



PROTOTYPE PEMISAH PAKET BERDASARKAN WARNA OTOMATIS BERBASIS ARDUINO MEGA

Erianto Rejeki Siregar¹, Eva Morani Sinurat², Irenius Lumban gaol³, Dian Putra Saragi⁴, Eka Dodi Suryanto⁵

¹Program Studi Teknik Elektro, Jurusan Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan, Jalan Willem Iskandar Pasar V, Kota Medan, Provinsi Sumatera Utara, Indonesia, 20221

²Program Studi Teknik Elektro, Jurusan Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan, Jalan Willem Iskandar Pasar V, Kota Medan, Provinsi Sumatera Utara, Indonesia, 20221

³Program Studi Teknik Elektro, Jurusan Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan, Jalan Willem Iskandar Pasar V, Kota Medan, Provinsi Sumatera Utara, Indonesia, 20221

⁴Program Studi Teknik Elektro, Jurusan Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan, Jalan Willem Iskandar Pasar V, Kota Medan, Provinsi Sumatera Utara, Indonesia, 20221

⁵Program Studi Teknik Elektro, Jurusan Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan, Jalan Willem Iskandar Pasar V, Kota Medan, Provinsi Sumatera Utara, Indonesia, 2022

*Penulis Korespondensi: evasinurat529@gmail.com

Abstract *The dependence on human labor in the package sorting process in the industry creates significant efficiency gaps, especially as production volumes increase and operator fatigue begins to affect work precision. To address this problem, the study presents the development of a prototype automatic package sorting system based on color identification with the Arduino Mega 2560 as the central controller.*

The sorting process begins when an IR sensor detects the presence of a package and stops the belt directly beneath the TCS3200, which then records RGB frequency data from the object's surface. The Arduino Mega 2560 interprets this data and activates the corresponding servo to divert the package to the container that corresponds to its color. A total of 40 test cycles were conducted 10 per color category to ensure the statistical validity of the findings. The system recorded an accuracy of 80% for red, 100% for green, 100% for blue, and 60% for yellow, with an overall system accuracy of 85%.

Keywords: *Automated package sorter, automated sorting, Arduino Mega 2560, TCS3200 sensor, industrial control.*

Abstrak Ketergantungan pada tenaga manusia dalam proses pemilahan paket di industri menciptakan celah efisiensi yang signifikan, terutama ketika volume produksi meningkat dan kelelahan operator mulai memengaruhi ketelitian kerja. Untuk menjawab permasalahan ini, penelitian menyajikan pengembangan prototipe sistem penyortir paket otomatis berbasis identifikasi warna dengan Arduino Mega 2560 sebagai kendali pusat. Proses penyortiran dimulai ketika sensor IR mencatat kehadiran paket dan menghentikan belt tepat di bawah TCS3200, yang kemudian merekam data frekuensi RGB dari permukaan objek. Arduino Mega 2560 menginterpretasikan data tersebut dan mengaktifkan servo yang sesuai untuk mengalihkan

paket ke wadah yang berkorespondensi dengan warnanya. Sebanyak 40 siklus pengujian dilaksanakan 10 per kategori warna untuk memastikan validitas statistik temuan. Sistem mencatat akurasi warna merah 80%, warna hijau 100%, warna biru 100%, warna kuning 60%. secara keseluruhan akurasi dari alat ini adalah 85%.

Kata Kunci: *Pemisah paket otomatis, sortir otomatis, Arduino Mega 2560, sensor TCS3200, kontrol industri.*

LATAR BELAKANG

Tuntutan efisiensi dalam rantai pasok logistik modern mendorong industri untuk terus meminimalkan intervensi manusia pada proses-proses yang berulang dan rentan kesalahan. Pemilahan barang berdasarkan warna adalah salah satu proses tersebut tampak sederhana namun sangat rentan terhadap inkonsistensi ketika dikerjakan secara manual dalam skala besar. Faktor kelelahan, perbedaan persepsi warna antar-individu, dan fluktuasi kondisi pencahayaan lingkungan kerja berkontribusi pada tingginya angka kesalahan sortasi yang pada akhirnya meningkatkan biaya operasional dan memperlambat throughput produksi. Permadi (2012) mendokumentasikan bahwa implementasi sistem sortasi otomatis berbasis sensor warna berpotensi meningkatkan akurasi di atas 90%, jauh melampaui konsistensi yang bisa dipertahankan oleh operator manusia dalam kondisi kerja normal.

