

OTOMATISASI SISTEM SORTIR BENDA BERDASARKAN WARNA BERBASIS *PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER* MENGGUNAKAN METODE KNN

¹ Adi Kurniawan Saputro, ² Monika Faswia Fahmi, ³ Karina Wulandari, ⁴ Achmad Fiqhi Ibadillah, ⁵ Muttaqin Hardiwansyah, ⁶ Dian Neipa Purnamasari

^{1,2,3,4,5,6} Teknik Elektro, Universitas Trunojoyo Madura, Bangkalan

¹ adi.kurniawan@trunojoyo.ac.id, ² monika.faswif@trunojoyo.ac.id, ³ 200431100007@student.trunojoyo.ac.id
⁴ fiqhi.ibadillah@trunojoyo.ac.id, ⁵ muttaqin.hardiwansyah@trunojoyo.ac.id, ⁶ dian.neipa@trunojoyo.ac.id

Abstract - *This research designs and evaluates an automated color-based sorting system utilizing a combination of PLC Omron CP1E-E30SDRA, Arduino Uno, TCS34725 color sensor, servo motors, and a PVC-based conveyor. The color sensor is used to detect four color categories (red, blue, green, and yellow), and the readings are transmitted to the PLC through an optocoupler to control the servo motors as sorting actuators. Experimental results show that the system operates according to the design with a sorting success rate of 60%. The main factors affecting the failures are object positioning and lighting variations, while the conveyor achieved an optimal speed of 72.1 RPM and the servo motors exhibited an average angular error of 53.88%. To improve accuracy, the K-Nearest Neighbor (KNN) method was applied for sensor data classification. The implementation of KNN successfully increased the average color classification accuracy from 77.5% (thresholding) to 92.5%, making the system more adaptive to environmental variations. Therefore, this sorting system is considered feasible for implementation in industrial color sorting automation with enhanced reliability.*

Keywords — *Color; KNN; PLC; Sorting; TCS34725*

Abstrak— Penelitian ini merancang dan menguji sistem sortir benda berdasarkan warna dengan memanfaatkan kombinasi PLC Omron CP1E-E30SDRA, Arduino Uno, sensor warna TCS34725, motor servo, dan konveyor berbahan PVC. Sensor warna digunakan untuk mendeteksi empat kategori warna (merah, biru, hijau, dan kuning), kemudian hasil pembacaan dikirim ke PLC melalui optocoupler untuk mengendalikan motor servo sebagai aktuator sortir. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat beroperasi sesuai rancangan dengan tingkat keberhasilan sortir sebesar 60%. Faktor utama yang memengaruhi kegagalan sortir adalah posisi objek dan variasi pencahayaan, sementara kecepatan konveyor optimal tercapai pada 72,1 RPM dan motor servo menunjukkan rata-rata error sudut sebesar 53,88%. Untuk meningkatkan akurasi, digunakan metode K-Nearest Neighbor (KNN) dalam pengolahan data sensor. Penerapan KNN terbukti mampu meningkatkan akurasi klasifikasi warna dari 77,5% (thresholding) menjadi 92,5%, sehingga sistem menjadi lebih adaptif terhadap perubahan kondisi lingkungan. Dengan demikian, sistem sortir ini dinilai layak diterapkan pada proses otomatisasi industri penyortiran warna dengan keandalan yang lebih tinggi.

Kata Kunci— *KNN; PLC; Sortir; TCS34725; Warna*

I. PENDAHULUAN

Industri saat ini berkembang pesat dengan penggunaan teknologi modern, sehingga perusahaan beralih dari peralatan konvensional ke mesin otomatis yang lebih canggih[1]. Revolusi Industri 4.0 mengintegrasikan teknologi digital, fisik, dan biologis, melanjutkan Revolusi Industri 3.0 yang dikenal dengan kemajuan komputer dan otomatisasi. Survei McKinsey pada 300 pemimpin perusahaan Asia Tenggara menunjukkan 90% yakin akan efektivitas Industri 4.0, meski hanya 48% yang merasa siap menghadapinya[2]. Pada era 4.0, pendidikan tinggi, khususnya teknik industri, harus menyiapkan SDM berkualitas untuk memenuhi tuntutan industri yang berkembang pesat seiring kemajuan sains dan teknologi informasi. SDM ini dituntut memenuhi standar tertentu melalui penguasaan simulasi, prototipe, dan miniatur. Berdasarkan laporan Global Competitiveness Report 2018, Indonesia menempati peringkat ke-45 dari 140 negara. Dalam bisnis, penyortiran barang sangat penting dan dilakukan dengan berbagai metode, mulai dari manual hingga otomatisasi berbasis mesin. Namun, banyak industri masih mengandalkan

