

Carry and Go (CAGO): Robot AGV untuk Penyortiran Paket Berbasis Pemrosesan Citra

Lustini*, Ferry Govert Anwar, Tony Lau, David Chow,
Victor, Budi Yanto, Agus Suwandi, Raymond Erz Saragih

Teknik Informatika, Universitas Universal

*Corresponding author E-mail: lustini534@uvers.ac.id

Article Info

Article history:

Received 18-07-2025

Revised 18-07-2025

Accepted 22-07-2025

Keyword:

AGV, e-commerce, logistik,
pengolahan citra, penyortiran
paket

ABSTRACT

The rapid growth of e-commerce has led to an increasing volume of shipments, requiring more efficient logistics systems. Package sorting still largely relies on conveyor systems, which have limitations in terms of space, cost, and energy consumption. Therefore, this project develops CAGO (Carry & Go), an Automated Guided Vehicle (AGV) based on image processing, as a more flexible and energy-efficient alternative for package sorting. The methods used in this project include image processing with a camera to detect package colors, 5-channel line tracking sensor module for line following navigation, and ESP32 as the main control unit. The AGV is designed to automatically transport and sort packages based on color, which represents the delivery destination. With this approach, the AGV is expected to be an efficient solution for package sorting, especially for logistics companies with limited space and resources. Its flexibility, lower power consumption, and independence from large infrastructures like conveyor systems make it a more adaptable alternative for various logistics businesses.



Copyright © 2025. This is an open access article under the [CC BY](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) license

I. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi dalam bidang otomatisasi telah mendorong berbagai industri untuk meningkatkan efisiensi operasional mereka. Sistem otomatisasi kini semakin umum digunakan dalam berbagai aplikasi, mulai dari produksi manufaktur [1] hingga layanan digital seperti e-commerce [2]. Salah satu teknologi yang terus berkembang dalam mendukung otomatisasi ini adalah pengolahan citra digital, yang memungkinkan sistem mengenali dan mengklasifikasikan objek berdasarkan warna, bentuk, atau kode identifikasi tertentu [3].

Perkembangan teknologi ini juga mendorong perubahan dalam pola konsumsi masyarakat. Digitalisasi yang semakin masif mendorong pergeseran cara berbelanja, dengan platform e-commerce menjadi pilihan utama bagi banyak konsumen dalam memenuhi kebutuhan sehari-hari [4].

E-commerce telah berkembang pesat dalam beberapa tahun terakhir [5], mendorong perubahan besar dalam cara barang diperdagangkan dan dikirimkan kepada konsumen [6].

Menurut laporan Statista, nilai transaksi e-commerce global diperkirakan mencapai \$4,3 triliun pada tahun 2025, dengan tren pertumbuhan yang terus meningkat setiap tahunnya [7].

Pesatnya perkembangan e-commerce berdampak langsung pada meningkatnya volume pengiriman barang [8]. Laporan E-Commerce Logistics Global Market Report 2025 dari The Business Research Company memperkirakan bahwa pasar logistik e-commerce global akan meningkat dari \$743,74 miliar pada tahun 2024 menjadi \$848,87 miliar pada tahun 2025, dengan tingkat pertumbuhan tahunan sebesar 14,1% [9].

Seiring dengan kenaikan tersebut, perusahaan logistik dan ekspedisi menghadapi tantangan besar dalam menangani proses sortir dan distribusi paket yang semakin bervariasi [10]. Sebelum adanya otomatisasi, penyortiran paket dilakukan secara manual oleh pekerja [11], yang memerlukan waktu lama dan rentan terhadap kesalahan [12].

Saat ini, banyak pusat distribusi besar mengandalkan sistem konveyor untuk mempercepat proses sortir paket [13],[14]. Meskipun sistem ini menawarkan kecepatan dan

akurasi yang lebih tinggi dibandingkan penyortiran manual [15], ada beberapa keterbatasan utama yang perlu diperhatikan.