Perkembangan ekosistem mikrokontroler open-source, khususnya platform Arduino, telah menurunkan secara signifikan hambatan teknis dan finansial dalam pengembangan sistem otomasi skala laboratorium maupun industri kecil. Arduino Mega 2560 dengan chip ATmega2560 menawarkan kombinasi yang menarik antara kapasitas pemrosesan, kelengkapan pin I/O, dan kemudahan integrasi pustaka perangkat lunak. Karakteristik ini menjadikannya platform yang sangat produktif untuk mewujudkan prototipe sistem kendali yang kompleks dalam waktu pengembangan yang singkat (Andrianto, 2013).

Dalam ekosistem sistem sortasi berbasis warna, sensor TCS3200 telah menjadi pilihan yang dominan karena kemampuannya mengkonversi intensitas cahaya RGB menjadi sinyal frekuensi digital tanpa memerlukan rangkaian pengkondisi sinyal eksternal. Kelemahan utamanya adalah sensitivitas tinggi terhadap variasi pencahayaan lingkungan. Ratnawati dkk. (2018) melaporkan bahwa perubahan intensitas cahaya

ambien dapat menggeser nilai frekuensi pembacaan sensor secara substansial, sementara Wiryadinata dkk. (2018) merekomendasikan isolasi cahaya fisik sebagai solusi praktis yang terbukti efektif mengurangi dampak interferensi tersebut.

Sejumlah penelitian terdahulu telah mengeksplorasi implementasi sistem sortasi otomatis berbasis warna dengan pendekatan yang beragam. Afrillia dkk. (2023) mengembangkan sistem pemisah warna berbasis mikrokontroler yang mencapai akurasi 88%, namun sistem tersebut tidak dilengkapi mekanisme penghentian konveyor yang presisi sehingga akurasi pembacaan sensor dipengaruhi oleh getaran dan posisi objek yang tidak konsisten. Permadi (2012) mencapai akurasi 91% namun menggunakan sensor dengan harga jauh di atas TCS3200 yang membuatnya kurang terjangkau untuk implementasi skala kecil. Kesenjangan yang teridentifikasi dari kajian literatur tersebut adalah belum adanya implementasi yang secara optimal mengintegrasikan sensor IR sebagai pemicu penghentian paket tepat dibawah sensor TCS3200 dalam satu sistem terpadu berbiaya rendah.

Sistem yang dikembangkan dilengkapi dengan antarmuka informasi LCD 16×2 I2C dan pasangan LED indikator status, yang secara bersama-sama memberikan visibilitas real-time kepada operator tentang performa penyortiran tanpa memerlukan perangkat komputer tambahan. Pendekatan rancang bangun ini bertujuan mewujudkan tiga capaian sekaligus: meningkatkan akurasi dan kecepatan proses sortasi, menekan angka kesalahan yang selama ini melekat pada proses manual, serta menghasilkan wahana pembelajaran yang kontekstual untuk bidang sistem kendali otomatis berbasis sensor (Syahwil, 2013).

KAJIAN TEORITIS

1. Arduino Mega 2560



Gambar 1 Arduino Mega

Arduino Mega 2560 adalah papan pengembangan berbasis mikrokontroler ATmega2560 yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan sistem dengan kompleksitas tinggi. Dibandingkan varian Arduino yang lebih kecil, Mega 2560 menyediakan sumber daya yang jauh lebih besar: 256 KB memori flash untuk program, 8 KB SRAM, 4 KB EEPROM, 54 pin digital I/O dengan 15 di antaranya mendukung PWM, serta 16 pin input analog. Kecepatan clock 16 MHz memungkinkan eksekusi instruksi yang cukup responsif untuk aplikasi kendali real-time (Suciyati et al., 2021).