cara manual yang kurang efisien karena keterbatasan tenaga kerja. Oleh karena itu, penggunaan sistem sortir otomatis diperlukan untuk meningkatkan kecepatan, akurasi, dan efisiensi, terutama pada volume pekerjaan yang besar[2]. Sebagian besar pengendalian industri menggunakan *Programmable Logic Controller* (PLC). Pada akhir tahun 1960 dan awal 1970, sistem PLC mulai dikembangkan dari teknologi komputer konvensional[3]. Sejak diperkenalkan pada 1968, PLC berperan penting dalam operasional manufaktur. PLC mampu memproses, memantau, dan mengelola data secara cepat dengan mikroprosesor terintegrasi, menerima sinyal masukan, dan menghasilkan keluaran untuk mengendalikan sistem[4]. Dalam perkembangan terkini, pemanfaatan komputer pribadi (PC) sebagai pusat kendali telah menjadi kebutuhan utama, mendukung peran *Programmable Logic Controller* (PLC) yang terus berkembang. PLC tetap menjadi komponen esensial di sektor industri. Guna meningkatkan kuantitas dan kualitas produksi, penerapan sistem berbasis PLC diperlukan[5]. *Programmable Logic Controller* (PLC) sangat populer di industri karena tidak hanya mudah digunakan dalam pemrograman (berbasis *ladder* diagram), tetapi juga memiliki banyak kontak dan pilot run, dan membuat komponen sistem kontrol seperti *counter* dan *timer* lebih sederhana. Sistem Interaksi Manusia-Mesin (HMI) juga tersedia, yang memungkinkan pemantauan kinerja *Programmable Logic Controller* (PLC)[6]. PLC ialah suatu sistem pengendali yang banyak digunakan dalam otomasi industri. PLC atau yang dikenal sebagai *Programmable Logic Controller* merupakan sistem pengendali yang sering dimanfaatkan untuk otomasi dalam industri. Perangkat ini menerapkan algoritma logika dalam operasinya di berbagai sektor industri. Sebagai pengganti relay konvensional yang kompleks, PLC membuat kontrol lebih sederhana dengan mengintegrasikan perangkat lunak ke dalamnya. Keefektifan dan keefisienan PLC dalam pemasangan, biaya, dan modifikasi rangkaian membuatnya menjadi pilihan yang umum dalam lingkup industri[7]. Untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas operasi, sistem penyortiran menjadi bagian penting otomatisasi. Berdasarkan latar belakang tersebut, penulis merancang “Otomatisasi Sistem Sortir Benda Berdasarkan Warna Berbasis PLC” sebagai contoh proses industri. Sistem ini menggunakan sensor warna TCS34725 yang mendeteksi rangsangan warna dan mengubahnya menjadi sinyal listrik. Sensor ini mampu membedakan komponen RGB dengan akurasi tinggi melalui empat dioda silikon yang terintegrasi dalam satu chip CMOS[8]. Sensor TCS34725 merupakan alat yang digunakan untuk mendeteksi warna pada suatu objek. Sensor ini dilengkapi dengan empat LED yang berfungsi untuk membaca warna dari objek tersebut, kemudian mengidentifikasi dan mengelompokkannya berdasarkan warna yang terdeteksi[9]. Sensor warna TCS34725 adalah sensor digital murah buatan Adafruit yang mendeteksi warna dan intensitas cahaya. Menggunakan fotodioda dengan filter inframerah, sensor ini mampu mendeteksi cahaya sekitar. Komunikasinya dilakukan melalui protokol I2C ke mikrokontroler[10]. Terdapat berbagai metode penyortiran berdasarkan warna. Dalam penelitian Ike Sari et al., dikembangkan sistem yang mengklasifikasikan objek merah, hijau, biru, hitam, dan putih. Pengujian menunjukkan sensor warna berhasil mendeteksi spektrum tertentu dan menggerakkan motor servo untuk memisahkan objek sesuai warna[11]. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Herlina Putami, dua motor servo digunakan untuk mendorong objek ke dalam kemasan, dengan antarmuka *Visual Studio 2012* yang berfungsi sebagai *platform output* untuk sistem pemilahan barang. Sistem ini dirancang untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan tiga warna spesifik, yaitu merah, biru, dan hijau, sebagai parameter untuk proses penyortiran[12]. Pada 2022, Melisa Mulyadi dkk. meneliti “Perancangan Sistem Penyortiran Barang Menggunakan *Programmable Logic Controller*,” yang dipresentasikan dalam seminar nasional. ada sistem otomatisasi sortir benda berbasis PLC, penggunaan metode *K-Nearest Neighbor* (KNN) berfungsi untuk meningkatkan akurasi dalam proses identifikasi warna. Sensor warna (misalnya TCS3200 atau TCS34725) mendeteksi nilai intensitas RGB dari objek yang melewati konveyor. Data RGB ini kemudian dikirim ke mikrokontroler seperti Arduino atau ESP32 untuk diproses menggunakan algoritma KNN. Prinsip kerja KNN adalah menghitung jarak antara data uji (nilai RGB dari sensor) dengan data latih (dataset warna yang sudah didefinisikan), kemudian memilih tetangga terdekat untuk menentukan kelas warna objek. Hasil klasifikasi dari mikrokontroler berupa kode digital kemudian diteruskan ke PLC melalui rangkaian optocoupler. PLC Omron CP1E selanjutnya membaca kode tersebut dan menggerakkan aktuator berupa motor servo ke posisi tertentu sesuai dengan hasil klasifikasi warna, sehingga benda dapat disortir secara otomatis berdasarkan kategori warnanya. Dengan adanya integrasi KNN, sistem sortir tidak hanya bergantung pada ambang batas sederhana, tetapi mampu melakukan klasifikasi warna dengan tingkat keakuratan yang lebih tinggi meskipun terdapat variasi pencahayaan atau kondisi lingkungan. Pada 2024, Kurniawan, I. H., Haryanto, A., & Hayat, L. Meneliti “Penerapan Otomasi Industri Berbasis *Programmable Logic Controller* untuk Penyortiran Barang Berdasarkan Warna Menggunakan Sensor Vision” Penelitian ini mengkaji perancangan dan implementasi sistem otomasi dalam penyortiran barang secara

