

PERANCANGAN SISTEM SORTASI WARNA SEBAGAI MEDIA PEMBELAJARAN OTOMASI BERBASIS *INTERNET OF THINGS* (IoT)

Agum Surya Revanza; Ratnanto Fitriadi
Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Abstrak

Perkembangan teknologi otomasi industri menuntut tersedianya media pembelajaran yang mampu merepresentasikan proses industri secara nyata. Salah satu proses yang banyak digunakan dalam industri adalah sistem sortasi pada tahap quality control. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun media pembelajaran otomasi berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan sistem sortasi warna yang dilengkapi conveyor, sensor warna TCS34725, robot arm 4 Degree of Freedom (DOF), dan mikrokontroler ESP32. Metode penelitian yang digunakan adalah reverse engineering untuk mengidentifikasi kebutuhan sistem berdasarkan alat conveyor trainer kit yang telah tersedia di Laboratorium Otomasi Teknik Industri Universitas Muhammadiyah Surakarta. Hasil identifikasi digunakan sebagai dasar dalam proses perancangan, pembuatan prototipe, dan pengembangan sistem. Pengujian dilakukan terhadap kemampuan sensor dalam mengidentifikasi warna objek, keberhasilan proses sortasi, serta evaluasi kelayakan media pembelajaran. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor TCS34725 mampu mengidentifikasi warna objek dengan tingkat keberhasilan sebesar 100% dan sistem sortasi secara keseluruhan juga memperoleh tingkat keberhasilan sebesar 100%. Analisis statistik menggunakan metode Shapiro-Wilk dan Independent Sample t-Test menghasilkan nilai signifikansi sebesar 0,000 ($<0,05$), yang menunjukkan terdapat perbedaan signifikan waktu respon sensor antara objek berwarna hijau dan objek selain hijau. Hasil evaluasi menggunakan kuesioner terhadap 7 responden memperoleh tingkat kelayakan sebesar 94,48% dengan kategori sangat layak. Berdasarkan hasil tersebut, media pembelajaran yang dikembangkan dinilai mampu merepresentasikan proses sortasi industri dan layak digunakan sebagai sarana praktikum otomasi industri berbasis IoT.

Kata Kunci: Internet of Things, Media Pembelajaran, Otomasi Industri, Reverse Engineering, Robot Arm, Sistem Sortasi Warna.

Abstract

Advances in industrial automation technology require the availability of learning materials capable of realistically representing industrial processes. One process widely used in industry is the sorting system in the quality control stage. This study aims to design and build an Internet of Things (IoT)-based automation learning medium using a color sorting system equipped with a conveyor, a TCS34725 color sensor, a 4-Degree-of-Freedom (DOF) robotic arm, and an ESP32 microcontroller. The research method used is reverse engineering to identify system requirements based on the learning tools already available at the Industrial Engineering Automation Laboratory of Muhammadiyah University Surakarta. The results of the identification were used as the basis for the design process, prototype creation, and system development. Testing was conducted on the sensor's ability to identify object colors, the success of the sorting process, and an evaluation of the learning medium's feasibility. Test results show that the TCS34725 sensor is capable of identifying object colors with a 100% success rate, and the sorting system as a whole also achieved a 100% success rate. Statistical analysis using the Shapiro-Wilk test and the Independent Samples t-test yielded a significance value of 0.000 (<0.05), indicating a significant difference in sensor response time between green objects and non-green objects. The evaluation results from a questionnaire administered to 7

respondents yielded a feasibility rating of 94.48%, classified as “highly feasible.” Based on these results, the developed education learning is deemed capable of representing the industrial sorting process and is suitable for use as a practical tool for IoT-based industrial automation.

Keywords: Internet of Things, Education Learning, Industrial Automation, Reverse Engineering, Robot Arm, Color Sorting System.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi otomasi dan *Internet of Things* (IoT) telah membawa perubahan signifikan dalam sistem manufaktur *modern*, terutama pada proses *quality control* dan sortasi produk. Pemanfaatan sensor, mikrokontroler, dan aktuator memungkinkan proses identifikasi serta pemisahan objek dilakukan secara otomatis sehingga mampu meningkatkan efisiensi, konsistensi kualitas, dan mengurangi kesalahan akibat faktor manusia (Lin et al., 2021). Kondisi tersebut menuntut dunia pendidikan untuk menyediakan media pembelajaran yang mampu merepresentasikan implementasi teknologi otomasi industri secara nyata sehingga mahasiswa dapat memahami integrasi antara perangkat keras, sistem kendali, dan teknologi digital dalam satu kesatuan sistem (Aliyah et al., 2024).

Dalam perspektif Al-Islam dan Kemuhammadiyah (AIK), pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi harus diarahkan untuk memberikan kemanfaatan serta dilakukan dengan penuh ketelitian dan tanggung jawab. Sebagaimana dijelaskan dalam QS. Al-Mulk ayat 3–4, manusia diperintahkan untuk memperhatikan dan meneliti kembali setiap ciptaan Allah secara cermat, yang mencerminkan pentingnya evaluasi dan pengendalian kualitas dalam setiap proses. Nilai tersebut sejalan dengan konsep *quality control* pada sistem otomasi industri yang menekankan proses pemeriksaan, pengujian, dan pengendalian untuk memastikan hasil sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Dengan demikian, pengembangan media pembelajaran berbasis otomasi tidak hanya mendukung peningkatan kompetensi teknis mahasiswa, tetapi juga menanamkan nilai ketelitian, tanggung jawab, dan budaya perbaikan berkelanjutan (Zahwa et al., 2022).

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem sortasi otomatis berbasis sensor warna dan mikrokontroler. Menurut (Kurniawan et al., 2024) menunjukkan bahwa penerapan otomasi berbasis PLC mampu meningkatkan efisiensi penyortiran barang berdasarkan warna. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada fungsi sortasi objek dan belum mengintegrasikan mekanisme robot *arm* sebagai media *handling* sekaligus *monitoring* berbasis *Internet of Things* (IoT) sebagai media pembelajaran laboratorium (Ade Chairany et al., 2025).

Berdasarkan hasil kajian tersebut, pengembangan penelitian ini terletak pada media pembelajaran sistem *quality control* berbasis sortasi yang mengintegrasikan conveyor, sensor inframerah, sensor warna TCS34725, *robot arm 4 Degree of Freedom* (DOF), mikrokontroler ESP32, dan teknologi *Internet of Things* (IoT) dalam satu sistem pembelajaran (Cornelia, Sintiawati, Aan

Febriansyah, Nur Khasanah, 2026). Selain itu, proses pengembangan dilakukan menggunakan pendekatan *reverse engineering* terhadap conveyor *trainer kit* yang telah tersedia di Laboratorium Otomasi Teknik Industri Universitas Muhammadiyah Surakarta sehingga sistem yang dihasilkan mampu merepresentasikan konsep otomasi industri secara lebih komprehensif (Wakjira et al., 2024).

Berdasarkan Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK) Otomasi Industri, mahasiswa diharapkan mampu mengidentifikasi dan menjelaskan konsep dasar otomasi serta sistem pengendalian industri, memahami prinsip kerja komponen elektronika, serta mengimplementasikan pemrograman sistem kendali. Oleh karena itu, media pembelajaran yang dikembangkan dirancang untuk mendukung pencapaian kompetensi tersebut melalui integrasi conveyor, sensor inframerah, sensor warna TCS34725, *robot arm 4 Degree of Freedom* (DOF), mikrokontroler ESP32, dan *Internet of Things* (IoT), sehingga mahasiswa dapat mempelajari konsep otomasi secara lebih komprehensif.