Dari sisi pengembangan perangkat lunak, Arduino Mega 2560 didukung oleh Arduino IDE yang menyediakan lingkungan pemrograman berbasis C/C++ yang intuitif. Ketersediaan ribuan pustaka open-source memungkinkan developer mengintegrasikan modul sensor, aktuator, dan protokol komunikasi dengan investasi waktu yang minimal. Kemudahan ini secara konsisten menjadikan platform Arduino sebagai pilihan utama dalam pengembangan prototipe sistem tertanam, baik di lingkungan akademik maupun industri (Prastia et al., 2022).

Rekam jejak Arduino Mega dalam berbagai domain aplikasi sangat luas: mulai dari akuisisi data multisensor pada sistem pemantauan lingkungan (Suciyati et al., 2021), pengembangan sistem alarm keamanan real-time (Pratiwi et al., 2021), hingga implementasi node IoT untuk monitoring konsumsi energi (Desnanjaya, 2022). Ragam aplikasi ini membuktikan bahwa platform tersebut tidak terbatas pada prototipe sederhana, melainkan juga mampu mendukung sistem yang lebih serius secara teknis. Dalam penelitian ini, kemampuan Arduino Mega 2560 untuk membaca dua sensor berbeda, mengendalikan empat servo secara independen, mengoperasikan driver motor, dan memperbarui tampilan LCD secara simultan menjadikannya pilihan yang tepat dan efisien.

2. Sensor Warna TCS3200



Gambar 2 Sensor Warna TCS3200

TCS3200 adalah modul sensor warna berbasis IC yang memanfaatkan larik 64 fotodioda yang terbagi ke dalam empat kelompok filter spektral: 16 unit berfilter merah, 16 berfilter hijau, 16 berfilter biru, dan 16 tanpa filter (clear). Keunggulan arsitektur ini terletak pada metode keluarannya: alih-alih menghasilkan tegangan analog yang memerlukan ADC eksternal, TCS3200 mengubah intensitas cahaya yang diterima setiap kelompok fotodioda secara langsung menjadi sinyal frekuensi digital semakin tinggi intensitas, semakin tinggi frekuensi yang dihasilkan (Ratnawati dkk., 2018).

Pengguna mengendalikan kelompok filter mana yang aktif melalui kombinasi logika pada pin S2 dan S3, sementara skala frekuensi output dapat disesuaikan via pin S0 dan S1. Pada sisi mikrokontroler, nilai frekuensi dari masing-masing saluran dibaca menggunakan fungsi `pulseIn()` dan dibandingkan satu sama lain untuk mengidentifikasi komponen warna yang dominan. Proses klasifikasi ini sangat bergantung pada konsistensi pencahayaan bahkan pergeseran intensitas cahaya ambien sebesar belasan lux saja dapat mengubah nilai frekuensi yang terbaca secara cukup signifikan untuk memicu misklasifikasi (Permadi, 2012; Afrillia dkk., 2023).

3. Sensor Infrared (IR)



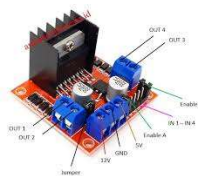
Gambar 3 Sensor infrared(IR)

Prinsip operasi sensor IR FC-51 bertumpu pada fenomena refleksi inframerah: sebuah LED pemancar inframerah meradiasikan sinar tak tampak ke depan sensor, sementara fotodioda penerima yang berada berdampingan secara terus-menerus memantau apakah ada pantulan yang kembali. Selama tidak ada objek dalam jangkauan,

intensitas pantulan yang diterima terlalu lemah untuk memicu perubahan output sensor mempertahankan logika HIGH. Begitu permukaan objek memasuki zona deteksi (dapat dikalibrasi antara 2–30 cm), energi inframerah yang terpantul cukup kuat untuk mengubah kondisi output ke LOW, sinyal yang kemudian dibaca oleh Arduino sebagai indikasi kehadiran objek (Andrianto, 2013).