Kondisi ini menunjukkan perlunya solusi penyortiran yang lebih fleksibel, hemat ruang, dan hemat energi, baik bagi perusahaan logistik besar yang memiliki pusat sortir dengan volume paket bervariasi [16], maupun bagi perusahaan skala menengah dan kecil yang tidak dapat mengadopsi sistem conveyor secara luas. Menurut penelitian yang dipublikasikan di Springer Logistics Research, perusahaan logistik perlu mengadopsi strategi fleksibel untuk meningkatkan ketahanan rantai pasokan mereka, dengan fokus pada efisiensi serta kemampuan menangani perubahan volume paket secara efektif [17].

Untuk mengatasi keterbatasan ini, CAGO (Carry & Go), sebuah Automated Guided Vehicle (AGV), menawarkan solusi yang lebih fleksibel dalam proses penyortiran paket. CAGO merupakan kendaraan otonom yang dapat mengangkut dan menyortir paket berdasarkan tujuan pengiriman dengan efisiensi tinggi. Berbeda dengan konveyor yang bekerja secara terus-menerus, CAGO hanya beroperasi ketika diperlukan, sehingga lebih hemat energi dan dapat mengurangi biaya operasional.

Sebagai bagian dari inovasi dalam sistem penyortiran otomatis, AGV yang dikembangkan dalam proyek ini dilengkapi dengan sistem pengolahan citra berbasis kamera untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi proses sortir paket. Dengan dukungan teknologi pengolahan citra, AGV tidak hanya mampu mengenali paket secara akurat tetapi juga dapat beradaptasi dengan berbagai jenis barang tanpa memerlukan perubahan besar pada infrastruktur.

Penerapan AGV berbasis pengolahan citra dapat menjadi solusi yang efektif untuk meningkatkan efisiensi proses penyortiran paket dalam industri logistik. Dengan fleksibilitas tinggi, konsumsi daya yang lebih rendah, serta tidak memerlukan infrastruktur besar seperti konveyor, AGV menjadi alternatif yang lebih adaptif bagi berbagai skala bisnis logistik [18]. Oleh karena itu, proyek ini bertujuan untuk mengembangkan sistem AGV yang dapat digunakan sebagai solusi penyortiran paket yang lebih efisien, hemat energi, dan dapat diterapkan secara luas di industri logistik modern.

Tujuan utama dari pengembangan sistem ini adalah untuk menggantikan proses sortir manual dengan sistem otomatis yang lebih cepat dan akurat. Dengan mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manusia serta mengoptimalkan alur kerja logistik, sistem ini diharapkan mampu meningkatkan efisiensi proses penyortiran secara keseluruhan. Selain itu, dengan konsumsi daya yang lebih rendah dan desain yang tidak memerlukan infrastruktur besar seperti konveyor, AGV ini dirancang agar dapat diterapkan secara luas pada berbagai skala bisnis logistik.

Ruang lingkup dari pengembangan proyek ini meliputi beberapa keterbatasan teknis yang telah disesuaikan dengan kebutuhan operasional. Sistem hanya dapat beroperasi pada jalur trek yang telah dirancang khusus dan kompatibel dengan

sensor garis yang digunakan. Ukuran paket yang dapat diakomodasi berada pada rentang $20 \times 20 \times 8$ cm hingga $35 \times 30 \times 25$ cm. Waktu operasi robot diperkirakan mencapai ± 43 menit dengan menggunakan baterai Li-ion 18650 3S 3000mAh. Adapun kapasitas beban maksimal bergantung pada komponen mekanis yang digunakan, yaitu hingga 3,5 kg untuk motor penggerak dan ± 770 -gram untuk mekanisme angkut berbasis servo.