Permasalahan dalam penelitian ini adalah keterbatasan media pembelajaran yang tersedia di laboratorium, di mana sistem yang ada hanya mampu mendeteksi keberadaan objek menggunakan sensor inframerah dan belum memiliki kemampuan identifikasi warna, mekanisme sortasi menggunakan robot *arm*, serta monitoring secara *real-time* berbasis IoT. Kondisi tersebut menyebabkan proses pembelajaran belum sepenuhnya menggambarkan implementasi *quality control* dan sistem sortasi yang umum diterapkan di lingkungan industri *modern* (Noori et al., 2025).

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem *quality control* berbasis sortasi menggunakan conveyor, sensor warna TCS34725, *robot arm 4 DOF*, dan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan IoT sebagai media pembelajaran otomasi industri. Hasil penelitian diharapkan dapat meningkatkan representasi pembelajaran otomasi di laboratorium serta memberikan pengalaman praktis kepada mahasiswa dalam memahami integrasi sensor, aktuator, sistem kendali, dan teknologi IoT pada sistem industri (Suryatini et al., 2026).

2. METODE

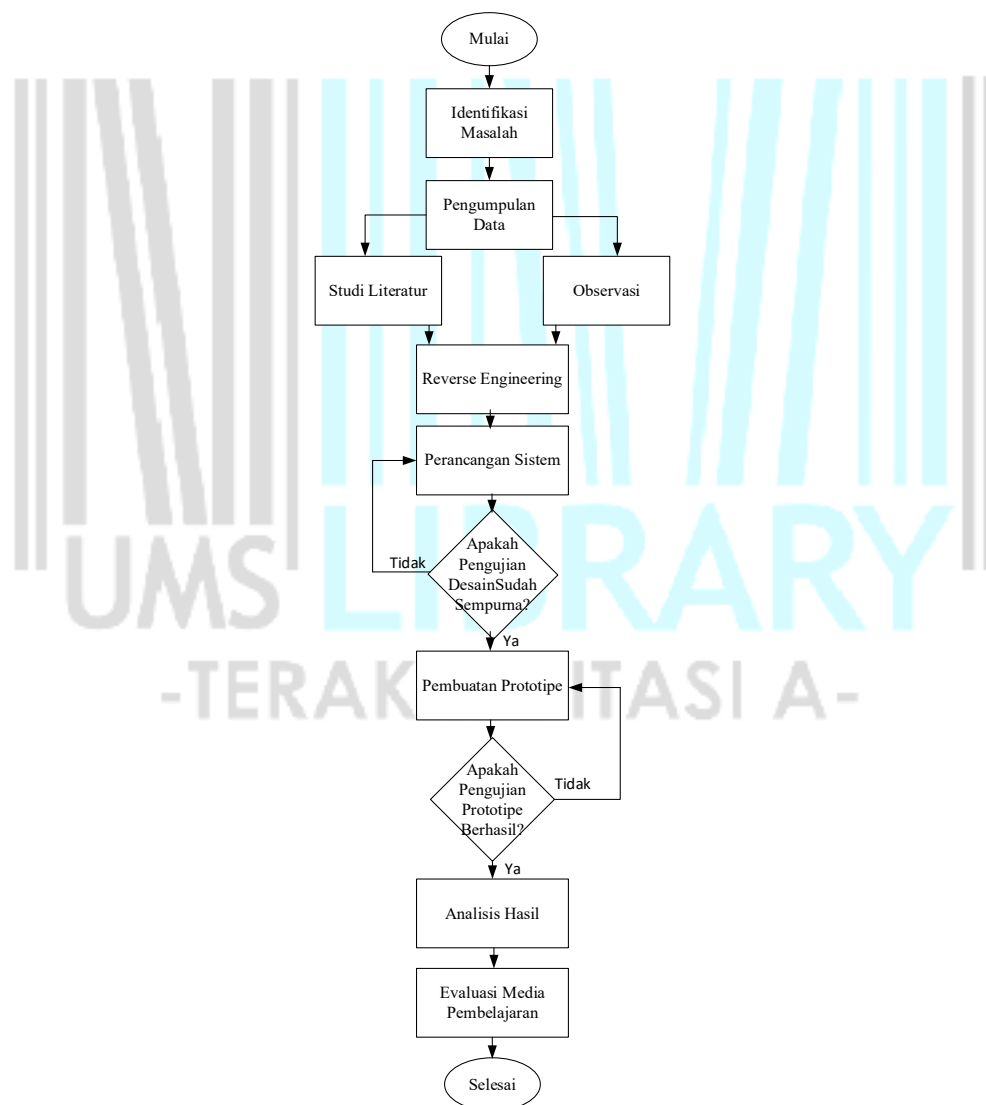
Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Otomasi Teknik Industri Universitas Muhammadiyah Surakarta. Objek penelitian berupa media pembelajaran sistem sortasi berbasis warna yang dikembangkan menggunakan conveyor, sensor warna TCS34725, *robot arm 4 Degree of Freedom* (DOF), motor servo, mikrokontroler ESP32, dan teknologi *Internet of Things* (IoT). Penelitian menggunakan metode *reverse engineering* yang bertujuan untuk menganalisis sistem conveyor *trainer kit* yang telah tersedia sebagai dasar pengembangan sistem yang lebih sesuai dengan kebutuhan pembelajaran otomasi industri (Riyadi Muslim et al., 2025).

Data yang digunakan terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi terhadap conveyor *trainer kit* yang telah tersedia di laboratorium, pengujian sistem yang dikembangkan, serta penyebaran kuesioner kepada asisten Laboratorium Otomasi Teknik Industri

(Rahmayanti et al., 2024). Data sekunder diperoleh dari jurnal, buku, dan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan sistem sortasi, sensor warna, robot *arm*, dan *Internet of Things* (IoT) (Adityaningrum et al., 2021).

2.1 Tahap Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan ditunjukkan pada Gambar 2. Penelitian diawali dengan identifikasi masalah untuk mengetahui kebutuhan pengembangan media pembelajaran pada Laboratorium Otomasi Teknik Industri. Selanjutnya dilakukan pengumpulan data melalui studi literatur dan observasi terhadap conveyor *trainer kit* yang telah tersedia. Data yang diperoleh kemudian digunakan pada tahap *reverse engineering* untuk menganalisis cara kerja sistem, komponen yang digunakan, serta kebutuhan pengembangan sistem.



Gambar 1. *Flowchart* Penelitian

Berdasarkan hasil *reverse engineering*, dilakukan perancangan sistem yang meliputi perancangan mekanik, sistem kendali, dan integrasi perangkat keras. Hasil perancangan kemudian

divalidasi melalui pengujian desain sistem sebelum direalisasikan dalam bentuk prototipe. Setelah prototipe selesai dibuat, dilakukan pengujian untuk mengetahui kemampuan sistem dalam melakukan identifikasi warna dan proses sortasi objek. Hasil pengujian selanjutnya dianalisis untuk mengevaluasi kinerja sistem, kemudian dilakukan evaluasi media pembelajaran menggunakan kuesioner untuk mengetahui tingkat kelayakan media yang dikembangkan.

2.2 Identifikasi Masalah

Tahap identifikasi masalah dilakukan untuk mengetahui kondisi conveyor *trainer kit* yang telah tersedia di Laboratorium Otomasi Teknik Industri Universitas Muhammadiyah Surakarta. Identifikasi dilakukan dengan mengamati fungsi, alur kerja, serta kemampuan sistem dalam mendukung proses pembelajaran otomasi industri.