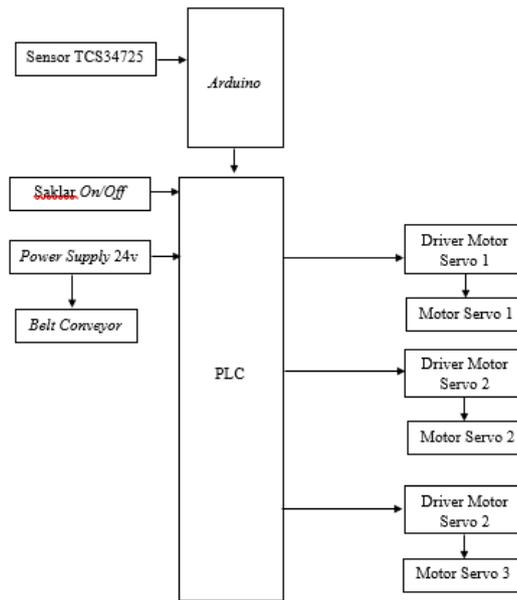
otomatis berdasarkan warna menggunakan sensor vision yang dikendalikan oleh Programmable Logic Controller (PLC). Sistem ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi proses penyortiran barang dalam industri dengan memanfaatkan teknologi otomasi dan sensor visual. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan sistem ini mampu melakukan penyortiran secara efektif sesuai warna yang terdeteksi oleh sensor vision[13]. Pada 2025, Pamungkas, D. S., Saputra, S., & Pelmelay, A. A penelitiannya yang berjudul “Rancang Bangun dan Evaluasi Sistem Sortir Otomatis Barang dengan Metode Deteksi Objek YOLO v5 dan Kendali PLC Outseal” mengembangkan dan mengevaluasi sistem sortir otomatis untuk barang menggunakan metode deteksi objek YOLO v5 serta kendali PLC Outseal. Sistem ini mengintegrasikan webcam untuk akuisisi gambar, algoritma YOLO v5 untuk klasifikasi real-time, dan PLC Outseal untuk mengendalikan aktuator berdasarkan diagram ladder. Pengujian sistem menggunakan berbagai kondisi pencahayaan menunjukkan akurasi rata-rata sebesar 88,26% dan presisi 70,38%, dengan kinerja terbaik di bawah pencahayaan ring light. Sistem ini terbukti dapat meningkatkan efisiensi produksi serta mengurangi biaya operasional untuk industri skala kecil hingga menengah[14]. Pada penelitian ini merancang sistem penyortiran objek dengan PLC, motor, dan drive untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi proses industri. Meski detail temuan tidak tersedia, studi ini memberikan wawasan tentang desain dan penerapan sistem sortir berbasis PLC dalam otomasi industri[15]. Dalam perancangan alat ini, penulis mengembangkan sistem otomatis untuk menyortir kubus berdasarkan empat warna: biru, merah, hijau, dan kuning. Alat menggunakan tiga motor servo dan mikrokontroler Arduino. Sistem ini dirancang untuk mempermudah penyortiran warna secara otomatis dan sebagai media pembelajaran bagi mahasiswa yang berminat di bidang industri penyortiran. Dalam industri, penyortiran warna digunakan pada kemasan sachet, botol, dan kaleng. Penulis mensimulasikannya dengan kubus berwarna merah, biru, hijau, dan kuning berukuran 3×3×3 cm. Perangkat keras yang digunakan meliputi PLC Omron CP1E, belt conveyor, Arduino Uno, relay, motor DC dan servo, serta sensor warna TCS34725. Pemrograman dilakukan dengan Arduino IDE dan CX-Programmer. Saat sensor mendeteksi warna kubus sesuai parameter, motor servo membuka dan mendorong objek ke tempat penyimpanan yang sesuai.

II. METODE PENELITIAN

Dalam perancangan alat ini, tahap awal dimulai dengan menyusun rancangan umum dari keseluruhan sistem. Proses perancangan dan pembangunan sistem ini mencakup beberapa komponen yang saling terintegrasi, yaitu perangkat keras (elektronik) dan perangkat lunak yang memuat instruksi untuk menjalankan program.