Dalam konteks sistem sortasi ini, FC-51 difungsikan sebagai pemicu presisi yang memastikan konveyor selalu berhenti dengan objek berada tepat di bawah sensor TCS3200. Penempatan dan pengesetan jarak sensor yang akurat merupakan faktor kritikal: terlalu dekat atau terlalu jauh dari titik optimal akan menyebabkan objek berhenti di posisi yang menyimpang, yang secara langsung memengaruhi kualitas pembacaan warna. Respons switching FC-51 yang sangat cepat di bawah 5 ms memastikan tidak ada keterlambatan yang berarti antara deteksi dan penghentian konveyor (Afrillia dkk., 2023). Selain itu, empat buah sensor IR FC-51 lainnya digunakan untuk mendeteksi apakah paket telah berhasil tersortir ke tempat yang sesuai.

4. Motor Driver L298N



Gambar 4 Motor Driver L298N

Modul L298N mengimplementasikan konfigurasi H-Bridge ganda berbasis IC yang memungkinkan pengendalian dua motor DC secara independen mengendalikan baik arah putaran maupun kecepatan masing-masing motor dalam satu paket kompak. Spesifikasi operasionalnya mencakup tegangan motor hingga 46V dan arus kontinu maksimal 2A per kanal, yang lebih dari mencukupi untuk menggerakkan motor DC konveyor berukuran kecil hingga menengah yang digunakan dalam prototipe ini (Wiradinata dkk., 2018).

Mekanisme pengendalian arah putaran diimplementasikan melalui transistor TTL dengan topologi gerbang NAND yang merespons sinyal logika dari pin IN Arduino. Kecepatan motor diatur melalui sinyal PWM pada pin Enable. Yang perlu diperhatikan

adalah pentingnya grounding bersama antara L298N dan Arduino: tanpa referensi tegangan yang sama, sinyal kendali dari pin digital Arduino tidak akan diterjemahkan dengan benar oleh IC driver, sehingga motor dapat bereaksi tidak menentu. Dalam sistem ini, L298N berperan sebagai jembatan daya yang memungkinkan sinyal 5V dari Arduino mengendalikan motor yang beroperasi pada 12V.

5. Motor Servo



Gambar 5 Motor Servo

Motor servo berbeda fundamental dari motor DC konvensional dalam hal arsitektur kontrolnya: servo mengintegrasikan sistem umpan balik posisi (closed-loop) yang memungkinkan mikrokontroler tidak hanya memberi perintah gerakan, tetapi juga memverifikasi bahwa posisi yang dituju benar-benar tercapai. Mekanisme ini bekerja melalui potensiometer internal yang terus melaporkan posisi sudut aktual poros, sehingga motor secara otomatis melakukan koreksi jika ada deviasi. Hasilnya adalah akurasi posisi yang jauh melebihi apa yang bisa dicapai dengan motor DC terbuka (Sujawarta, 2013).

6. LCD 16x2 I2C



Gambar 6 LCD 16x2 I2C

LCD 16×2 menyediakan antarmuka teks yang mampu menampilkan 32 karakter secara bersamaan dalam dua baris, menjadikannya media yang cukup untuk menampilkan ringkasan status operasional sistem secara real-time. Integrasi modul ekspander berbasis PCF8574 mengubah antarmuka paralel LCD yang secara tradisional membutuhkan 6–8

pin menjadi antarmuka serial I2C yang hanya memerlukan dua jalur: SDA untuk data dan SCL untuk sinyal clock (Kadir, 2015).

Efisiensi pin yang ditawarkan I2C sangat bernilai dalam konteks sistem ini yang memiliki banyak komponen aktif secara bersamaan. Protokol I2C beroperasi dengan pengalamatan berbasis 7-bit yang memungkinkan hingga 127 perangkat berbagi dua jalur yang sama meskipun dalam sistem ini hanya satu LCD yang digunakan. Kecepatan 100 kbps pada mode standar jauh melampaui kebutuhan pembaruan tampilan, sehingga latensi komunikasi LCD tidak pernah menjadi bottleneck dalam siklus kendali sistem (Andrianto, 2013).