II. METODE

A. Kebutuhan Hardware dan Software

1) Kebutuhan Hardware

Di bagian ini dideskripsikan perangkat keras yang digunakan dalam proyek, termasuk spesifikasinya, fungsinya, serta alasan pemilihannya. Perangkat keras yang digunakan dalam proyek CAGO AGV dipilih untuk memenuhi kebutuhan operasionalnya. ESP32 dipilih karena memiliki Wi-Fi dan Bluetooth bawaan, memungkinkan pengendalian nirkabel yang efisien dengan konsumsi daya rendah. Untuk mendeteksi hambatan, sensor Sharp 2Y0A02 dengan jangkauan deteksi 20 hingga 150 cm sangat ideal untuk kebutuhan navigasi AGV. Modul step-down XL4015 menyediakan output daya yang dapat diatur, sementara level shifter 4-channel digunakan untuk kebutuhan penyesuaian level PWM. Kamera web yang digunakan dilengkapi dengan fitur autofocus dan sensitivitas cahaya yang baik, sehingga dapat berfungsi dengan andal dalam pencahayaan standar di dalam ruangan. Modul line tracking 5-channel menggunakan cahaya LED terkonsentrasi untuk mendeteksi garis secara presisi dengan membandingkan intensitas cahaya yang dipantulkan. Servo Tower Pro MG995 Digi Hi-Speed dengan torsi tinggi dan kontrol sudut yang presisi mendukung mekanisme pengangkat paket ringan, serta mampu mengakomodasi kabel servo yang panjang. Motor DC JGA25-370 12V 280 RPM memberikan torsi dan kecepatan yang optimal untuk beban AGV, dipadukan dengan driver motor L298N yang kompatibel dan mudah digunakan bersama ESP32. Sistem ini ditenagai oleh baterai Li-ion 18650 yang ringan dan berkapasitas tinggi, sementara buzzer berfungsi sebagai indikator efektif, dan sakelar memungkinkan kontrol on/off dengan mudah tanpa harus mencabut kabel daya. Seluruh komponen ini secara keseluruhan memastikan efisiensi, presisi, dan adaptabilitas AGV dalam tugas penyortiran paket.

2) Kebutuhan Software

Perangkat lunak dan pemrograman untuk proyek CAGO AGV dirancang guna mendukung kebutuhan operasional dan pengembangannya. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah C/C++ (GCC 7.3.0) untuk pemrograman firmware ESP32 menggunakan Arduino IDE, serta Python (3.12.8) untuk pemrosesan citra pada komputer dan pengendalian komunikasi antara komputer dan AGV. Beberapa pustaka utama yang digunakan antara lain ESP32 WiFi Library (0.3.1) untuk mengaktifkan konektivitas nirkabel antara ESP32 dan komputer, OpenCV (4.11.0) untuk tugas-tugas pemrosesan

citra, dan NumPy (2.2.3) untuk mendukung komputasi numerik dalam pemrosesan citra serta analisis data sensor. Perangkat lunak pendukung lainnya mencakup Arduino IDE (2.3.3) untuk kompilasi dan unggah kode ke ESP32, Visual Studio Code untuk pemrograman dan debugging algoritma pemrosesan citra, EasyEDA untuk perancangan rangkaian skematik AGV, dan draw.io (V26.0.16) untuk pembuatan diagram alur serta visualisasi alur kerja dan tata letak lintasan AGV. Seluruh alat dan pustaka ini secara keseluruhan memastikan proses pengembangan yang tangguh, pengendalian yang presisi, serta pemrosesan citra yang efisien dalam sistem AGV.

B. Metode

Pada prototipe CAGO AGV, pemrosesan citra digunakan untuk mengidentifikasi warna paket sebagai dasar penyortiran. Metode yang digunakan terdiri dari beberapa tahap yang dirancang untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi. Tahap pertama adalah *cropping* area citra agar hanya memproses bagian yang relevan, yaitu paket yang berada di lintasan sortir. Kamera menangkap area yang luas, sehingga citra dipangkas menjadi ukuran 200×200 piksel untuk menghilangkan elemen latar belakang yang tidak perlu dan mempertahankan fokus pada robot dan paket. Hal ini mengurangi gangguan dari latar belakang dan memungkinkan pemrosesan citra terfokus pada objek utama.

