E-ISSN: 3031-8629
P-ISSN: 3032-3258

Halaman 1689 - 1705
Volume 3 Nomor 3 Tahun 2026

Modul Praktikum Konveyor Pemisah Objek Berwarna Berbasis Integrasi Sensor TCS34725, Arduino Uno, PLC Omron CP1E

Mira Wellya Fatma[1], Maresa Prasafitri[2], Rien Afrianti[3], Dedi Tri Laksono[4], Soniarisma Yunita[5]

[1,2]Program Studi D3 Teknik Listrik, Politeknik Negeri Padang

e-mail: mirawellya@pnp.ac.id maresa@pnp.ac.id rienafriyanti@pnp.ac.id deditrilaksono@pnp.ac.id soniarismayunitaa@gmail.com

Abstrak

Proses pemilahan barang secara manual pada lini produksi umumnya membutuhkan waktu lebih lama dan tingkat akurasinya pun terbatas, sementara modul praktikum otomasi yang tersedia di banyak institusi vokasi umumnya hanya melibatkan satu jenis pengendali saja, baik Programmable Logic Controller (PLC) maupun mikrokontroler, sehingga mahasiswa kurang terpapar pada pola integrasi bertingkat yang lazim dijumpai dalam sistem otomasi industri sesungguhnya. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun modul praktikum konveyor pemisah objek berdasarkan warna yang memadukan sensor warna digital TCS34725, mikrokontroler Arduino Uno sebagai pengolah sekaligus penerjemah sinyal, serta PLC Omron CP1E sebagai pengendali utama aktuator pneumatik. Pendekatan penelitian yang digunakan adalah Research and Development (R&D) dengan model ADDIE, mencakup tahap analisis, perancangan, pengembangan, implementasi, dan evaluasi. Modul dilengkapi dengan jobsheet praktikum berjenjang, mulai dari pengenalan komponen, pengawatan, pemrograman Arduino dan PLC, pengujian sensor dan aktuator, hingga pengoperasian sistem secara utuh. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa sensor TCS34725 berhasil mengenali objek berwarna hijau pada seluruh percobaan dan sinyal hasil deteksinya dapat diteruskan secara konsisten melalui Arduino Uno dan modul relay menuju PLC Omron CP1E untuk

mengaktifkan solenoid valve serta silinder pneumatik pada seluruh variasi tekanan suplai yang diuji. Modul yang dihasilkan berpotensi menjadi sarana pembelajaran interaktif yang menghubungkan teori kendali logika dengan praktik integrasi sistem sensor, mikrokontroler, dan PLC pada aplikasi otomasi industri, sekaligus membuka peluang pengembangan lanjutan berupa uji validasi ahli dan pengukuran capaian belajar mahasiswa secara terukur.

Kata kunci: *Modul Praktikum; PLC Omron CP1E; Sensor Warna TCS34725; Arduino Uno; Otomasi Industri*

Abstract

Manual sorting on production lines is typically slow and limited in accuracy, and many automation practicum modules used in vocational institutions rely on only a single controller type, either a Programmable Logic Controller (PLC) or a microcontroller, leaving students with little exposure to the layered integration patterns found in real industrial automation systems. This study set out to design and build a color-based object-sorting conveyor practicum module that combines a TCS34725 digital color sensor, an Arduino Uno microcontroller acting as a signal processor and translator, and an Omron CP1E PLC as the main controller for the pneumatic actuator. The Research and Development (R&D) method was applied using the ADDIE model, covering the analysis, design, development, implementation, and evaluation stages. The module comes with a tiered practicum jobsheet that progresses from component introduction and wiring through Arduino and PLC programming, sensor and actuator testing, and finally full system operation. Testing showed that the TCS34725 sensor correctly identified green objects in every trial, with the detection signal reliably passed through the Arduino Uno and relay module to the Omron CP1E PLC to trigger the solenoid valve and pneumatic cylinder across all supply-pressure settings tested. The resulting module can function as an interactive learning tool that connects control-logic theory with the practice of integrating sensors, microcontrollers, and PLCs in industrial automation, while also opening avenues for further work such as expert validation testing and measurable assessment of student learning outcomes.

