Kecepatan tertinggi tidak selalu memberikan akurasi tertinggi, sehingga sinkronisasi antara waktu transport, deteksi sensor, logika PLC, dan dinamika aktuator lebih penting daripada memaksimalkan satu parameter secara terpisah.

Daftar Rujukan

- [1] Mappa, A., Rumalutur, S., and Mambrisaw, M., 2020. Metal sector conveyor control system

- using PLC Omron CP1E. *Electro Luceat*, 6(2), pp.282-289. doi:10.32531/jelekn.v6i2.267.
- [2] Khairunnas and Risfendra, 2022. Sistem kontrol otomatis sorting machine benda logam berbasis Programmable Logic Controller. *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 3(2), pp.476-486. doi:10.24036/jtein.v3i2.271.
- [3] Hermana, G., Maulana, R., Risfendra, and Sardi, J., 2023. Implementasi HMI NB7W-TW00B pemilah barang logam dan non logam. *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 4(1), pp.314-321. doi:10.24036/jtein.v4i1.382.
- [4] Firdaus, M.R. and Hudati, I., 2025. Rancang bangun conveyor trainer module berbasis PLC Omron CJ2M CPU-31 dan Human Machine Interface (HMI) Omron NB7W. *Jurnal Listrik, Instrumentasi, dan Elektronika Terapan*, 6(1). doi:10.22146/juliet.v6i1.98123.
- [5] Putra, S.C., 2025. Pengaruh variasi kecepatan konveyor terhadap waktu operasional dan pemilah logam dan non logam. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 13(3S1). doi:10.23960/jitet.v13i3S1.7503.
- [6] Muzaki, M.F., 2025. Pengaruh kecepatan konveyor pada penggunaan IoT dan PLC secara real-time pada prototype car wash dengan Pulse Width Modulation. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 13(3S1). doi:10.23960/jitet.v13i3S1.7566.
- [7] Andriani, V. and Sardi, J., 2023. Sistem kendali level air pada tangki dengan Pulse Width Modulation (PWM) berbasis PLC dan HMI. *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 4(2), pp.1014-1022. doi:10.24036/jtein.v4i2.550.
- [8] Ma'arif, A., Istiarno, R., and Sunardi, 2021. Kontrol proporsional integral derivatif (PID) pada kecepatan sudut motor DC dengan pemodelan identifikasi sistem dan tuning. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 9(2), p.374. doi:10.26760/elkomika.v9i2.374.
- [9] Kshirsagar, K.P., Kamble, D.A., Tamkhade, J.P., Mirajkar, R.R., Shingvi, L., Oswal, C., Patwa, V., and Shingvi, M.P., 2023. Automatic sorting machine using PLC and HMI technique. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, 11(10), pp.678-683. doi:10.17762/ijritcc.v11i10.8563.
- [10] Simanjuntak, D.H. and Risfendra, 2021. Sistem monitoring pada sorting machine dengan HMI berbasis PLC. *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 2(1), pp.65-70. doi:10.24036/jtein.v2i1.125.
- [11] Hidayat, M.R.T. and Yanto, D.T.P., 2024. Design of a two-way conveyor belt control system based on PLC and HMI. *Journal of Industrial Automation and Electrical Engineering*, 1(1), pp.215-221.
- [12] Oladapo, B.I., Balogun, V.A., Adeoye, A.O.M., Ijagbemi, C.O., Oluwole, A.S., Daniyan, I.A., Aghor, A.E., and Simeon, A.P., 2016. Model design and simulation of automatic sorting machine using proximity sensor. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 19(3), pp.1452-1456. doi:10.1016/j.jestch.2016.04.007.
- [13] Intawong, N., Saengchandr, B., Inkamchuer, M., Thongprom, M., and Sukontanakarn, V., 2025. Design of internet of things-integrated programmable logic controller for demonstrating automated sorting systems. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 14(4), pp.3161-3174. doi:10.11591/eei.v14i4.9426.
- [14] Bhat, R., Suresh, S., Devakumar, D., Subramanian, K.R., Dhanush, D., and Krishnan, S., 2025. Design and simulation of a PLC-controlled omni wheel conveyor sorting system for high-speed material handling. *Scientific Reports*, 15(1), Article 34150. doi:10.1038/s41598-025-13164-3.