Untuk mendeteksi keberadaan paket, dilakukan segmentasi menggunakan teknik *thresholding*. Citra awal dikonversi ke grayscale dan diberi efek Gaussian blur, kemudian diubah menjadi citra biner melalui proses *thresholding*. Tahap ini memisahkan paket dari latar belakang berdasarkan perbedaan warna atau kecerahan, sehingga mempermudah proses identifikasi lokasi paket.

Warna paket kemudian diekstraksi menggunakan model warna Hue, Saturation, dan Value (HSV). Citra dikonversi ke HSV untuk mengisolasi informasi warna, lalu nilai Hue (H) dari piksel-piksel dalam area paket dianalisis. Nilai median dari Hue digunakan untuk menentukan warna dominan, sedangkan komponen Value (V) digunakan untuk memastikan bahwa objek cukup terang untuk diproses secara akurat. Model HSV lebih disukai dibandingkan RGB karena memisahkan warna (Hue) dari pencahayaan (Saturation dan Value), dan penggunaan median membantu meminimalkan gangguan akibat pencahayaan yang tidak merata.

Selanjutnya, untuk membedakan warna setiap paket, dilakukan klasifikasi warna menggunakan *thresholding* pada nilai Hue. Nilai Hue median dibandingkan dengan rentang warna yang telah ditentukan sebelumnya (misalnya, Merah: 0–5 atau 160–180, Oranye: 11–20, Kuning: 21–35, Hijau: 36–85, Biru: 100–120, Ungu: 125–170) untuk mengklasifikasikan warna paket. Metode ini dipilih karena kecepatannya dan efisiensi komputasi yang tinggi dibandingkan pendekatan berbasis *machine learning*, serta memberikan akurasi yang memadai dalam kondisi pencahayaan terkendali dengan warna paket yang kontras

tinggi.

Seluruh tahapan tersebut memastikan proses penyortiran paket berdasarkan warna dapat dilakukan secara akurat dan efisien, dengan memanfaatkan kondisi lingkungan yang terkendali dan teknik pemrosesan citra yang andal untuk memenuhi kebutuhan operasional sistem AGV.

Setelah tahapan pemrosesan citra yang memastikan penyortiran warna paket, konsumsi daya dari sistem Carry & Go (CAGO) AGV dihitung untuk mengoptimalkan efisiensi operasional. Konsumsi daya ini dihitung berdasarkan spesifikasi dari setiap komponen yang digunakan dalam sistem AGV sebagaimana dirinci dalam Tabel 1, dengan nilai arus diambil dari estimasi beban maksimum. Perlu dicatat bahwa kamera tidak terpasang langsung pada badan AGV.

Tabel 1. Perkiraan Komsumsi Daya

Komponen	Jumlah	Tegangan (V)	Arus (A)	Data (W)	Total Daya (W)
ESP32-Wroom-32 Development Board	1	3,6	0,8	2,88	2,88
Motor DC JGA25-370 12V 280 RPM	4	12	0,65	7,8	31,2
Driver Motor L298N	1	5	0,036	0,18	0,18
Sensor 2Y0A02	1	5,5	0,033	0,1815	0,1815
Kamera Jovitek	1	-	-	-	-
Sensor 5-channel Line Tracking Module SEN-0208	1	5	0,053	0,265	0,265
Servo Tower Pro MG995	1	7,2	0,7	5,04	5,04
Digi Hi-Speed Stepdown XL4015	1	12	0,48	5,76	5,76
Level Shifter 4 Ch	1	5	0,001	0,005	0,005
Buzzer	1	5	0,03	0,15	0,15
Total					45,6615

Sumber daya utama untuk sistem AGV terdiri dari dua baterai Li-ion 18650 yang disusun secara seri (2S), masing-masing memiliki tegangan nominal 3,7V, kapasitas 3000mAh, dan arus keluaran maksimum sebesar 10A. Dengan konfigurasi ini, total tegangan nominal menjadi 11,1V (12,6V saat terisi penuh dan 9V saat hampir habis). Baterai ini digunakan untuk menyuplai daya ke seluruh sistem AGV, termasuk motor, mikrokontroler, sensor, dan aktuator. Kebutuhan daya total sistem diperkirakan sekitar 45,66W, dan durasi operasional AGV dihitung menggunakan rumus berikut [19].