A. Perancangan Umum sistem

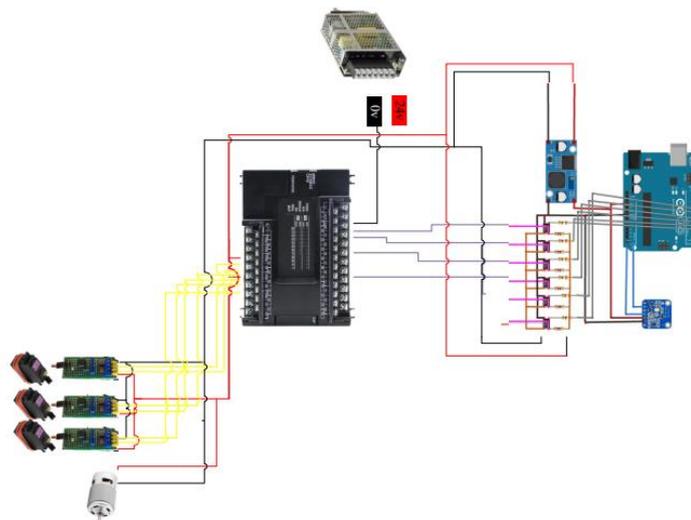
Gambar dibawah ini menunjukkan gambaran umum sistem otomatisasi penyortiran benda berdasarkan warna yang dikendalikan oleh programmable logic controller (PLC). Blok diagram tersebut terdiri dari beberapa komponen utama yang masing-masing memiliki fungsi spesifik dalam mendukung jalannya sistem. Power supply 24V berfungsi sebagai sumber daya utama untuk mensuplai PLC. Sistem dapat diaktifkan atau dimatikan melalui saklar On/Off. PLC yang digunakan adalah tipe Omron CP1E-E30SDR-A, yang berperan sebagai unit pengendali utama dalam keseluruhan proses kerja sistem. Arduino Uno digunakan sebagai mikrokontroler yang bertugas mengolah data dari sensor warna TCS34725. Sensor ini berfungsi sebagai alat input untuk mendeteksi warna objek yang sedang diproses. Berdasarkan warna yang terdeteksi, motor servo akan digerakkan untuk melakukan penyortiran. Driver motor servo menjadi penghubung antara sinyal pulsa dari PLC dan motor servo, sehingga motor dapat beroperasi sesuai instruksi. Tiga buah motor servo digunakan sebagai aktuator penyortiran, masing-masing ditugaskan untuk mendorong objek ke dalam wadah pertama, kedua, dan ketiga. Belt conveyor berfungsi sebagai alat transportasi objek, membawa benda melewati sensor dan mengarahkannya ke proses sortir, dengan bantuan motor DC sebagai penggerakannya.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

B. Perancangan Perangkat Keras

Dalam perancangan perangkat keras (hardware), dilakukan perancangan baik pada sistem mekanik maupun pada sistem elektronik yang mendukung kinerja keseluruhan alat.



Gambar 2. Perancangan Perangkat Keras

C. Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak sistem sortir benda berdasarkan warna berbasis Programmable Logic Controller (PLC) merupakan langkah penting dalam penerapan otomatisasi industri. Sistem ini dirancang untuk memproses data sensor warna, mengendalikan aktuator, dan mengoordinasikan alur kerja penyortiran secara otomatis dan terprogram. Melalui pemrograman PLC yang terintegrasi dengan sensor warna, sistem mampu mengidentifikasi

objek berdasarkan parameter warna tertentu dan mengarahkan benda ke lokasi penyimpanan yang sesuai. Perancangan perangkat lunak ini tidak hanya mendukung efisiensi dan akurasi proses penyortiran, tetapi juga menjadi contoh penerapan teknologi kendali modern dalam industri manufaktur.



Gambar 2. Diagram Alir

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada sistem sortir benda berdasarkan warna ini menggunakan satu buah konveyor yang terbuat dari *pvc sheet* warna putih yang berukuran 8 x 80 cm dengan 3 lengan penyortir. Sistem kontrol penyortiran ini dilakukan pada trainer *PLC Omron CPlE-E30SDRA*. Trainer ini mencakup komponen masukan dan keluaran yang berupa tombol, sensor dan lampu yang memerlukan sumber 220VAC dan diubah menjadi 24VDC. Terdapat 4 kategori warna dalam proses penyortiran ini yaitu, merah, biru, hijau, dan kuning. Keempat warna tersebut dideteksi oleh sensor warna TCS34725 yang kemudian disortir oleh lengan penyortir yang digerakkan oleh servo.

A. Inisialisasi Sistem

Langkah inisialisasi sistem dalam pengujian sortir berbasis PLC bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh komponen, baik perangkat keras maupun perangkat lunak, berada dalam kondisi siap operasional. Pertama, sensor warna TCS34725, motor servo, dan PLC harus dipasang dan dihubungkan dengan benar ke Arduino sesuai dengan konfigurasi pin yang telah ditentukan. Setelah itu, Arduino IDE digunakan untuk menulis, mengompilasi, dan mengunggah program ke Arduino. Proses ini memastikan bahwa tidak ada kesalahan dalam kode yang dapat mengganggu jalannya sistem. Selain itu, pin input dan output pada Arduino, termasuk pin untuk sensor warna, motor servo, serta optocoupler yang terhubung ke PLC, didefinisikan dalam program dan disiapkan dalam mode yang sesuai (INPUT atau OUTPUT). Servo juga diinisialisasi dan ditempatkan pada posisi awal untuk menghindari pergerakan yang tidak diinginkan saat sistem mulai berjalan. Setelah semua langkah ini selesai, sistem siap untuk mendeteksi warna dan menjalankan proses sortir sesuai dengan program yang telah diunggah.