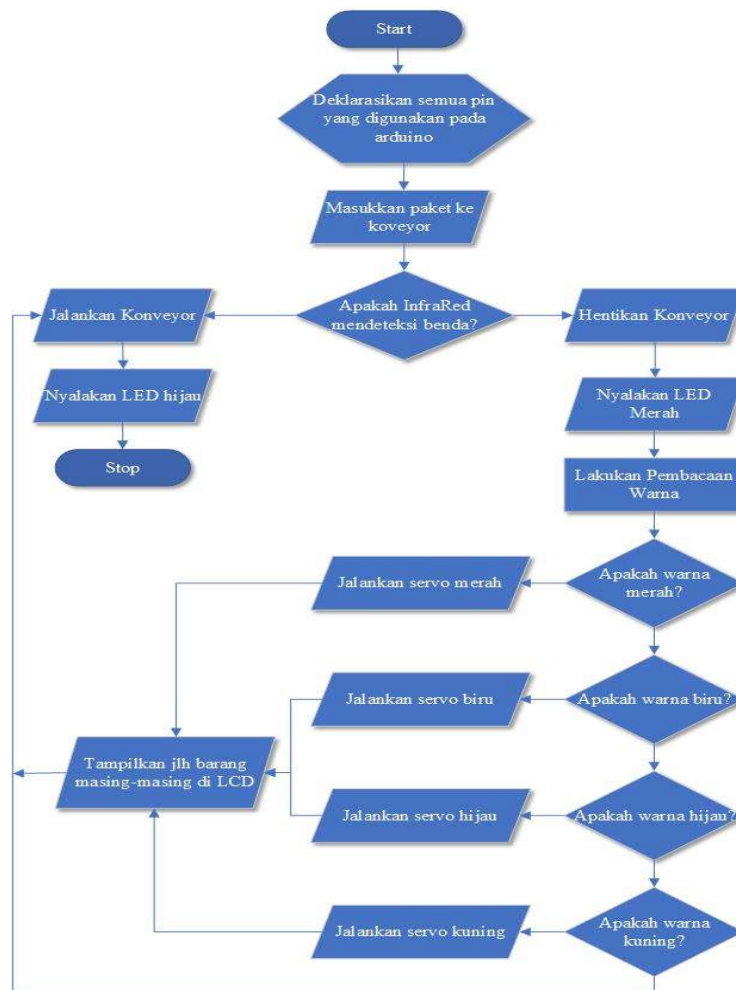
METODE PENELITIAN

Seluruh komponen yang digunakan dalam penelitian ini dirangkum dalam Tabel 1 berikut, lengkap dengan spesifikasi teknisnya:

No.	Komponen	Spesifikasi	Nilai / Keterangan
1	Arduino Mega 2560	Mikrokontroler	ATmega2560, 16 MHz, 54 pin digital I/O, 16 pin analog
2	Sensor TCS3200	Resolusi warna	RGB + Clear, matriks 8×8 fotodiode, output frekuensi 0–500 kHz
3	Sensor IR FC-51	Jarak deteksi	2–30 cm, output digital HIGH/LOW, tegangan 3.3–5V
4	Motor Servo SG-50	Torsi / Sudut	2 kg·cm, rentang 0°–180°, PWM 50 Hz
5	Driver L298N	Arus / Tegangan	Maks. 2A per kanal, V _{mot} hingga 46V, dual H-Bridge
6	Motor DC Konveyor	Tegangan operasi	12V DC, putaran ±150 RPM
7	Catu Daya	Output	12V DC 3A, diregulasi ke 5V via modul regulator

Tabel 1. Spesifikasi Teknis Komponen Sistem

Kerja alat digambarkan dalam urutan logika berikut:



Gambar1. Diagram Alir (Flowchart) Sistem

Tahap 1 Inisialisasi: Saat sistem dinyalakan, Arduino melakukan inisialisasi semua pin dan modul (LCD, servo, sensor), mengatur posisi semua servo ke 0° (posisi netral), lalu mengaktifkan motor konveyor pada kecepatan operasional.

Tahap 2 Deteksi Objek: Sensor IR FC-51 memantau jalur konveyor secara kontinu dalam loop utama. Begitu nilai output berubah ke LOW (objek terdeteksi), Arduino segera menghentikan motor konveyor via sinyal ke L298N dan mengaktifkan LED merah sebagai penanda fase pemindaian aktif.