Keywords: *Training Module; Omron CP1E PLC; TCS34725 Color Sensor; Arduino Uno; Industrial Automation*

LATAR BELAKANG

Teknologi otomasi di sektor industri berkembang sangat cepat seiring penerapan Revolusi Industri 4.0. Kondisi ini menuntut industri manufaktur untuk terus meningkatkan efisiensi, akurasi, dan kecepatan produksi agar kesalahan manusia (human error) yang sering muncul pada sistem manual dapat ditekan. Salah satu proses penting dalam lini produksi, pengemasan, maupun distribusi barang adalah penyortiran produk berdasarkan ciri fisiknya, misalnya warna dan ukuran objek.

Tidak sedikit industri berskala menengah hingga besar yang beralih dari pemilahan manual menuju sistem otomatis berbasis Programmable Logic Controller (PLC) karena keandalannya yang tinggi, kemudahan dalam pemrograman ulang, serta ketahanannya terhadap gangguan elektrikal maupun fisik di lingkungan pabrik. Meski begitu, untuk mendeteksi warna secara presisi dan dinamis pada konveyor yang terus bergerak, PLC tetap memerlukan sensor warna eksternal. Sensor warna digital beresolusi tinggi seperti TCS34725 umumnya berkomunikasi melalui protokol I2C (Inter-Integrated Circuit), sedangkan port input digital standar pada PLC seperti Omron CP1E hanya mampu membaca level tegangan DC, sehingga kedua perangkat ini tidak dapat dihubungkan secara langsung.

Untuk mengatasi hal tersebut, dibutuhkan unit penghubung berupa mikrokontroler Arduino Uno yang berfungsi sebagai jembatan (bridge), menerjemahkan data serial dari sensor lalu mengonversinya menjadi sinyal digital berbasis level tegangan melalui modul relay sebelum dibaca oleh PLC. Sejumlah penelitian terdahulu telah mengangkat topik sistem pemilah objek berdasarkan warna, di antaranya pemanfaatan PLC bersama sensor warna DT-Sense Color

dengan mikrokontroler ATmega16 sebagai perantara, kajian akurasi sensor TCS3200 yang ternyata dipengaruhi oleh jarak dan kondisi pencahayaan, modul praktikum PLC berbasis platform Outseal sebagai alternatif PLC komersial untuk pembelajaran, hingga konveyor pemisah barang yang memakai smart relay Zelio sebagai pengganti PLC konvensional. Namun, sebagian besar penelitian tersebut hanya mengandalkan satu jenis pengendali saja, baik PLC maupun mikrokontroler, sehingga peserta didik belum memperoleh gambaran utuh tentang pola integrasi kendali hibrida yang lazim diterapkan pada sistem otomasi industri modern, yakni perpaduan sensor cerdas, unit prapemrosesan, dan pengendali logika terprogram.

Kebutuhan dunia kerja pada era Industri 4.0 turut mendorong perguruan tinggi vokasi untuk menghadirkan media praktikum yang benar-benar mencerminkan kondisi lapangan, bukan hanya simulasi konsep dasar. Kajian mengenai training kit berbasis Human Machine Interface (HMI) menunjukkan bahwa trainer yang representatif terhadap sistem industri sesungguhnya mampu meningkatkan keterampilan kendali otomasi (automation control skills) mahasiswa teknik elektro secara signifikan dibandingkan dengan pembelajaran yang hanya mengandalkan simulasi. Pola serupa juga tampak pada pengembangan trainer sensor-transduser berbasis Internet of Things yang dinyatakan sangat layak oleh ahli materi maupun ahli media sebagai media pembelajaran praktikum, serta pada media konveyor otomatis berbasis PLC, Variable Speed Drive (VSD), dan HMI untuk kompetensi instalasi motor listrik di Sekolah Menengah Kejuruan yang juga dikembangkan melalui pendekatan R&D dengan model ADDIE. Ketiga temuan ini memperkuat argumen bahwa modul praktikum yang memadukan lebih dari satu lapis teknologi kendali cenderung

lebih efektif menjembatani teori dan praktik dibandingkan dengan modul yang hanya mengandalkan satu jenis pengendali.

Kesenjangan inilah yang melatarbelakangi penelitian ini, yakni masih terbatasnya modul praktikum yang secara khusus memadukan PLC komersial dengan sensor warna digital modern serta sistem aktuator fluida (pneumatik) dalam satu unit pembelajaran yang representatif dan siap pakai di laboratorium. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan merancang dan membangun modul praktikum konveyor pemisah objek berdasarkan warna yang mengintegrasikan sensor TCS34725, Arduino Uno, dan PLC Omron CP1E, lengkap dengan jobsheet praktikum bertingkat, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai media pembelajaran interaktif yang menghubungkan teori kendali logika dengan penerapan nyata di industri.