Hasil identifikasi menunjukkan bahwa media pembelajaran yang tersedia masih terbatas pada proses deteksi keberadaan objek menggunakan sensor inframerah. Sistem belum memiliki kemampuan identifikasi warna, mekanisme sortasi menggunakan *robot arm*, serta *monitoring* berbasis *Internet of Things* (IoT).

Temuan tersebut menjadi dasar dalam menentukan kebutuhan pengembangan sistem. Berdasarkan hasil identifikasi, penelitian ini difokuskan pada pengembangan media pembelajaran yang mampu mengintegrasikan proses identifikasi warna, sortasi otomatis, dan *monitoring* secara *real-time*.

2.3 Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data dilakukan melalui studi literatur dan observasi sebagai dasar dalam proses pengembangan media pembelajaran. Kedua metode tersebut digunakan untuk memperoleh informasi mengenai konsep, kebutuhan sistem, serta teknologi yang akan diterapkan.

Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan referensi dari jurnal, buku, dan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan sistem sortasi, sensor warna, *robot arm*, *Internet of Things* (IoT), serta metode *reverse engineering*. Informasi yang diperoleh digunakan sebagai acuan dalam penyusunan konsep perancangan dan pengembangan sistem.

Observasi dilakukan terhadap conveyor *trainer kit* yang telah tersedia di Laboratorium Otomasi Teknik Industri untuk memahami cara kerja sistem, konfigurasi komponen, serta mengidentifikasi kekurangan yang masih perlu dikembangkan. Hasil observasi kemudian digunakan sebagai masukan pada tahap *reverse engineering*.

2.4 Reverse Engineering

Tahap *reverse engineering* dilakukan untuk menganalisis conveyor *trainer kit* yang telah tersedia sebagai dasar pengembangan sistem baru. Analisis meliputi identifikasi struktur mekanik, komponen

elektronik, sistem kendali, serta alur kerja media pembelajaran.

Selain itu, dilakukan evaluasi terhadap fungsi setiap komponen untuk mengetahui kelebihan dan keterbatasan sistem yang ada. Hasil evaluasi digunakan untuk menentukan kebutuhan fitur baru yang diperlukan pada media pembelajaran. Hasil *reverse engineering* kemudian dijadikan acuan dalam menentukan pengembangan prototipe.

2.5 Perancangan Sistem

Tahap perancangan sistem dilakukan untuk menghasilkan rancangan media pembelajaran yang sesuai dengan kebutuhan pengembangan. Perancangan meliputi aspek mekanik dan sistem kendali agar seluruh komponen dapat bekerja secara terintegrasi.

Perancangan mekanik dilakukan menggunakan perangkat lunak *Computer Aided Design* (CAD) untuk menentukan dimensi alat, tata letak komponen, posisi sensor, serta area kerja *robot arm*. Hasil desain mekanik digunakan sebagai acuan dalam proses fabrikasi dan perakitan prototipe.

Selanjutnya dilakukan perancangan sistem kendali dengan menyusun logika kerja menggunakan *Ladder Diagram*. Logika tersebut kemudian diimplementasikan ke dalam program Arduino pada mikrokontroler ESP32 sehingga mampu mengendalikan conveyor, sensor, *robot arm*, dan sistem monitoring berbasis IoT.

2.6 Pengujian Desain Sistem

Tahap pengujian desain sistem dilakukan sebelum proses pembuatan prototipe untuk memastikan rancangan yang dibuat telah sesuai dengan kebutuhan sistem. Pengujian dilakukan menggunakan perangkat lunak SolidWorks melalui simulasi pergerakan *robot arm* terhadap area pengambilan dan peletakan objek.

Simulasi dilakukan dengan beberapa variasi sudut putar untuk mengetahui jangkauan kerja *robot arm* serta memastikan tidak terjadi benturan dengan komponen lain. Hasil pengujian digunakan untuk menentukan sudut kerja yang paling optimal sebelum proses perakitan dilakukan. Hasil simulasi kemudian dijadikan acuan dalam proses pembuatan prototipe sehingga risiko kesalahan perancangan dapat diminimalkan.

2.7 Pembuatan Prototipe

Tahap pembuatan prototipe dilakukan dengan merealisasikan hasil perancangan menjadi media pembelajaran dalam bentuk fisik melalui proses perakitan komponen mekanik, elektronik, dan sistem kendali hingga menjadi sistem yang dapat dioperasikan.

Seluruh komponen dirakit sesuai dengan desain yang telah dibuat menggunakan SolidWorks sehingga membentuk satu sistem yang terintegrasi. Setelah proses perakitan selesai, dilakukan pengecekan koneksi mekanik, kelistrikan, dan komunikasi antar perangkat.

Prototipe yang telah selesai kemudian dipersiapkan untuk memasuki tahap pengujian sistem guna mengetahui kinerja setiap komponen dan keseluruhan sistem.

2.8 Pengujian Prototipe

Pengujian prototipe dilakukan melalui beberapa tahapan sistematis sebagai berikut:

a. Analisis Waktu Respon Sensor

Data waktu respon sensor TCS34725 diperoleh dari hasil pengujian objek berwarna hijau, dan selain hijau meliputi, oranye dan coklat (Arif & Irawan, 2025). Pengujian menggunakan objek berwarna hijau dan selain hijau dengan masing-masing 15 kali percobaan sehingga diperoleh total 30 data pengujian. Waktu respon diukur sejak objek berada pada area pembacaan sensor hingga sistem berhasil menentukan kategori warna objek.

b. Uji Normalitas

Uji normalitas dilakukan menggunakan metode *Shapiro-Wilk* untuk mengetahui distribusi data waktu respon sensor. Hasil uji normalitas digunakan sebagai dasar dalam menentukan metode analisis statistik yang sesuai. Kriteria pengambilan keputusan adalah sebagai berikut:

- H_0 Nilai Sig. > 0,05 maka data berdistribusi normal.
- H_1 Nilai Sig. < 0,05 maka data tidak berdistribusi normal (Isnaini et al., 2025).

c. *Independent Sample t-Test*

Independent Sample t-Test digunakan untuk mengetahui perbedaan waktu respon sensor antara objek berwarna hijau dan objek selain hijau. Pengambilan keputusan dilakukan berdasarkan nilai signifikansi (Sig.) dengan tingkat kepercayaan 95%:

- H_0 Nilai Sig. > 0,05 maka tidak terdapat perbedaan yang signifikan.
- H_1 Nilai Sig. < 0,05 maka terdapat perbedaan yang signifikan (Vankelecom et al., 2024).

2.9 Analisis Hasil

Data hasil pengujian direkap berdasarkan warna objek, hasil pembacaan sensor, status aktivasi robot *arm*, dan waktu respon sensor. Rekapitulasi data digunakan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam melakukan identifikasi warna dan menjalankan proses sortasi sesuai dengan logika kendali yang telah dirancang.