$$I = \frac{P}{V} = \frac{45,66W}{11,1V} = 4,12A \quad (1)$$

Karena baterai memiliki kapasitas 3000mAh (3Ah) per sel, maka total kapasitas untuk 2S tetap 3Ah pada 7,6V. Estimasi waktu operasi [20]:

$$T = \frac{\text{Kapasitas Baterai}}{\text{Arus Total}} = \frac{3 \text{ Ah}}{4,12 \text{ A}} \approx 43 \text{ menit} \quad (2)$$

Dengan asumsi penggunaan daya secara penuh, AGV dapat beroperasi sekitar 43 menit sebelum perlu diisi ulang.

Prototipe AGV diuji pada lintasan berwarna putih yang tidak licin untuk memastikan stabilitas pergerakan robot. Garis lintasan dibuat menggunakan lakban hitam untuk menghindari pantulan cahaya yang dapat mengganggu sensor. Pencahayaan ruangan menggunakan lampu bohlam biasa, sehingga perlu diperhatikan potensi munculnya bayangan pada lintasan. Untuk pemantauan lintasan, kamera dipasang pada stand besi, sementara laptop kontrol diletakkan di atas kotak yang juga berfungsi sebagai tempat penyimpanan prototipe. Paket sampel yang digunakan terdiri dari tiga ukuran berdasarkan referensi layanan Poxel, yaitu kecil ($20 \times 20 \times 8$ cm), medium ($30 \times 22 \times 12$ cm), dan besar ($35 \times 30 \times 25$ cm). Paket-paket ini memiliki warna yang kontras dengan latar belakang lintasan, seperti merah, kuning, biru, jingga, hijau, dan ungu, serta tambahan warna cokelat untuk menguji respons sistem terhadap warna yang tidak terdaftar. Dalam sistem penyortiran, paket berwarna merah, kuning, dan biru diarahkan ke simpang kiri, sedangkan paket jingga, hijau, dan ungu diarahkan ke simpang kanan. Pada implementasi di kondisi nyata, lintasan direncanakan menggunakan platform permanen berwarna yang sedikit ditinggikan menyerupai meja agar AGV dapat langsung mengeluarkan paket ke dalam keranjang penampung dengan mekanisme truk yang telah dirancang.

Penyesuaian komponen terhadap lingkungan operasional meliputi penggunaan sensor Sharp 2Y0A02 karena kemampuannya mendeteksi rintangan dengan akurat meskipun di bawah pencahayaan lampu bohlam biasa. Kamera Jovitek dipilih karena dapat beradaptasi dengan variasi pencahayaan, memudahkan deteksi warna paket. Sensor 5-channel Line Tracking Module bekerja stabil berkat garis lakban hitam yang meminimalkan pantulan cahaya. Chassis akrilik digunakan karena sesuai untuk lingkungan dalam ruangan dengan permukaan datar dan tidak berdebu. Roda yang dipakai adalah roda karet 4WD berwarna kuning yang memiliki daya cengkeram baik di atas karpet vinyl, cocok untuk permukaan datar, serta ringan sehingga tidak membebani motor AGV. Buzzer digunakan untuk memberikan peringatan suara yang terdengar jelas di lingkungan uji coba.

Di dalam pembuatan CAGO, desain diacu dari referensi seperti robot MAX piggyback Agv yang dibuat oleh TZBot. Model ini dipilih karena bentuknya yang minimalis dan persegi panjang, sesuai dengan konsep prototipe yang kami