METODE

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan Research and Development (R&D) melalui model ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation). Model ini dipilih karena tahapannya sistematis dan umum dipakai dalam pengembangan media maupun modul pembelajaran teknik, seperti halnya pada pengembangan trainer PLC-VSD-HMI dan trainer sensor-transduser berbasis IoT, sehingga proses penelitian dapat berjalan terstruktur mulai dari identifikasi kebutuhan hingga evaluasi akhir modul.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perancangan dan Integrasi Sistem

Modul praktikum yang dibangun terdiri atas rangka konveyor berbahan akrilik, sensor warna TCS34725 yang ditempatkan pada titik pemindaian, Arduino

Uno R3 sebagai unit pengolah sinyal, modul relay SRD-05VDC-SL-C sebagai antarmuka penyekat sinyal, PLC Omron CP1E sebagai pengendali utama, serta sistem pneumatik berupa solenoid valve dan silinder pneumatik. Integrasi antarkomponen berhasil direalisasikan sesuai diagram blok dan diagram alir yang telah dirancang, di mana sinyal hasil pembacaan sensor dapat diteruskan secara berjenjang dari Arduino ke PLC melalui modul relay, tanpa perlu memodifikasi modul input digital PLC yang tersedia secara komersial. Keberhasilan ini menunjukkan bahwa arsitektur bridging berbasis relay merupakan solusi praktis untuk menghubungkan sensor yang berkomunikasi secara digital modern dengan PLC kelas menengah-bawah yang belum dilengkapi modul komunikasi I2C bawaan. Bentuk fisik modul hasil integrasi seluruh komponen tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Realisasi Fisik Modul Praktikum Konveyor Pemisah Objek Berwarna

Hasil Pengujian Sensor Warna TCS34725

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui sejauh mana sensor TCS34725 mampu mendeteksi objek berwarna hijau. Sensor dihubungkan ke Arduino Uno dan hasil pembacaannya diamati melalui Serial Monitor. Hasil pengujian tersebut disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sensor Warna TCS34725

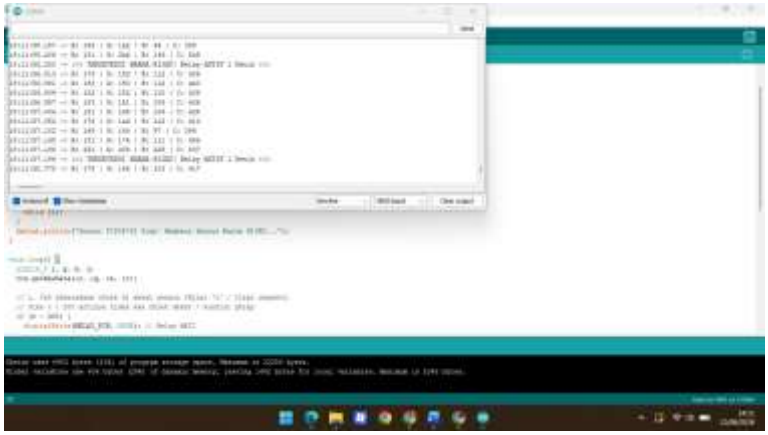
E-ISSN: 3031-8629
P-ISSN: 3032-3258
Halaman 1689 - 1705
Volume 3 Nomor 3 Tahun 2026

Percobaan	Objek	Hasil Pembacaan	Keterangan
1	Hijau	Terdeteksi	Berhasil
2	Hijau	Terdeteksi	Berhasil
3	Hijau	Terdeteksi	Berhasil
4	Hijau	Terdeteksi	Berhasil
5	Hijau	Terdeteksi	Berhasil