Tingkat keberhasilan sistem dihitung berdasarkan jumlah percobaan yang berhasil dilakukan dibandingkan dengan jumlah seluruh percobaan. Persentase keberhasilan dihitung menggunakan persamaan berikut (Anggraini & Asril, 2023).

$$\text{Persentase Keberhasilan} = (\text{Total Percobaan Berhasil} / \text{Total Percobaan}) \times 100\% \quad (1)$$

2.10 Mitigasi Error

Strategi mitigasi error dirancang untuk meminimalkan potensi kegagalan selama proses sortasi. Mitigasi dilakukan melalui kalibrasi sensor warna TCS34725 agar pembacaan RGB tetap akurat, penentuan posisi sensor inframerah dan objek secara konsisten, serta pengaturan sudut kerja robot arm berdasarkan hasil perancangan. Selain itu, pemeriksaan kondisi catu daya, koneksi antar komponen, dan jaringan WiFi dilakukan sebelum sistem dioperasikan untuk memastikan seluruh komponen berfungsi dengan baik. Apabila terjadi gangguan pada koneksi IoT, sistem tetap dirancang dapat menjalankan proses sortasi secara lokal karena fungsi pengendalian utama berada pada mikrokontroler ESP32.

2.11 Evaluasi Media Pembelajaran

Evaluasi media pembelajaran dilakukan menggunakan kuesioner yang diberikan kepada asisten Laboratorium Otomasi Teknik Industri. Data kuesioner diolah menggunakan skala *Likert* dan dihitung menggunakan persamaan berikut (Nareswari et al., 2024).

$$\text{Persentase Kelayakan} = (\text{Total Skor} / \text{Skor Maksimum}) \times 100\% \quad (2)$$

Data evaluasi media pembelajaran diperoleh menggunakan kuesioner berbasis skala *Likert* dengan lima tingkat penilaian disajikan pada Tabel 1. (Miftah, 2023).

Tabel 1. Kriteria Skala Likert

Kriteria	Skor
Sangat Setuju	5
Setuju	4
Cukup Setuju	3
Tidak Setuju	2
Sangat Tidak Setuju	1

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan media pembelajaran sistem sortasi berbasis warna yang mengintegrasikan conveyor, sensor inframerah, sensor warna TCS34725, robot arm 4 Degree of Freedom (DOF), mikrokontroler ESP32, dan teknologi *Internet of Things* (IoT). Pengembangan sistem dilakukan menggunakan metode *reverse engineering* terhadap media pembelajaran conveyor trainer kit yang telah tersedia di Laboratorium Otomasi Teknik Industri Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Hasil penelitian meliputi proses *reverse engineering* dan *benchmarking*, perancangan serta

pembuatan prototipe, pengujian sistem, analisis statistik waktu respon sensor, dan evaluasi media pembelajaran. Pengujian sistem dilakukan menggunakan objek berwarna hijau dan selain hijau meliputi, orange dan coklat dengan masing-masing 15 kali percobaan sehingga diperoleh total 30 data pengujian. Parameter yang diamati meliputi hasil identifikasi warna, aktivasi robot arm, dan waktu respon sensor. Selanjutnya dilakukan analisis statistik menggunakan perangkat lunak SPSS yang diawali dengan uji normalitas metode *Shapiro-Wilk* dan dilanjutkan uji *independent sample T test* untuk mengetahui perbedaan waktu respon sensor serta evaluasi media pembelajaran menggunakan kuesioner untuk mengetahui tingkat kelayakan media yang dikembangkan.

3.1 Reverse Engineering

Menurut (Chen et al., 2023) hasil *reverse engineering* menunjukkan bahwa conveyor *trainer kit* telah mampu memindahkan objek menggunakan conveyor dan sensor inframerah sebagai pendeteksi keberadaan objek. Namun, sistem belum memiliki kemampuan identifikasi warna, mekanisme sortasi menggunakan robot *arm*, serta *monitoring* berbasis *Internet of Things* (IoT). Berdasarkan hasil *benchmarking*, dilakukan pengembangan sistem dengan menambahkan sensor warna TCS34725, robot *arm* 4 DOF, mikrokontroler ESP32, dan *platform monitoring* berbasis IoT.

Tabel 2. *Benchmarking*

Komponen	Alternatif	Kelebihan	Kekurangan	Komponen Terpilih	Alasan Pemilihan
Sensor Warna	TCS3200 (Zulkarnain et al., 2019).	Harga relatif et murah dan mudah diperoleh	Sensitif terhadap perubahan pencahayaan	TCS34725 (Rahmanto et al., 2022).	Memiliki sensor RGB dan Clear, LED bawaan, komunikasi I ² C, serta pembacaan warna lebih stabil sehingga sesuai untuk media pembelajaran.
Mikrokontroler	Arduino Uno (Arijaya, 2019), Raspberry (Al-Qorni et al., 2018).	Mudah diprogram dan banyak referensi	Arduino Uno tidak memiliki WiFi bawaan, ESP8266 memiliki GPIO lebih sedikit	ESP32 (Ziad & Darnila, 2024).	Memiliki WiFi dan Bluetooth bawaan, GPIO lebih banyak, performa lebih tinggi, serta mudah diintegrasikan dengan sistem IoT.
Motor Servo	SG90 (Rayhan Al Hayubi et al., 2024), MG996R (Sanjaya et al., 2023).	SG90 ringan, MG996R memiliki torsi besar	SG90 memiliki torsi kecil, MG996R berukuran lebih besar	JX PDI-1171MG 17g Digital Metal Gear Servo (Rahmadewi & Abdi Bangsa, n.d.).	Memiliki torsi yang cukup, dimensi kompak, respon cepat, dan metal gear sehingga lebih kuat untuk menggerakkan robot arm.

Komponen	Alternatif	Kelebihan	Kekurangan	Komponen Terpilih	Alasan Pemilihan
Robot Arm	5 DOF (Tanzil Huda et al., 2025), 6 DOF (Riyadi & Nugroho, n.d.).	DOF lebih tinggi memberikan fleksibilitas gerak lebih besar	Kompleksitas kontrol dan biaya meningkat	Robot Arm 4 DOF (Andhy Satrio Anwar et al., n.d.).	Empat derajat kebebasan sudah mencukupi untuk proses <i>pick and place</i> , memiliki ruang gerak yang sesuai dengan area kerja conveyor, serta lebih sederhana dalam pengendalian.

Conveyor *trainer kit* yang telah tersedia di Laboratorium Otomasi Teknik Industri digunakan sebagai objek *reverse engineering* untuk mengidentifikasi cara kerja sistem, komponen yang digunakan, serta kebutuhan pengembangan. Tampilan media pembelajaran sebelumnya ditunjukkan pada Gambar 2.

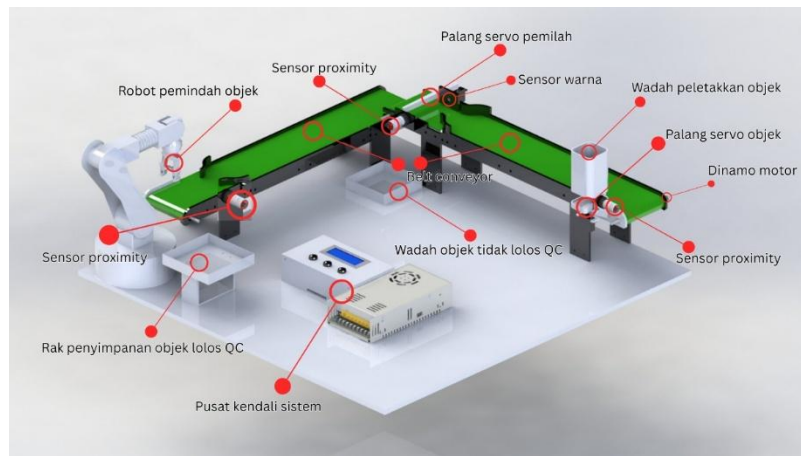


Gambar 2. Conveyor Trainer Kit

Berdasarkan hasil analisis, conveyor *trainer kit* memiliki beberapa keterbatasan, yaitu hanya mampu mendeteksi keberadaan objek menggunakan sensor inframerah tanpa melakukan identifikasi warna. Selain itu, sistem belum dilengkapi dengan robot *arm* sebagai mekanisme sortasi otomatis serta belum mendukung monitoring dan pengendalian berbasis *Internet of Things* (IoT). Keterbatasan tersebut menjadi dasar pengembangan media pembelajaran agar mampu mensimulasikan proses otomasi yang lebih komprehensif sesuai dengan kebutuhan pembelajaran di laboratorium.