Pengujian mikrokontroler Arduino Uno pada sistem ini juga berperan sebagai pengendali logika. Dalam proses pemrograman Arduino Uno, diperlukan software ARDUINO IDE untuk mengontrol berbagai fungsi. Metode pengujian dilakukan dengan terlebih dahulu mendefinisikan pin yang digunakan pada komponen Arduino Uno, sehingga perangkat dapat berintegrasi dengan Arduino IDE. Setelah itu, dilakukan proses kompilasi, dan jika tidak terdapat error, maka Arduino Uno dalam kondisi baik dan siap digunakan sebagai mikrokontroler dalam sistem sortir. Berikut adalah kompilasi program arduino yang diunggah menggunakan Arduino IDE :

```
#include <Wire.h>
#include "Adafruit_TCS34725.h"
#include "ColorConverterLib.h"

Adafruit_TCS34725 tcs = Adafruit_TCS34725(TCS34725_INTEGRATIONTIME_50MS, TCS34725_GAIN_1X);

const float r_max = 53.0;
const float g_max = 66.0;
const float b_max = 44.0;

// Threshold untuk bitas (nilai brightness/value 0-1)
const double black_threshold = 0.15; // bisa disesuaikan
const int out1 = 4, out2 = 5, out3 = 6, out4 = 7, out5 = 8, out6 = 9;
const int in1 = 10, in2 = 11, in3 = 12, in4 = 13;
byte qamatable[256];

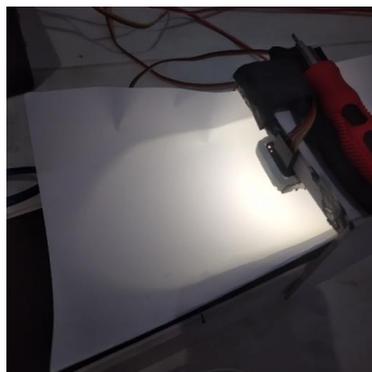
void outoff() {
  digitalWrite(out1, HIGH);
  digitalWrite(out2, HIGH);
  digitalWrite(out3, HIGH);
  digitalWrite(out4, HIGH);
  digitalWrite(out5, HIGH);
  digitalWrite(out6, HIGH);
}

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(in1, INPUT);
```

Gambar 4. Inisialisasi Sistem

B. Pengujian Sensor Warna TCS34725

Uji coba terhadap sensor warna TCS34725 dilaksanakan guna memverifikasi kemampuan sensor dalam mengenali dan membedakan empat jenis warna yaitu merah, hijau, biru, dan kuning secara akurat. Sensor ini bekerja dengan membaca frekuensi cahaya yang dipantulkan dari objek yang melewatinya. Proses pengujian dilakukan dengan meletakkan objek berwarna di depan sensor dan mencatat nilai frekuensi yang dihasilkan. Arduino Uno digunakan untuk mengolah data dari sensor dan menentukan warna objek berdasarkan nilai frekuensi tersebut. Setelah warna terdeteksi, sistem mengaktifkan salah satu dari tiga servo yang bertugas mengarahkan objek ke jalur sortir yang sesuai. Selain itu, sinyal juga dikirimkan ke PLC melalui optocoupler untuk memastikan proses sortir berjalan dengan baik.



Gambar 5. Kalibrasi Sensor Menggunakan Kertas Putih

Pertama untuk kalibrasi sensor warna TCS34725 adalah menghubungkan Arduino ke laptop yang telah terkoneksi dengan software Arduino IDE untuk mengcompile program dan menampilkannya pada serial monitor. Kemudian untuk objek yang digunakan sebagai kalibrasi adalah kertas putih polos. Selanjutnya, hasil pembacaan suhu warna, intensitas cahaya, dan nilai warna mentah tersebut dikirim melalui serial monitor dalam format yang mudah dibaca, memungkinkan pengguna untuk memantau data sensor secara real-time. Nilai yang didapat kemudian diubah kedalam HSV (*Hue, Saturation, dan Value*). Kertas warna putih diukur dalam bentuk frekuensi, yang kemudian dibandingkan dengan ambang batas yang telah ditentukan dalam program. Berikut adalah persamaan dari konversi warna RGB ke HSV [16] :

$$r = \frac{R}{R+G+B} \tag{1}$$

$$g = \frac{G}{R+G+B} \tag{2}$$

$$b = \frac{B}{R+G+B} \tag{3}$$

$$V = \max(r, g, b) \tag{4}$$

$$S = \begin{cases} 0, & \text{jika } value = 0 \\ \left(\frac{max-min}{max}\right), & \text{jika lainnya} \end{cases} \tag{5}$$

$$H = \begin{cases} saturation = 0, hue = 0 \\ 60^\circ \times \left(\frac{G-B}{max-min} \bmod 6\right), & \text{max} = R \\ 60^\circ \times \left(\frac{B-R}{max-min} + 2\right), & \text{max} = G \\ 60^\circ \times \left(\frac{R-G}{max-min} + 4\right), & \text{max} = B \end{cases} \tag{6}$$