Hasil pengujian memperlihatkan bahwa sensor TCS34725 berhasil mengenali objek berwarna hijau pada seluruh percobaan (5 dari 5 percobaan) dan sinyal hasil deteksinya berhasil diteruskan oleh Arduino Uno melalui modul relay menuju PLC Omron CP1E untuk mengaktifkan solenoid valve. Konsistensi pembacaan ini sejalan dengan karakteristik TCS34725 yang dikenal stabil dalam membaca nilai RGB pada berbagai kondisi warna objek, berbeda dari sensor generasi sebelumnya seperti TCS3200 yang akurasinya cenderung dipengaruhi oleh jarak dan intensitas cahaya di sekitarnya. Keunggulan ini terutama berasal dari filter pemblokir inframerah (IR) bawaan pada TCS34725, yang membantu mengurangi gangguan cahaya latar di ruang praktikum sehingga proses pengambilan keputusan warna pada program Arduino cukup dilakukan dengan ambang batas (threshold) nilai kanal RGB yang relatif sederhana, tanpa perlu kompensasi pencahayaan tambahan. Tangkapan layar Serial Monitor pada Gambar 2 memperlihatkan pola pembacaan tersebut: program Arduino secara terus-menerus membandingkan nilai kanal Red, Green, Blue, dan Clear, lalu menandai status "TERDETEKSI WARNA HIJAU" dan mengaktifkan relay selama satu detik

E-ISSN: 3031-8629
P-ISSN: 3032-3258
Halaman 1689 - 1705
Volume 3 Nomor 3 Tahun 2026

setiap kali kombinasi nilai RGB objek memenuhi ambang batas warna hijau yang telah ditentukan.



Gambar 2. Tangkapan Layar Serial Monitor Hasil Pembacaan Sensor TCS34725

Hasil Pengujian Aktuator Pneumatik

Pengujian silinder pneumatik bertujuan untuk mengetahui kemampuan aktuator dalam bergerak maju (open/extend) maupun mundur (close/retract) sebagai respons terhadap sinyal dari PLC. Pengujian ini dilakukan pada lima variasi tekanan udara suplai (15, 30, 40, 50, dan 60 psi), masing-masing sebanyak lima kali percobaan. Rekapitulasi hasilnya disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Waktu Respons Silinder Pneumatik pada Berbagai Tekanan Suplai

Tekanan Udara (psi)	Rata-rata Waktu Open (ms)	Rata-rata Waktu Close (ms)	Total Siklus (ms)
15	82,2	22,6	104,8
30	101,6	43,26	144,86
40	99,6	55,0	154,6

Tekanan Udara (psi)	Rata-rata Waktu Open (ms)	Rata-rata Waktu Close (ms)	Total Siklus (ms)
50	100,2	50,6	150,8
60	82,2	60,6	142,8

Berdasarkan Tabel 2, silinder pneumatik dapat bergerak maju dan mundur sesuai perintah yang diberikan PLC pada seluruh variasi tekanan yang diuji, yang menunjukkan bahwa rantai sinyal sensor, mikrokontroler, relay, dan PLC yang dirancang mampu menghasilkan aktuasi yang andal pada rentang tekanan kerja yang umum digunakan pada sistem pneumatik skala laboratorium. Perbedaan waktu respons pada setiap tingkat tekanan menunjukkan bahwa kinerja gerakan silinder dipengaruhi oleh kondisi tekanan udara suplai, dengan pola yang cenderung tidak linier: waktu open relatif stabil pada kisaran 82-102 ms, sementara waktu close justru menunjukkan tren meningkat seiring naiknya tekanan suplai. Pola ini diduga terkait dengan karakteristik kontrol aliran balik pada solenoid valve yang digunakan, di mana tekanan udara yang lebih tinggi membutuhkan waktu lebih lama untuk dibuang kembali ke atmosfer melalui saluran exhaust saat silinder bergerak mundur. Temuan ini menegaskan bahwa aktuator pneumatik dapat berfungsi sebagai mekanisme pemisah objek yang responsif terhadap sinyal kendali dari PLC, sekaligus menjadi indikasi awal bahwa pemilihan tekanan kerja perlu disesuaikan dengan kecepatan konveyor yang direncanakan agar objek dapat terpisah secara tepat sebelum melewati titik pendorong. Karakterisasi kuantitatif yang lebih mendalam mengenai hubungan antara tekanan suplai dan waktu respons aktuator menjadi topik tersendiri yang dapat dikembangkan pada

penelitian lanjutan. Proses pengujian respons silinder pneumatik menggunakan objek berwarna hijau pada modul ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengujian Respons Silinder Pneumatik terhadap Objek Berwarna Hijau

Modul sebagai Media Pembelajaran

Keberhasilan mengintegrasikan tiga lapis kendali (sensor cerdas, mikrokontroler, dan PLC) dalam satu unit modul menjadikan alat ini relevan sebagai media pembelajaran praktikum pada mata kuliah PLC dan Aplikasi Industri. Melalui jobsheet bertingkat yang telah disusun, mahasiswa dapat belajar secara berurutan, mulai dari pengenalan komponen hingga pengoperasian sistem secara utuh, sehingga pemahaman terhadap pola integrasi kendali hibrida, yang jarang dijumpai pada modul praktikum konvensional yang hanya memakai satu jenis pengendali, dapat dibangun secara bertahap dan terstruktur.