3.2 Perancangan Sistem

Perancangan sistem dilakukan menggunakan perangkat lunak SolidWorks untuk menentukan tata letak komponen, dimensi alat, dan jalur perpindahan objek. Hasil perancangan digunakan sebagai acuan dalam proses perakitan sistem sehingga seluruh komponen dapat terintegrasi sesuai dengan fungsi yang dirancang. Desain perancangan sistem ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Desain Perancangan Sistem

Selain perancangan mekanik, dilakukan pula perancangan sistem kendali menggunakan perangkat lunak CX-Programmer dalam bentuk *Ladder Diagram*. Perancangan ini bertujuan untuk menyusun logika kerja sistem mulai dari proses deteksi objek, identifikasi warna, pengendalian robot *arm*, hingga proses *monitoring* berbasis *Internet of Things* (IoT). *Ladder Diagram* digunakan sebagai acuan dalam penyusunan program pada mikrokontroler ESP32 sehingga seluruh komponen dapat bekerja sesuai urutan proses yang telah dirancang. Hasil perancangan sistem kendali ditunjukkan pada Gambar 4.



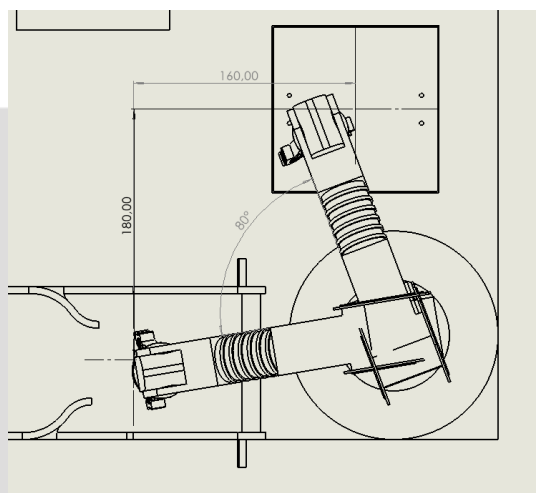
Gambar 4. Perancangan *Ladder Diagram*

Berdasarkan Gambar 4. sistem terdiri dari conveyor sebagai media pemindahan objek, sensor warna TCS34725 sebagai perangkat identifikasi warna, robot *arm* 4 DOF sebagai mekanisme

pemindahan objek, serta ESP32 sebagai pusat kendali dan komunikasi IoT. Tata letak komponen dirancang agar proses deteksi, identifikasi, dan pemindahan objek dapat berlangsung secara berurutan dan terintegrasi.

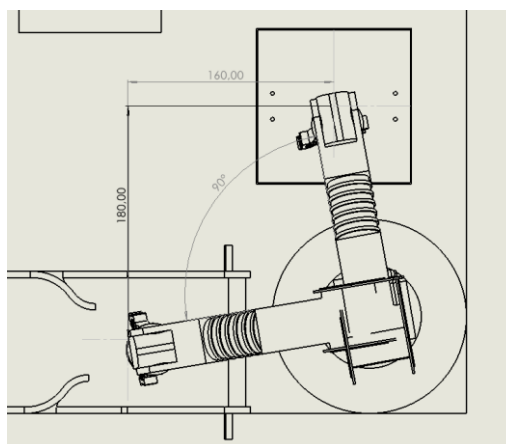
3.3 Pengujian Desain Sistem

Pengujian desain sistem dilakukan menggunakan perangkat lunak SolidWorks untuk mengevaluasi jangkauan kerja robot *arm* sebelum proses pembuatan prototipe. Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi sudut putar sebesar 80° , 90° , dan 100° untuk mengetahui kemampuan robot *arm* dalam menjangkau area pengambilan objek pada conveyor dan area peletakan objek pada wadah tujuan.



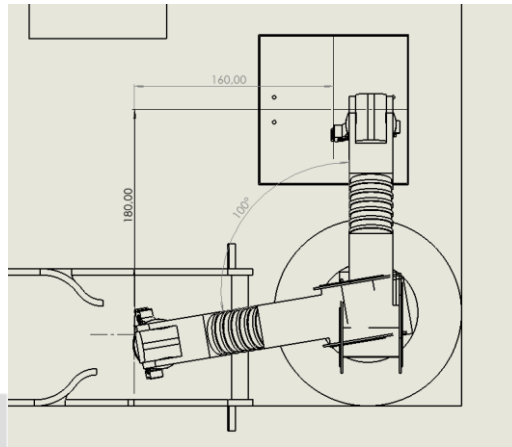
Gambar 5. Sudut Putar 80°

Berdasarkan Gambar 5., robot *arm* pada sudut putar 80° mampu melakukan proses pengambilan dan peletakan objek. Sudut ini merupakan batas minimum pergerakan robot *arm* yang masih memungkinkan proses sortasi dilakukan dengan baik.



Gambar 6. Sudut Putar 90°

Berdasarkan Gambar 6., robot *arm* pada sudut putar 90° menghasilkan jangkauan kerja yang optimal. Pada sudut ini robot *arm* mampu menjangkau area pengambilan dan peletakan objek dengan baik sehingga dipilih sebagai sudut kerja utama sistem.



Gambar 7. Sudut Putar 100°

Berdasarkan Gambar 7, robot *arm* pada sudut putar 100° menghasilkan jangkauan kerja maksimum dibandingkan variasi sudut lainnya. Namun, peningkatan jangkauan tersebut tidak memberikan peningkatan efektivitas yang signifikan dibandingkan sudut 90° .

Berdasarkan hasil simulasi pada variasi sudut putar 80° , 90° , dan 100° , diperoleh bahwa robot *arm* mampu menjangkau area pengambilan objek pada conveyor dan area peletakan objek pada wadah tujuan pada seluruh variasi sudut yang diuji. Sudut 80° merupakan batas minimum pergerakan robot *arm*, sedangkan sudut 100° menghasilkan jangkauan kerja maksimum. Dari ketiga variasi tersebut, sudut 90° memberikan performa yang paling optimal karena mampu menghasilkan keseimbangan antara jangkauan kerja, stabilitas pergerakan, dan ketepatan posisi pengambilan maupun peletakan objek. Oleh karena itu, sudut 90° digunakan sebagai parameter kerja robot *arm* pada tahap pembuatan prototipe dan implementasi sistem.

3.4 Pembuatan Prototipe

Setelah desain sistem dinyatakan sesuai melalui tahap pengujian desain, dilakukan proses pembuatan prototipe dengan merealisasikan hasil perancangan ke dalam bentuk fisik. Proses pembuatan diawali dengan perakitan rangka menggunakan profil aluminium sebagai struktur utama sistem, kemudian dilanjutkan dengan pemasangan conveyor, sensor inframerah, sensor warna TCS34725, robot *arm* 4 *Degree of Freedom* (DOF), mikrokontroler ESP32, serta komponen pendukung lainnya.