Berikut adalah nilai hasil kalibrasi sensor warna TCS34725 :

Tabel 1. Hasil Kalibrasi Sensor Warna

Warna	Hue	Saturation	Value	Jarak pada Sensor
Merah	358,49	68,79	0,68	1 cm
Hijau	98,25	48,19	0,65	1 cm
Biru	201,22	50,00	0,64	1 cm
Kuning	60,00	47,84	1.00	1 cm

C. Pengujian Sistem Klasifikasi KNN

Untuk meningkatkan akurasi dalam proses identifikasi warna, sistem sortir ini juga menerapkan metode klasifikasi K-Nearest Neighbor (KNN) yang diintegrasikan melalui mikrokontroler Arduino Uno. Sensor warna TCS34725 membaca nilai intensitas RGB dari setiap objek yang melewati konveyor, kemudian data tersebut diproses menggunakan algoritma KNN. Prinsip kerja KNN adalah menghitung jarak Euclidean antara data uji (nilai RGB hasil pembacaan sensor) dengan dataset warna latih yang telah ditentukan sebelumnya, seperti warna

merah, hijau, biru, dan kuning. Hasil perhitungan jarak terdekat digunakan untuk menentukan kelas warna objek. Dengan metode ini, sistem tidak hanya mengandalkan ambang batas nilai RGB atau HSV, tetapi mampu melakukan klasifikasi warna dengan lebih adaptif meskipun terdapat variasi pencahayaan atau perbedaan intensitas pantulan cahaya. Output hasil klasifikasi KNN kemudian dikirimkan ke PLC Omron CP1E-E30SDRA melalui optocoupler dalam bentuk sinyal digital. PLC selanjutnya mengontrol aktuator berupa motor servo untuk mengarahkan objek ke lengan penyortir sesuai kategori warna yang telah ditentukan. Penerapan metode KNN terbukti mampu mengurangi kesalahan deteksi warna dan meningkatkan keandalan sistem sortir secara keseluruhan.

Tabel 2. Perbandingan Akurasi Deteksi Warna

Warna	Jumlah Sampel	Thresholding	Akurasi Thresholding(%)	KNN	Akurasi KNN(%)
Merah	20	17	85	19	95
Hijau	20	16	80	19	95
Biru	20	15	75	18	90
Kuning	20	14	70	18	90
Total	80	62	77,75	74	92,5

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 3, metode klasifikasi dengan KNN menunjukkan tingkat akurasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode ambang batas. Pada metode thresholding, akurasi rata-rata sistem mencapai 77,5%, sedangkan dengan KNN akurasi meningkat hingga 92,5%. Peningkatan ini terjadi karena metode KNN mampu menyesuaikan variasi nilai RGB akibat perubahan pencahayaan atau kondisi pantulan cahaya objek, sehingga kesalahan klasifikasi dapat diminimalkan. Dengan demikian, penerapan algoritma KNN terbukti lebih efektif dan handal dalam mendukung sistem sortir benda berdasarkan warna yang berbasis PLC.

D. Pengujian Motor Servo

Pengujian motor servo dalam sistem sortir berbasis PLC bertujuan untuk memastikan bahwa servo dapat bergerak berdasarkan warna yang dikenali oleh sensor TCS34725. Sensor ini membaca warna objek berdasarkan frekuensi cahaya yang dipantulkan, kemudian mengirimkan data ke Arduino sebagai pengolah utama sebelum mengaktifkan motor servo dan PLC. Setelah warna objek terdeteksi oleh sensor TCS34725, Arduino akan mengontrol motor servo untuk mengarahkan objek menuju jalur penyortiran yang sesuai dengan warnanya. Arduino membandingkan nilai frekuensi warna merah, hijau, dan biru dengan ambang batas yang telah ditentukan dalam program. Apabila warna tertentu terdeteksi, sistem akan menggerakkan servo ke sudut yang sesuai. Pada saat warna merah terdeteksi oleh sensor warna maka motor servo akan membuka dan Kembali keposisi semula untuk mendorong benda ke wadah pertama. Untuk warna hijau, servo akan membuka kemudian mendorong benda ke wadah kedua. Kemudian warna biru servo akan membuka dan mendorongnya ke wadah ketiga. Sementara untuk warna kuning benda akan melewati ketiga servo karena sensor warna tidak mendeteksinya. Langkah ini memastikan bahwa setiap objek masuk ke sistem sortir dapat dipindahkan ke jalur yang sesuai berdasarkan warnanya.