Relevansi pendekatan ini juga diperkuat oleh temuan pada penelitian-penelitian sejenis. Pengembangan training kit berbasis HMI, misalnya, menunjukkan bahwa media praktikum yang merepresentasikan kondisi sistem otomasi industri secara nyata mampu meningkatkan keterampilan kendali otomasi

mahasiswa secara signifikan dibandingkan dengan pembelajaran berbasis simulasi. Hal serupa terlihat pada trainer sensor-transduser berbasis IoT yang memadukan banyak sensor dalam satu unit dan dinilai sangat layak oleh ahli materi maupun ahli media, serta pada media konveyor otomatis berbasis PLC-VSD-HMI yang juga memperoleh tingkat kelayakan tinggi untuk kompetensi instalasi motor listrik. Kesamaan pola pada ketiga penelitian tersebut memperkuat argumen bahwa modul praktikum berbasis integrasi multi-teknologi, seperti yang dikembangkan pada penelitian ini, berpeluang memberi pengalaman belajar yang lebih dekat dengan kompetensi kerja industri dibandingkan dengan modul yang hanya mengandalkan satu jenis pengendali.

Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Tabel 3 merangkum posisi penelitian ini dibandingkan dengan beberapa modul praktikum PLC sejenis yang telah dipublikasikan. Modul kendali berurutan otomatis berbasis limit switch pada PLC Omron CP1E berfokus pada pengujian logika sekuensial dua silinder tanpa melibatkan sensor cerdas eksternal, sementara modul praktikum berbasis platform Outseal lebih menonjolkan aspek keterjangkauan biaya dengan mengganti PLC komersial dengan platform terbuka. Media konveyor otomatis berbasis PLC-VSD-HMI berfokus pada kompetensi instalasi dan kendali kecepatan motor listrik tanpa melibatkan sensor warna digital sebagai input utama, sedangkan trainer berbasis ESP32 menempatkan mikrokontroler, bukan PLC industri, sebagai pengendali utama, meskipun berhasil mengintegrasikan banyak sensor sekaligus. Berbeda dari keempatnya, penelitian ini berfokus pada integrasi PLC komersial (Omron CP1E) dengan sensor warna digital modern (TCS34725) melalui mikrokontroler sebagai penerjemah sinyal, sehingga mahasiswa tetap terpapar pada PLC industri standar sekaligus

mempelajari pola interkoneksi bertingkat yang representatif terhadap kondisi lapangan.

Tabel 3. Perbandingan Modul Praktikum PLC dengan Penelitian Terdahulu

Penelitian	Pengendali Utama	Sensor Cerdas Eksternal	Fokus Utama
D.T.Laksono (2026)	PLC Omron CP1E	Tidak (limit switch)	Logika sekuensial
S.Langit dkk. (2024)	PLC Outseal (open-source)	Tidak	Efisiensi biaya
Arbye S dkk. (2014)	PLC Omron CPM1-A	Ya (DT-Sense Color)	Deteksi warna
I.M.Suginardha dkk. (2025)	PLC Omron + VSD + HMI	Tidak (fokus VSD-HMI)	Kompetensi instalasi motor & konveyor
A.Yudisurya dkk. (2026)	Mikrokontroler ESP32	Ya (9 sensor terintegrasi)	Pembelajaran sensor-transduser berbasis IoT
Penelitian ini	PLC Omron CP1E	Ya (TCS34725, I2C)	Integrasi 3 lapis kendali + aktuator pneumatik

Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini masih memiliki sejumlah keterbatasan yang perlu diperhatikan pada pengembangan selanjutnya. Pertama, pengujian deteksi warna baru dilakukan pada satu pasangan warna saja (hijau sebagai target dan merah sebagai non-target) dengan lima kali pengulangan, sehingga belum menggambarkan performa sensor pada palet warna yang lebih beragam ataupun pada kondisi pencahayaan ruang praktikum yang berbeda-beda. Kedua, evaluasi pada tahap ADDIE yang dilakukan masih sebatas pengujian fungsional teknis (pass/fail) dan belum mencakup validasi oleh ahli materi, ahli media, maupun uji coba kepada mahasiswa menggunakan instrumen terstandar, sebagaimana lazim dilakukan pada penelitian trainer sejenis. Ketiga, dampak penggunaan modul terhadap capaian belajar mahasiswa secara kuantitatif, misalnya melalui desain pretest-posttest, belum diukur pada tahap ini. Keempat, rangka konveyor berbahan akrilik yang dipakai masih berstatus prototipe laboratorium, sehingga ketahanannya terhadap pemakaian intensif dan berulang dalam jangka panjang belum dievaluasi.