Selain perakitan mekanik, dilakukan pula integrasi sistem elektronik dan pemrograman mikrokontroler ESP32 untuk mengendalikan seluruh komponen sesuai logika kendali yang telah dirancang. Program yang telah dibuat memungkinkan sistem melakukan deteksi objek, identifikasi warna, proses sortasi, pemindahan objek menggunakan robot *arm*, serta monitoring melalui *platform Internet of Things* (IoT).

Hasil pembuatan prototipe ditunjukkan pada Gambar 8. Sistem sortasi otomatis yang dihasilkan telah mengintegrasikan seluruh komponen sistem dalam satu kesatuan yang mampu menjalankan proses identifikasi warna dan sortasi objek secara otomatis.



Gambar 8. Sistem Sortasi Otomatis

Berdasarkan hasil pembuatan prototipe, seluruh komponen dapat terintegrasi dengan baik dan siap digunakan pada tahap pengujian prototipe untuk mengevaluasi kinerja alat yang telah dikembangkan.

3.5 Pengujian Prototipe

Pengujian prototipe dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam melakukan identifikasi warna objek dan menjalankan proses sortasi sesuai dengan logika kendali yang telah dirancang. Pengujian menggunakan objek berwarna hijau dan selain hijau yang terdiri dari warna orange dan coklat dengan masing-masing 15 kali percobaan sehingga diperoleh total 30 data pengujian.

Parameter yang diamati meliputi hasil identifikasi warna oleh sensor TCS34725, aktivasi robot *arm*, serta waktu respon sensor dalam melakukan proses identifikasi. Robot *arm* pada sistem dirancang untuk aktif hanya ketika objek teridentifikasi berwarna hijau. Oleh karena itu, objek berwarna selain hijau tidak melalui proses pemindahan menggunakan robot *arm*, sedangkan objek berwarna hijau akan dipindahkan menuju wadah yang telah ditentukan.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor warna mampu mengidentifikasi warna objek sesuai dengan kategori yang telah ditentukan pada program. Selain itu, robot *arm* berhasil melakukan proses pemindahan objek berwarna hijau menuju wadah tujuan sesuai dengan logika kendali yang

dirancang. Ringkasan hasil pengujian sistem disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Pengujian

No	Warna Objek	Hasil Identifikasi Sensor Warna	Robot Arm	Waktu Respon (detik)
1	Selain Hijau	Selain Hijau	Tidak Aktif	3.15
2	Hijau	Hijau	Aktif	1.95
3	Selain Hijau	Selain Hijau	Tidak Aktif	3.23
4	Hijau	Hijau	Aktif	2.14
5	Selain Hijau	Selain Hijau	Tidak Aktif	3.10
6	Hijau	Hijau	Aktif	1.96
7	Selain Hijau	Selain Hijau	Tidak Aktif	3.25
8	Hijau	Hijau	Aktif	1.80
9	Selain Hijau	Selain Hijau	Tidak Aktif	3.21
10	Hijau	Hijau	Aktif	1.95
11	Selain Hijau	Selain Hijau	Tidak Aktif	3.16
12	Hijau	Hijau	Aktif	1.96
13	Selain Hijau	Selain Hijau	Tidak Aktif	3.18
14	Hijau	Hijau	Aktif	2.05
15	Selain Hijau	Selain Hijau	Tidak Aktif	3.23
16	Hijau	Hijau	Aktif	1.93
17	Selain Hijau	Selain Hijau	Tidak Aktif	3.28

No	Warna Objek	Hasil Identifikasi Sensor Warna	Robot Arm	Waktu Respon (detik)
18	Hijau	Hijau	Aktif	1.95
19	Selain Hijau	Selain Hijau	Tidak Aktif	3.18
20	Hijau	Hijau	Aktif	2.16
21	Selain Hijau	Selain Hijau	Tidak Aktif	3.25
22	Hijau	Hijau	Aktif	1.98
23	Selain Hijau	Selain Hijau	Tidak Aktif	3.18
24	Hijau	Hijau	Aktif	1.92
25	Selain Hijau	Selain Hijau	Tidak Aktif	3.26
26	Hijau	Hijau	Aktif	1.87
27	Selain Hijau	Selain Hijau	Tidak Aktif	3.15
28	Hijau	Hijau	Aktif	1.85
29	Selain Hijau	Selain Hijau	Tidak Aktif	3.20
30	Hijau	Hijau	Aktif	1.95
Rata-rata Kecepatan				2.55

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 3., seluruh percobaan berhasil dilakukan sesuai dengan rancangan sistem. Dari total 30 kali percobaan yang dilakukan, diperoleh 30 percobaan berhasil sehingga persentase keberhasilan sistem dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Persentase Keberhasilan} = \frac{30}{30} \times 100 \% = 100\% \quad (3)$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat keberhasilan sebesar 100% dalam melakukan identifikasi warna objek dan menjalankan logika kendali sesuai dengan hasil identifikasi

yang diperoleh.

3.4 Analisis Statistik

Analisis statistik dilakukan terhadap data waktu respon sensor warna untuk mengetahui karakteristik kinerja sistem dalam mengidentifikasi warna objek. Analisis diawali dengan uji normalitas menggunakan metode *Shapiro-Wilk* untuk mengetahui distribusi data sebelum dilakukan pengujian statistik lanjutan.

Hasil uji normalitas menunjukkan bahwa data waktu respon sensor pada kelompok objek berwarna hijau dan kelompok objek selain hijau memiliki nilai signifikansi lebih besar dari 0,05. Dengan demikian, data dapat dinyatakan berdistribusi normal sehingga memenuhi syarat untuk dilakukan pengujian menggunakan *Independent Sample t-Test*. Hasil uji normalitas ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Uji Normalitas

Warna	Jumlah Data (n)	Nilai Sig.	Keterangan
Selain Hijau	15	0,849	Berdistribusi Normal
Hijau	15	0,112	Berdistribusi Normal

Setelah data dinyatakan berdistribusi normal, dilakukan pengujian menggunakan *Independent Sample t-Test* untuk mengetahui perbedaan waktu respon sensor antara objek berwarna hijau dan objek selain hijau. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Uji *Independent Sample t-Test*

Variabel	Selain Hijau	Hijau	Levene Sig.	Sig. (2- tailed)	Keterangan
Waktu Respon Sensor	15	15	0.221	0.000	Terdapat Perbedaan Signifikan

Berdasarkan Tabel 5, diperoleh nilai signifikansi sebesar 0,000. Nilai tersebut lebih kecil dari 0,05 sehingga H_0 ditolak dan H_1 diterima. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan pada waktu respon sensor TCS34725 antara objek berwarna hijau dan objek selain hijau.

3.5 Mitigasi Error

Mitigasi *error* dilakukan untuk meminimalkan potensi kegagalan selama proses sortasi warna. Upaya yang dilakukan meliputi kalibrasi sensor TCS34725 agar pembacaan warna tetap akurat, penempatan sensor dan objek pada posisi yang konsisten, serta pengaturan sudut robot arm berdasarkan hasil pengujian untuk memastikan proses *pick and place* berjalan dengan baik. Selain itu, dilakukan pemeriksaan terhadap catu daya, koneksi antar komponen, dan jaringan WiFi sebelum sistem dioperasikan. Apabila koneksi IoT mengalami gangguan, proses sortasi tetap dapat berjalan secara lokal karena pengendalian utama dilakukan oleh ESP32.