Gambar 6. Servo CW dan CCW

Berikut adalah persamaan untuk perhitungan duty cycle[17] :

$$T_{total} = T_{On} + T_{Off} \tag{7}$$

$$D = \frac{T_{On}}{T_{On}+T_{Off}} = \frac{T_{On}}{T_{total}} \times 100\% \tag{8}$$

$$V_{out} = D \times V_{in} \tag{9}$$

$$Frekuensi (F) = \frac{1}{T_{total}} \tag{10}$$

$$\theta = \frac{T_{on}-1ms}{2ms-1ms} \times 180^\circ \tag{11}$$

Tabel 3. Hasil Pengujian Duty Cycle

Servo	Duty Cycle	Derajat Servo (Perhitungan)	Derajat awal	Delay Benda ke Sortir	Delay Pergerakan Servo
Servo 1 CW	12,5%	180°	150°	7s	20s
Servo 1 CCW	5,4%	0°	0°	0s	20s
Servo 2 CW	12,5%	180°	140°	10s	30s
Servo 2 CCW	5,8 %	0°	0°	0s	30s
Servo 3 CW	7,1%	0°	0°	0s	40s
Servo 3 CCW	12,5%	180°	150°	9s	40s

E. Pengujian Konveyor

Untuk memastikan sistem penyortiran berjalan dengan baik dan sesuai dengan perancangan, dilakukan tahap pengujian terhadap mekanisme conveyor. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja conveyor dalam mengangkut objek, menghentikan laju saat diperlukan (saat proses pembacaan warna oleh sensor), serta memastikan koordinasi yang tepat antara pergerakan conveyor dan motor penyortir. Selain itu, pengujian ini juga berguna untuk mengetahui kecepatan, kestabilan, dan respons sistem terhadap sinyal kontrol dari PLC atau mikrokontroler. Dengan melakukan pengujian secara menyeluruh, dapat dipastikan bahwa conveyor bekerja

optimal sebagai komponen utama dalam proses otomatisasi penyortiran warna. Berikut adalah persamaan kecepatan linier belt :

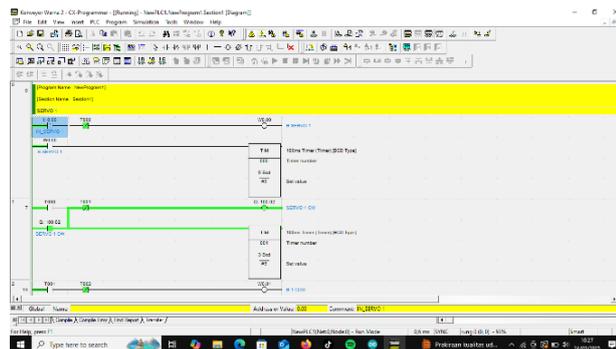
$$v = \frac{\pi \times D \times N}{60} \tag{12}$$



Gambar 7. Hasil Pengujian RPM Konveyor

F. Pengujian PLC Omron CP1E-E30SDRA

Optocoupler digunakan sebagai perantara agar sinyal dari Arduino dapat diteruskan dengan aman ke PLC tanpa gangguan listrik. Ketika warna tertentu terdeteksi, Arduino mengaktifkan pin optocoupler yang sesuai dengan mengubah statusnya menjadi *HIGH*, sehingga PLC menerima sinyal untuk menjalankan proses sortir , seperti mengontrol aktuator. Setelah proses selesai, sinyal *optocoupler* dikembalikan ke *LOW* agar sistem siap untuk mendeteksi objek berikutnya. Langkah ini memastikan bahwa setiap objek yang masuk ke sistem sortir tidak hanya dipindahkan dengan motor servo, tetapi juga dapat diproses lebih lanjut oleh PLC sesuai kebutuhan.



Gambar 8. Sistem Optocoupler Bekerja

IV. KESIMPULAN

Sistem sortir benda berdasarkan warna ini berhasil dirancang dan diuji menggunakan kombinasi PLC Omron CP1E-E30SDRA, Arduino Uno, sensor warna TCS34725, motor servo, dan konveyor berbahan PVC. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor mampu mendeteksi empat kategori warna (merah, biru, hijau, kuning) secara akurat, sementara motor servo dapat mengarahkan objek sesuai warna yang terdeteksi. Proses inialisasi dan kalibrasi sensor berjalan dengan baik, memastikan integrasi perangkat keras dan perangkat lunak dalam kondisi siap operasional.

Conveyor bekerja stabil untuk mengangkut objek dan berhenti saat pembacaan warna, mendukung koordinasi dengan aktuator sortir. Selain itu, penggunaan optocoupler berhasil menghubungkan Arduino dengan PLC secara aman, sehingga keseluruhan sistem mampu menjalankan proses sortir otomatis sesuai rancangan.