Tahap 3 Identifikasi Warna: TCS3200 mengambil data frekuensi untuk saluran merah, hijau, dan biru secara berurutan menggunakan fungsi pulseIn(). Pengambilan

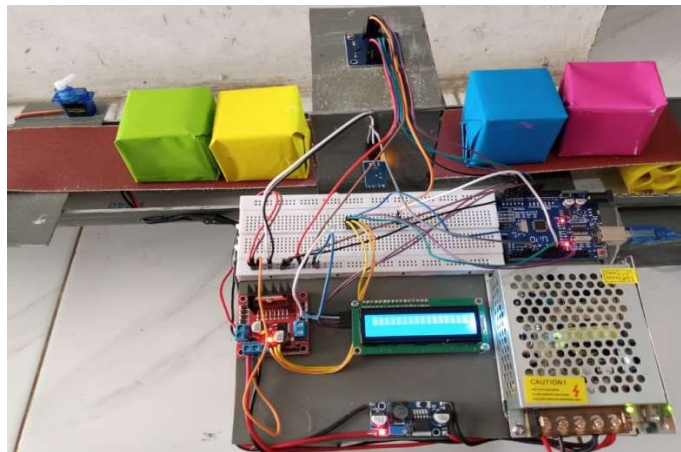
dilakukan tiga kali untuk setiap saluran dan dirata-ratakan guna meminimalkan noise pembacaan sesaat.

Tahap 4 Klasifikasi dan Eksekusi: Nilai rata-rata ketiga saluran dibandingkan dengan tabel threshold yang telah dikalibrasi sebelumnya. Arduino mengidentifikasi warna dominan dan mengaktifkan servo yang berkorespondensi bergerak dari 45° ke 0° atau 135° untuk mengalihkan paket ke wadah yang tepat.

Tahap 5 Reset Siklus: Setelah paket berhasil dialihkan (dikonfirmasi oleh perubahan sinyal keempat IR kembali), hitungan pada LCD diperbarui, servo kembali ke posisi netral 0°, LED hijau menyala selama sebagai konfirmasi visual, dan konveyor diaktifkan kembali untuk siklus berikutnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengujian Fungsionalitas Komponen



Gambar 8 Desain Projek

Verifikasi individual setiap komponen dilakukan sebelum pengujian sistem terintegrasi untuk memastikan tidak ada kegagalan komponen yang mengontaminasi data hasil pengujian sistem. Ringkasan hasil verifikasi:

Sensor IR FC-51: Berhasil mendeteksi objek secara konsisten pada jarak operasional. Output switching dari HIGH ke LOW terjadi dalam waktu < 5 ms, memenuhi syarat respons cepat yang dibutuhkan sistem.

Motor Servo SG-50: Keempat servo merespons perintah PWM dari Arduino dengan deviasi sudut aktual maksimal $\pm 2^\circ$ dari sudut target $40^\circ/135^\circ$, yang dinilai berada dalam batas toleransi yang dapat diterima untuk aplikasi pengalihan paket.

LCD 16x2 I2C: Komunikasi I2C berhasil terjalin dengan address $0x27$. Pembaruan tampilan terjadi tanpa latensi yang terdeteksi secara visual, mengkonfirmasi integritas jalur komunikasi antara Arduino dan LCD.

Driver L298N: Motor konveyor berhasil dikendalikan dalam mode start/stop dengan respons yang mulus tanpa lonjakan arus berlebih saat starting.

2. Hasil Pengujian A: Kesesuaian Pergerakan Servo Terhadap Warna

Tabel 2 merangkum hasil empat percobaan pengujian kesesuaian pergerakan servo:

Percobaan	Warna yang dideteksi sensor TCS 3200	Servo yang bergerak	Status
Pertama	Merah	Servo1	Tepat
Kedua	Hijau	Servo2	Tepat
Ketiga	Biru	Servo3	Tepat
Keempat	Kuning	Servo4	Tepat

Tabel 2. Hasil Pengujian kesesuaian pergerakan servo terhadap warna

Dari empat percobaan yang dilakukan, seluruh paket berhasil berhenti dengan tingkat kesesuaian mencapai 100%. Hal ini mengonfirmasi bahwa kombinasi servo SG-50 dengan empat sensor IR FC-51 sebagai indikator bahwa paket telah sampai ke kotak tujuan bekerja dengan sangat andal.