Tabel 6. Potensi kegagalan dan mitigasi

No.	Potensi Error	Penyebab	Mitigasi
1.	Sensor warna gagal membaca	Cahaya lingkungan berubah atau posisi objek tidak tepat	Kalibrasi sensor TCS34725 dan menjaga pencahayaan tetap
2.	Sensor inframerah tidak mendeteksi objek	Posisi sensor bergeser atau objek terlalu kecil	Menempatkan sensor inframerah pada posisi yang sesuai
3.	Robot arm gagal mengambil objek	Posisi servo kurang presisi	Kalibrasi servo dan pengaturan sudut kerja optimal
4.	Conveyor berhenti mendadak	Catu daya tidak stabil	Pemeriksaan motor, belt, dan catu daya
5.	IoT terputus	WiFi tidak stabil	Sistem berjalan menggunakan ESP32

Berdasarkan hasil pengujian, penerapan langkah-langkah mitigasi tersebut mampu mendukung kestabilan sistem selama proses sortasi. Seluruh komponen dapat beroperasi sesuai fungsinya pada kondisi pengujian, dengan tingkat keberhasilan proses sortasi mencapai 100% pada objek yang telah dikalibrasi. Meskipun demikian, sistem masih memiliki keterbatasan terhadap perubahan pencahayaan yang ekstrem dan penggunaan objek di luar warna yang menjadi ruang lingkup penelitian.

3.6 Evaluasi Media Pembelajaran

Evaluasi media pembelajaran dilakukan untuk mengetahui tingkat kelayakan media yang dikembangkan sebagai sarana praktikum otomasi industri. Evaluasi dilakukan menggunakan kuesioner berbasis skala *Likert* yang diberikan kepada asisten Laboratorium Otomasi Teknik Industri.

Hasil pengolahan data kuesioner menunjukkan bahwa media pembelajaran memperoleh

persentase kelayakan sebesar 94,48%. Berdasarkan kategori tingkat kelayakan media pembelajaran, nilai tersebut termasuk dalam kategori sangat layak. Hasil evaluasi media pembelajaran ditunjukkan pada perhitungan berikut.

$$\text{Persentase Kelayakan} = \frac{496}{525} \times 100\% = 94,48 \quad (3.1)$$

Selain itu, hasil rekapitulasi evaluasi media pembelajaran dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 7. Rekapitulasi Evaluasi Media Pembelajaran

No.	Pernyataan	SS	S	CS	TS	STS
1.	Sistem mampu melakukan identifikasi warna objek dengan baik.	5	2			
2.	Mekanisme palang pemilah bekerja sesuai dengan fungsi yang dirancang.	5	2			
3.	Robot arm mampu memindahkan objek sesuai urutan proses.	7				
4.	Integrasi antar komponen sistem berjalan dengan baik.	6	1			
5.	Sistem monitoring IoT dapat menampilkan informasi yang dibutuhkan.	6	1			
6.	Alat membantu menjelaskan konsep sensor dan aktuator dalam sistem otomasi.	5	1	1		
7.	Alat membantu memahami konsep sortasi otomatis pada industri.	5	1	1		
8.	Alat membantu memahami integrasi sistem kendali berbasis mikrokontroler.	4	2	1		
9.	Implementasi IoT pada alat mudah dipahami.	7				
10.	Alat dapat digunakan sebagai media pembelajaran otomasi industri.	6	1			
11.	Alat mudah dioperasikan.	7				
12.	Tampilan alat menarik untuk digunakan sebagai media pembelajaran.	2	3	2		
13.	Fitur yang tersedia telah sesuai dengan kebutuhan praktikum otomasi.	7				
14.	Alat layak digunakan sebagai media praktikum di Laboratorium Otomasi.	5	2			

No.	Pernyataan	SS	S	CS	TS	STS
15.	Secara keseluruhan alat layak digunakan sebagai media pembelajaran otomasi berbasis IoT.	4	3			

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa media pembelajaran yang dikembangkan telah memenuhi aspek fungsi, kemudahan penggunaan, tampilan, serta kesesuaian dengan kebutuhan praktikum otomasi industri. Integrasi conveyor, sensor warna TCS34725, robot *arm*, dan teknologi *Internet of Things* (IoT) mampu memberikan gambaran proses *quality control* dan sistem sortasi yang lebih mendekati implementasi di lingkungan industri. Dengan demikian, media pembelajaran yang dikembangkan dinilai layak digunakan sebagai sarana pembelajaran pada Laboratorium Otomasi Teknik Industri.

4. PENUTUP

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa media pembelajaran sistem sortasi berbasis warna berhasil dikembangkan menggunakan pendekatan *reverse engineering* dengan mengintegrasikan conveyor, sensor inframerah, sensor warna TCS34725, *robot arm 4 Degree of Freedom* (DOF), mikrokontroler ESP32, dan teknologi *Internet of Things* (IoT) dalam satu sistem yang terintegrasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor TCS34725 mampu mengidentifikasi objek berwarna hijau, orange, dan coklat sesuai dengan kategori yang telah ditentukan, sedangkan robot arm berhasil melakukan pemindahan objek sesuai logika kendali yang dirancang dengan tingkat keberhasilan sistem sebesar 100% dari 30 kali percobaan. Hasil analisis statistik menggunakan Independent Sample t-Test menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,000 ($p < 0,05$), yang menunjukkan terdapat perbedaan waktu respon sensor antara objek berwarna hijau dan objek selain hijau. Selain itu, hasil evaluasi media pembelajaran memperoleh persentase kelayakan sebesar 94,48% yang termasuk dalam kategori sangat layak. Dengan demikian, media pembelajaran yang dikembangkan mampu merepresentasikan konsep otomasi industri dan *quality control* serta layak digunakan sebagai sarana pembelajaran di Laboratorium Otomasi Teknik Industri.

DAFTAR PUSTAKA

- Ade Chairany, Relita Buaton, & Ratih Puspadini. (2025). Penerapan Internet of Things pada Mekanik Prototipe Robot Pengaduk Gabah. *Repeater : Publikasi Teknik Informatika Dan Jaringan*, 3(3), 89–101. <https://doi.org/10.62951/repeater.v3i3.617>
- Adityaningrum, A., Arsad, N., Jusuf, H., Statistika, D., Matematika, J., Matematika dan Ilmu