Sistem ini menunjukkan kinerja cukup efektif dengan tingkat keberhasilan sortir sebesar 60%. Faktor utama yang memengaruhi hasil adalah posisi objek dan stabilitas pencahayaan, yang menyebabkan kegagalan sortir sebesar 40%. Kecepatan konveyor optimal tercapai pada 72,1 RPM, sedangkan motor servo menunjukkan rata-rata error sudut 53,88% yang masih dapat ditoleransi. Untuk meningkatkan akurasi klasifikasi warna, dilakukan penerapan metode K-Nearest Neighbor (KNN) pada pengolahan data sensor. Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode KNN mampu meningkatkan akurasi rata-rata sistem dari 77,5% (thresholding) menjadi 92,5%. Hal ini membuktikan bahwa penggunaan KNN membuat sistem lebih adaptif terhadap variasi pencahayaan dan posisi objek, sehingga mengurangi kesalahan deteksi. Secara keseluruhan, sistem ini layak diterapkan dalam proses otomatisasi industri penyortiran warna, terutama dengan dukungan metode klasifikasi KNN yang mampu meningkatkan keandalan deteksi dan efektivitas penyortiran.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Safaris and H. Effendi, "Rancang bangun alat kendali sortir barang berdasarkan empat kode warna," *JTEV (Jurnal Tek. Elektro dan Vokasional)*, vol. 6, no. 2, pp. 391–402, 2020.
- [2] F. Amrullah, A. Putramala, Madeleine, I. Halimi, and S. Indrayani, "Analisa Pemrograman Plc Outseal Prototipe Mesin Sortir Bungkus Permen Berbasis Image Processing," vol. 6, 2021.
- [3] D. Yuhendri, "Penggunaan PLC Sebagai Pengontrol Peralatan Building Automatis," *JET (Journal Electr. Technol.)*, vol. 3, no. 3, pp. 121–127, 2018, [Online]. Available: <https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/jet/article/view/952>
- [4] K. Lelly, Y. Muhammad, and S. Rahmat, "Prototipe Stasiun Sortir Pada Sistem Produksi Modular Menggunakan PLC Mitsubishi FX2N-64MR," *Epsil. J. Electr. Eng. Inf. Technol.*, vol. 18, no. 3, pp. 80–84, 2020.
- [5] A. Goeritno and S. Pratama, "Rancang-Bangun Prototipe Sistem Kontrol Berbasis Programmable Logic Controller untuk Pengoperasian Miniatur Penyortiran Material," *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 16, no. 3, pp. 198–206, 2020, doi: 10.17529/jre.v16i3.14905.
- [6] D. Ramadani and Almasri, "Pengembangan Trainer Mini Industri (Shorting Machine) Berbasis Plc Omron sebagai Media Pembelajaran pada Mata Pelajaran Pengendali Sistem Robotik SMK Negeri 1 Sumatera Barat," *J. Pendidik. Tambusai*, vol. 7, pp. 4397–4406, 2023.
- [7] M. Eriyadi and I. R. Purnomo, "Automatic metal sorting conveyor machine based on Programmable Logic Controller," vol. 850, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/850/1/012032.
- [8] L. Qiaoyi, X. Yanling, Y. Wenlong, H. Junsheng, and L. Huan, "Study on Color Analyzer based on the Multiplexing of TCS3200 Color Sensor and Microcontroller," *Int. J. Hybrid Inf. Technol.*, vol. 7, no. 5, pp. 167–174, 2018.
- [9] M. Rahmawati and Nopriadi, "Jurnal Comasie," *Comasie*, vol. 3, no. 3, pp. 21–30, 2020.
- [10] A. E. Kumara and J. Hendry, "Light Meter Prototype Using Color Sensor for Photography Purwarupa Light Meter Menggunakan Sensor Warna untuk Fotografi Light Meter Prototype Using Color Sensor for Photography," no. June, pp. 121–130, 2024, doi: 10.56873/jpkm.v9i1.5569.
- [11] M. Ike Sari, R. Handayani, S. Siregar, and B. Isnur, "Pemilah Benda Berdasarkan Warna Menggunakan Sensor Warna TCS3200," *TELKA - Telekomun. Elektron. Komputasi dan Kontrol*, vol. 4, no. 1, pp. 85–90, 2018.
- [12] H. Putami, "Sistem Pensortiran Barang Berdasarkan Warna Menggunakan Antarmuka Visual Studio," *MSI Trans. Educ.*, vol. 02, no. 03, 2021.
- [13] I. H. Kurniawan, A. Haryanto, and L. Hayat, "Penerapan Otomasi Industri Berbasis Programmable Logic Controller untuk Penyortiran Barang Berdasarkan Warna Menggunakan Sensor Vision," *J. Ris. Rekayasa*

- Elektro*, vol. 6, no. 2, p. 177, 2024, doi: 10.30595/jrre.v6i2.24915.
- [14] D. S. Pamungkas, Shendy Saputra, and Anastasya Andaresta Pelmelay, "Rancang Bangun dan Evaluasi Sistem Sortir Otomatis Barang dengan Metode Deteksi Objek YOLO v5 dan Kendali PLC Outseal," *J. Appl. Comput. Sci. Technol.*, vol. 6, no. 1, pp. 57–66, 2025, doi: 10.52158/jacost.v6i1.1165.
- [15] M. Mulyadi, L. Wijayanti, T. Ghozali, and F. Otha, "Perancangan Sistem Penyortiran Barang Menggunakan Programmable Logic Controller," pp. 876–883, 2022.
- [16] H. A. Rabbani, M. A. Rahman, and B. Rahayudi, "Perbandingan Ruang Warna RGB dan HSV dalam Klasifikasi Kematangan Biji Kopi," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 5, no. 6, pp. 2243–2248, 2021, [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [17] A. Cristyadi, N. Mulyono, and D. Septiyanto, "Rancang Bangun Modul Bipolar 60 Degrees-Pulse Width Modulation Fasa Tunggal," *Pros. Semin. Nas. Tek. Elektro dan Inform.*, pp. 1–8, 2022.