Implikasi Praktis dan Pedagogis

Meski memiliki keterbatasan tersebut, hasil integrasi fungsional yang konsisten pada seluruh pengujian menunjukkan bahwa modul ini secara teknis sudah layak dilanjutkan ke tahap validasi pedagogis. Secara praktis, modul ini bisa langsung digunakan sebagai media pengantar pada mata kuliah PLC dan Aplikasi Industri untuk memperkenalkan pola interkoneksi sensor digital modern dengan PLC industri, kompetensi yang kian dibutuhkan seiring meluasnya pemakaian sensor pintar berbasis komunikasi digital pada lini produksi otomatis. Secara pedagogis, struktur jobsheet bertingkat yang dikembangkan berpeluang diadaptasi untuk trainer serupa dengan mengganti jenis sensor atau aktuator, mengikuti pola pengembangan trainer multi-sensor yang telah terbukti efektif pada penelitian lain. Pengembangan lanjutan yang disarankan antara lain melibatkan ahli materi dan ahli media untuk validasi instrumen, mengukur capaian belajar mahasiswa secara terukur melalui desain pretest-posttest sebagaimana lazim dilakukan pada evaluasi ADDIE, serta menambahkan antarmuka HMI untuk memantau status sistem secara visual, mengikuti pendekatan yang telah terbukti meningkatkan keterampilan kendali otomasi mahasiswa pada penelitian-penelitian sejenis.

KESIMPULAN

Modul praktikum konveyor pemisah objek berdasarkan warna yang mengintegrasikan sensor TCS34725, Arduino Uno, dan PLC Omron CP1E telah berhasil dirancang dan diimplementasikan melalui pendekatan Research and Development dengan model ADDIE. Sensor TCS34725 mampu mendeteksi objek berwarna hijau dengan tingkat keberhasilan penuh pada seluruh pengujian dan sinyal hasil deteksinya dapat diteruskan secara konsisten melalui Arduino Uno serta modul relay menuju PLC untuk mengaktifkan aktuator pneumatik. Pengujian pada lima variasi tekanan suplai menunjukkan bahwa silinder pneumatik dapat bekerja

sesuai perintah kendali pada seluruh kondisi tekanan yang diuji, dengan pola waktu respons yang tidak linier terhadap tekanan suplai, terutama pada gerak mundur (close) silinder.

Dibandingkan dengan modul praktikum PLC sejenis yang telah dipublikasikan, penelitian ini memiliki posisi yang khas karena memadukan PLC industri standar, sensor warna digital modern berbasis I2C, dan aktuator pneumatik dalam satu unit pembelajaran yang utuh, sesuatu yang belum secara spesifik diangkat oleh penelitian-penelitian sebelumnya. Modul ini dapat dimanfaatkan sebagai media pembelajaran interaktif yang menjembatani teori kendali logika dengan praktik integrasi sistem sensor, mikrokontroler, dan PLC pada aplikasi otomasi industri.

Pengembangan lebih lanjut disarankan mencakup validasi kelayakan modul oleh ahli materi dan ahli media menggunakan instrumen terstandar, pengukuran dampak penggunaan modul terhadap capaian belajar mahasiswa secara kuantitatif, penambahan variasi warna objek yang dapat dideteksi disertai pengujian pada kondisi pencahayaan yang beragam, penambahan antarmuka HMI untuk pemantauan status sistem secara visual, serta pengayaan jobsheet dengan variasi latihan pemrograman PLC dan Arduino yang lebih luas. Dengan begitu, modul ini diharapkan dapat berkembang menjadi media pembelajaran yang tidak hanya layak secara teknis, tetapi juga teruji secara pedagogis.