- Pengetahuan Alam, F., Negeri Gorontalo, U., Kesehatan Masyarakat, J., & Olahraga dan Kesehatan, F. (2021). Faktor Penyebab Stunting Di Indonesia: Analisis Data Sekunder Data Ssgi Tahun 2021 Factors Causing Stunting In Indonesia: 2021 Ssgi Secondary Data Analysis. *Jambura Journal of Epidemiology*, 3(1), 1–10. <https://doi.org/10.56796/jje.v2i1.21542>
- Aliyah, M., Ulum, M., & Pamekasan, B.-B. (2024). *JOURNAL CREATIVITY* (Vol. 2, Number 1). <http://creativity.masmubata-bata.com/index.php/creativity>
- Al-Qorni, W., Azhar, A., & Yuniarti, E. (2018). *Perancangan Sistem Kontrol Otomatis Berbasis Web Menggunakan Raspberry Pi 3 pada Smarthome. I*(2).
- Andhy Satrio Anwar, M., Mirna, M., Rifaldi, M., Nur, M., Mekatronika, T., Bosowa, P., raya, Jlk., Makassar, K., & selatan, S. (n.d.). *Rancang Bangun Robot Arm 4 DOF Berbasis Mikrokontroler ATmega328*.
- Anggraini, S., & Asril, E. (2023). Analisis Kesuksesan Sistem Informasi Website Kecamatan Rumbai Menggunakan Model Delone and Mclean. *Jurnal Karya Ilmiah Multidisiplin (JURKIM)*, 3(Mei), 102–114. <https://kecamatanrumbai.pekanbaru.go.id/>.
- Arif, A. N., & Irawan, D. (2025). *Automated Orange Sorting Using Mamdani Fuzzy Logic and TCS34725 Sensor. 10*(2). <https://doi.org/10.31851/ampere>
- Arijaya, I. M. (2019). Rancang Bangun Alat Konveyor Untuk Sistem Soltir Barang Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno. *Jurnal Resistor*.
- Chen, G., Li, Y., Mehdi-Souzani, C., Yang, W., & Liu, X. (2023). Implicit multi-sensor reconstruction based on neural signed distance functions for reverse engineering. *Procedia CIRP*, 119, 552–557. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.01.012>
- Cornelia, Sintiawati, Aan Febriansyah, Nur Khasanah, N. (2026). Implementasi Sensor Berat Dan Gas Pada Sistem Sortasi Tomat Otomatis. *Technologia : Jurnal Ilmiah*, 17(1), 170. <https://doi.org/10.31602/tji.v17i1.21294>
- Isnaini, M., Win Afgani, M., Haqqi, A., & Azhari, I. (2025). Teknik Analisis Data Uji Normalitas. *Jurnal Cendekia Ilmiah*, 4(2).
- Kurniawan, I. H., Haryanto, A., & Hayat, L. (2024). Penerapan Otomasi Industri Berbasis Programmable Logic Controller untuk Penyortiran Barang Berdasarkan Warna Menggunakan Sensor Vision. *Jurnal Riset Rekayasa Elektro*, 6(2), 177. <https://doi.org/10.30595/jrre.v6i2.24915>
- Lin, Y. L., Chien, S. Y., & Chen, Y. J. (2021). Posting recommendations in healthcare Q&A forums. *Electronics (Switzerland)*, 10(3), 1–20. <https://doi.org/10.3390/electronics10030278>
- Miftah, M. (2023). Studi Kelayakan Pengembangan Layanan Media Pembelajaran Berbasis TIK Terintegrasi untuk PAUD. *Jurnal Obsesi : Jurnal Pendidikan Anak Usia Dini*, 7(1), 104–118. <https://doi.org/10.31004/obsesi.v7i1.2527>
- Nareswari, A. A.-Z., Felisa, D. I., & Dewanti, S. S. (2024). Analisis Kelayakan Video Pada Materi Trigonometri Sebagai Media Pembelajaran. *Prismatika: Jurnal Pendidikan Dan Riset Matematika*, 6(2), 383–396. <https://doi.org/10.33503/prismatika.v6i2.3944>
- Noori, A., Fawzi, F., Tabina, H., & Nikolaevich, E. I. (2025). Development and Implementation of an Automated Production Line Training System. *Al-Khwarizmi Engineering Journal*, 21(2), 53–71. <https://doi.org/10.22153/kej.2025.02.003>
- Rahmadewi, R., & Abdi Bangsa, I. (n.d.). Arm Robot Pemindah Barang (Atwor) Menggunakan Motor Servo Mg995 Sebagai Penggerak Arm Berbasis Arduino Robot Arm Goods Moving (AtwoR) Uses Mg995 Servo Motor As Arduino Based Arm Drive (Vol. 6, Number 2).
- Rahmanto, D. N., Prasajo, J., Handayani, T., & Elektro, P. T. (2022). *Alat Pendeteksi Warna RGB*.

664–672. <http://journal.itny.ac.id/index.php/ReTII>

- Rahmayanti, N. P., Karsudjono, A. J., Hidayatullah, I., & Pancasetia, S. (2024). Pelatihan Spss Uji Validitas Dan Uji Reliabilitas Untuk Data Primer. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(2). <https://ejurnal.stimi-bjm.ac.id/index.php/BBJM/>
- Rayhan Al Hayubi, Salsabila Aulia, Dafairro Abbil Gunawan, Syarif Hidayatullah, & Didik Aribowo. (2024). Implementasi Sistem Penggerak Servo SG 90 Berbasis Arduino Uno dengan Kontrol Sudut Dinamis. *Mars : Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 2(6), 130–140. <https://doi.org/10.61132/mars.v2i6.535>
- Riyadi, A. F., & Nugroho, G. (n.d.). Pengaplikasian Kontrol Robot 6-Dof Untuk Pick And Place Pada Industri Souvenir. In *Prosiding Seminar Nasional Pengabdian kepada Masyarakat* (Vol. 2020). Retrieved <http://journal.unj.ac.id/unj/index.php/snppm>
- Riyadi Muslim, Herman Saputro, Ranto, R., Rohman, N., & Syvarulli, R. (2025). Pelatihan dan Pemberdayaan Reverse engineering Bagi Siswa SMK untuk Mendukung Revolusi Industri 4.0. *ABDIKAN: Jurnal Pengabdian Masyarakat Bidang Sains Dan Teknologi*, 4(3), 289–296. <https://doi.org/10.55123/abdikan.v4i3.6252>
- Sanjaya, S., Muhtar, A., Prasetyawan, P., Elektro, P. T., & Teknologi, J. (2023). Perancangan Sistem Penembakan Menggunakan Motor Servo Mg996r Untuk Autonomous Robot Gun (ARO-GUN). *Indonesian Journal of Mechanical Engineering*, 3. <https://politap.ac.id/journal/index.php/injection>
- Suryatini, F., Sunarya, A. S., Pancono, S., & Artikel, R. (2026). Penguatan kompetensi PLC-IOT bagi guru SMK untuk mendukung pembelajaran industri 4.0 Info Artikel ABSTRAK. 7(1). <https://doi.org/10.33474/jp2m.v7i1.24564>
- Tanzil Huda, F. M., Riza Pratama, Y. A., Saputra, F. R., Hadiazzaka, R., & Priambodo, A. S. (2025). Penerapan Kinematika Terbalik Pada Robot Lengan Lima Sendi (5 Dof) Dengan Citra Digital. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 13(1). <https://doi.org/10.23960/jitet.v13i1.5564>
- Vankelecom, L., Loeys, T., & Moerkerke, B. (2024). How to Safely Reassess Variability and Adapt Sample Size? A Primer for the Independent Samples t Test. *Advances in Methods and Practices in Psychological Science*, 7(1). <https://doi.org/10.1177/25152459231212128>
- Wakjira, Y., Kurukkal, N. S., & Lemu, H. G. (2024). Reverse engineering in medical application: literature review, proof of concept and future perspectives. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-74176-z>
- Zahwa, F. A., Syafi'i 2, I., Tarbiyah, F., Keguruan, D., Sunan, U., Surabaya, A., & Timur, J. (2022). *Equilibrium: Jurnal Penelitian Pendidikan dan Ekonomi Pemilihan Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis Teknologi Informasi*. 19, 1. <https://journal.uniku.ac.id/index.php/Equilibrium>
- Ziad, A., & Darnila, E. (2024). *Development and Implementation of an ESP32 Microcontroller and Monitoring System for Smart Door Lock Using RFID Sensor for E-KTP ID and Fingerprint Based on the Internet of Things*. <https://doi.org/10.29103/micoms.v4.2024>
- Zulkarnain, I., Ramadhan, M., Stmik, B. A., & Dharma, T. (2019). J-SISKO TECH Jurnal Teknologi Sistem Informasi dan Sistem Komputer TGD Implementasi Alat Pendeteksi Warna Benda Menggunakan Fuzzy Logic dengan Sensor TCS3200 Berbasis Arduino. *v*, 106(2), 106–117. www.spektrumcahayatampak.com