3. Hasil Pengujian B: Akurasi Klasifikasi Warna

Tabel 3 merangkum hasil 40 siklus pengujian klasifikasi warna:

Warna Paket	Percobaan	Berhasil	Gagal	Akurasi (%)
Merah	10	8	2	80%

Warna Paket	Percobaan	Berhasil	Gagal	Akurasi (%)
Hijau	10	10	0	100%
Biru	10	10	0	100%
Kuning	10	6	4	60%
Total	40	34	6	85%

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Pengujian Klasifikasi Warna (n=40)

Sistem berhasil menyortir 34 dari 40 paket dengan benar, menghasilkan akurasi keseluruhan 85%. Distribusi akurasi per kategori menunjukkan pola yang menarik: paket hijau dan biru mencapai akurasi sempurna (100%), sementara paket merah hanya mengalami 2 kegagalan (80%) dan paket kuning mencatat kegagalan terbanyak dengan 4 kejadian (60%).

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan prototipe sistem penyortir paket otomatis berbasis warna menggunakan Arduino Mega 2560 sebagai pengendali utama. Berdasarkan hasil pengujian terstruktur yang meliputi 40 siklus klasifikasi warna, warna merah 80%, warna hijau 100%, warna biru 100%, warna kuning 60%. secara keseluruhan percobaan pada alat desain yang penulis buat mendapatkan keakurasian 85%. Untuk meningkatkan kualitas dan keandalan sistem pada pengembangan selanjutnya, desain dapat dirancang dengan menggunakan sensor pendeteksi warna yang lebih baik dan penambahan fungsi dengan sistem IOT

DAFTAR REFERENSI

- Afrillia, Y., Fhonna, R. P., Juliansyah, M., Muslem, I., & Johan, T. M. (2023). Alat pemisah warna objek berbasis mikrokontroler. *Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi*, 4(2), 45–52. Universitas Malikussaleh.
- Andrianto, H. (2013). *Pemrograman mikrokontroler AVR ATmega 16 menggunakan bahasa C*. Bandung: Informatika.
- Budiharto, W. (2014). *Robotika: Teori dan implementasi*. Yogyakarta: Andi Offset.

- Desnanjaya, I. G. M. N. (2022). Sistem brankas berbasis Internet of Things menggunakan Arduino Mega 2560. *Jurnal RESISTOR*, 5(2), 87–94.
- Iswanto. (2011). *Belajar sendiri mikrokontroler AT89S51 dengan basic compiler dan aplikasinya*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Kadir, A. (2015). *Buku pintar pemrograman Arduino*. Yogyakarta: MediaKom.
- Permadi, T. (2012). Aplikasi sensor TCS3200 pada konveyor pemilah warna barang otomatis. *Jurnal Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya*, 3(1), 12–18.
- Prastia, A., Harijanto, A., & Prastowo, S. H. B. (2022). Rancang bangun alat praktikum hukum Ohm digital berbasis Arduino Mega 2560. *Jurnal Fisika Unand*, 11(3), 145–152.
- Pratiwi, A. E. R., et al. (2021). Prototipe smart real time alarm berbasis Arduino Mega 2560. *Autocracy: Jurnal Otomasi*, 8(1), 25–32.
- Ratnawati, D., Nugroho, A., & Sari, M. (2018). Alat pendeteksi warna menggunakan sensor warna TCS3200 dan Arduino Nano. *Jurnal Teknologi Rekayasa*, 5(1), 33–41. Universitas Teknologi Yogyakarta.
- Suciyati, S. W., et al. (2021). Analisis sistem akuisisi data suhu, oksigen, dan karbon dioksida menggunakan Arduino Mega 2560. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, 10(2), 101–110.
- Sujawarta. (2013). Pengendali motor servo berbasis mikrokontroler Basic Stamp 2SX untuk mengembangkan sistem robotika. *Jurnal Teknik Elektro*, 2(2), 88–95. Universitas Negeri Semarang.
- Syahwil, M. (2013). *Panduan mudah simulasi dan praktek mikrokontroler Arduino*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Wiradinata, R., Wibisono, G., & Wijaya, E. (2018). Perancangan sistem penyortir botol dengan menggunakan sensor warna RGB TCS3200. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 7(3), 120–128. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.