DAFTAR PUSTAKA

K. Wulandari, A. K. Saputro, M. F. Fahmi, A. F. Ibadillah, M. Hardiwansyah, dan D. N. Purnamasari, "Otomatisasi Sistem Sortir Benda Berdasarkan Warna Berbasis Programmable Logic Controller Menggunakan Metode KNN," SinarFe7, vol. 7, no. 1, hal. 76–87, 2025.

Ta'ali, A. V. Wati, Habibullah, dan J. Sardi, "Pembacaan RGB Warna terhadap Lima Warna yang Berbeda pada Sensor TCS34725," JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia, vol. 4, no. 1, hal. 84–90, 2023.

Ta'ali, W. Khairat, Habibullah, dan J. Sardi, "Pengaruh Jarak terhadap Sensitivitas Sensor Warna TCS3200," JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia, vol. 4, no. 1, hal. 67–74, 2023.

Effendi, W. Priyanto, dan A. Faruqi, "Rancang Bangun Konveyor Pemisah Barang Berdasarkan Warna Menggunakan Smart Relay Zelio," Jurnal J-Innovation, vol. 10, no. 1, hal. 24–29, 2021.

Arbye S., S. Sumardi, dan B. Setiyono, "Pengendalian pada Prototype Konveyor Pemisah Barang Berdasarkan Warna Menggunakan Sensor DT-Sense Color dengan Controller ATmega 16 dan PLC Omron CPM1-A," Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, vol. 16, no. 2, hal. 86-91, 2014, doi: 10.12777/transmisi.16.2.86-91.

D. T. Laksono, "Implementasi Kendali Berurutan Otomatis Berbasis Limit Switch pada Modul Praktikum PLC Omron CP1E untuk Pembelajaran Otomasi Industri," Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan, vol. 14, no. 1, 2026, doi: 10.23960/jitet.v14i1.8326.

S. Langit, P. Rahardjo, dan I. P. E. D. Nugraha, "Rancang Bangun Modul Praktikum Programmable Logic Controller Berbasis Outseal PLC," Majalah Ilmiah Teknologi Elektro, vol. 22, no. 2, hal. 295–304, 2024, doi: 10.24843/MITE.2023.v22i02.P18.

T. Muchtar dan Lutfi, "Studi Literatur: Penggunaan Metode Formal dan Terstruktur Pembuatan Program Programmable Logic Controller," dalam Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri XI, Makassar: Politeknik ATI Makassar, 2024, hal. 131-139.

B. Herdiana, E. B. Setiawan, dan U. Sartoyo, "Tinjauan Komprehensif Evolusi, Aplikasi, dan Tren Masa Depan Programmable Logic Controllers," Telekontran: Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Kendali dan Elektronika Terapan, vol. 11, no. 2, hal. 173-193, 2024, doi: 10.34010/telekontran.v11i2.12896.

G. S. A. Putra, A. Nabila, dan A. B. Pulungan, "Power Supply Variabel Berbasis Arduino," JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia, vol. 1, no. 2, hal. 139–143, 2020, doi: 10.24036/jtein.v1i2.53.

M. Waruwu, "Metode Penelitian dan Pengembangan (R&D): Konsep, Jenis, Tahapan dan Kelebihan," Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan, vol. 9, no. 2, hal. 1220-1230, 2024, doi: 10.29303/jipp.v9i2.2141.

I. M. Suginardha, K. I. Ismara, M. Supriadi, D. Hariyanto, dan S. Meunmany, "Enhancing Electric Motor Control of Electric Motor Installation in Indonesian Vocational Schools Using PLC and VSD Technology with HMI," Jurnal Edukasi Elektro (JEE), vol. 9, no. 1, hal. 77-92, 2025, doi: 10.21831/jee.v9i1.84503.

A. Yudisurya, R. Asnawi, dan D. B. Hertanto, "Development of an ESP32-Based Internet of Things Trainer for Sensor and Transducer Learning in Electrical Engineering Education," Jurnal Edukasi Elektro (JEE), vol. 10, no. 1, hal. 112-124, 2026, doi: 10.21831/jee.v10i1.96831.

Aswardi, D. T. Putra Yanto, C. Dewi, H. Zaswita, M. Kabatiah, dan R. Kurani, "Human Machine Interface-Based Control Training Kit as Innovative Learning Media to Enhance Students' Automation Control Skills in the Industry 4.0 Era," TEM Journal, vol. 12, no. 4, hal. 2157-2165, 2023, doi: 10.18421/TEM124-26.