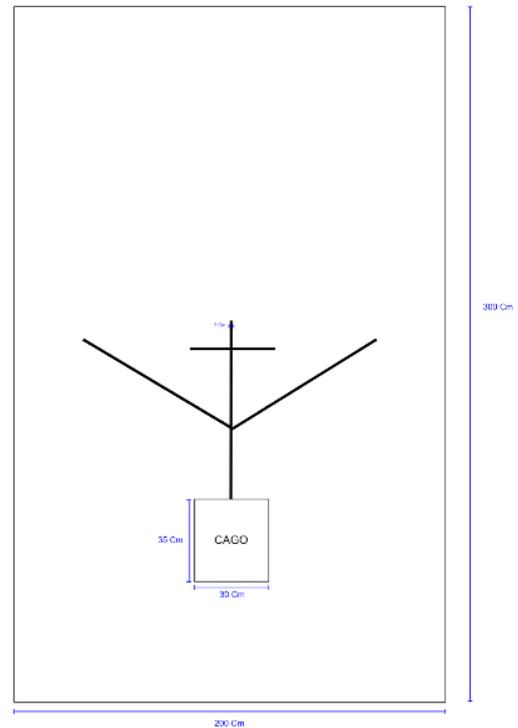
rancang. Beberapa referensi lainnya digunakan untuk menjadi acuan karena menjelaskan mekanisme angkut yang serupa dengan yang dirancang, di mana AGV dapat mengangkat dan memindahkan beban dengan platform yang hampir mendekati flat.

C. Desain Prototipe

Desain mekanik robot AGV CAGO memiliki dimensi $30 \times 35 \times 8$ cm dengan platform angkut yang datar, yang dilengkapi dengan empat roda (Gambar 1). Platform ini dirancang dengan mekanisme pengangkat di bagian tengah untuk menaikkan platform saat menurunkan paket. Engsel dipasang di ujung depan untuk menghubungkan platform dengan badan robot, menjaga stabilitas selama operasi. Sementara itu, baterai ditempatkan di bagian belakang robot untuk memudahkan akses penggantian atau pengisian daya.

Kamera untuk pengolahan citra diposisikan pada *lazypod stand* dengan ketinggian sekitar 80 cm di atas titik awal pemberhentian robot AGV (Gambar 2). Penempatan ini dipilih untuk memastikan sudut pandang optimal dalam mendeteksi warna paket. Laptop pengontrol diletakkan di samping *lazypod* di atas kotak penyimpanan, terhubung langsung ke kamera melalui kabel guna menjaga stabilitas koneksi selama pemrosesan citra.

Jalur dirancang dengan AGV sebagai pusat lintasan, dilengkapi satu persimpangan untuk simulasi proses penyortiran (Gambar 3).

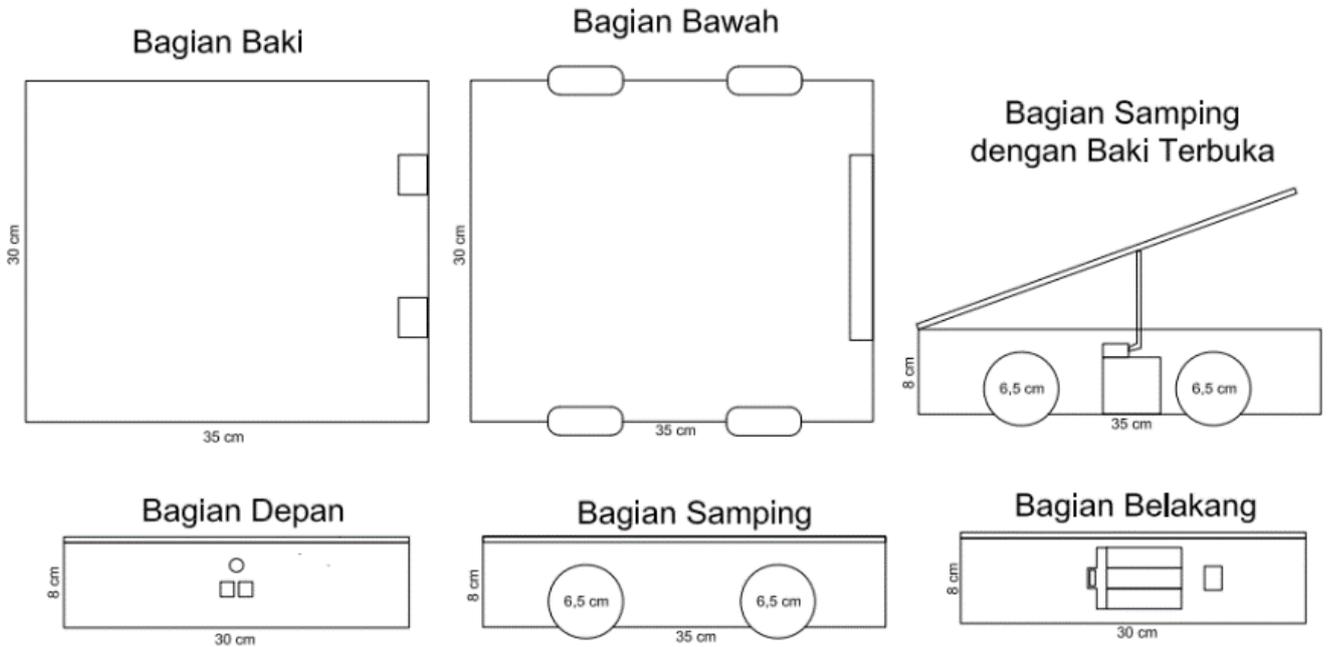


Gambar 3. Desain jalur

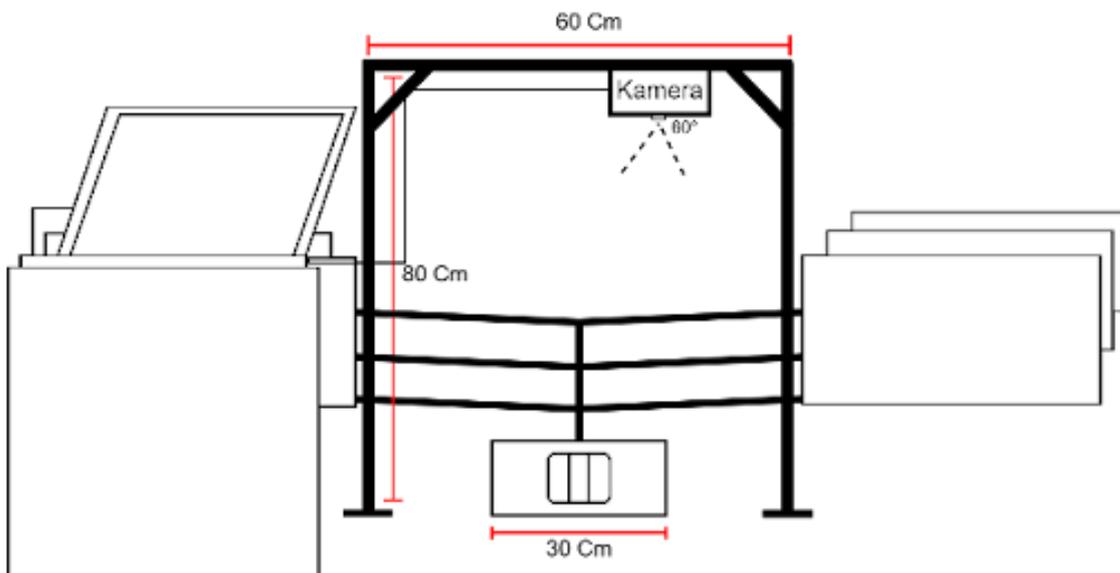
Permukaan jalur menggunakan spanduk berukuran 200×100 cm. Pembagian jalur kanan dan kiri memiliki konsep yang diadaptasi dari sistem pusat sortir paket pada ekspedisi.

Sisi kanan mewakili paket yang datang dari pusat sortir luar dan perlu dikirim ke pusat sortir ini untuk distribusi lebih lanjut. Sementara itu, sisi kiri digunakan untuk paket dari seller lokal yang akan dikirim keluar menuju tujuan akhirnya.

Dengan pembagian ini, simulasi penyortiran paket menjadi lebih sistematis dan sesuai dengan proses yang terjadi di tempat penyortiran.



Gambar 1. Desain Mekanik Robot CAGO



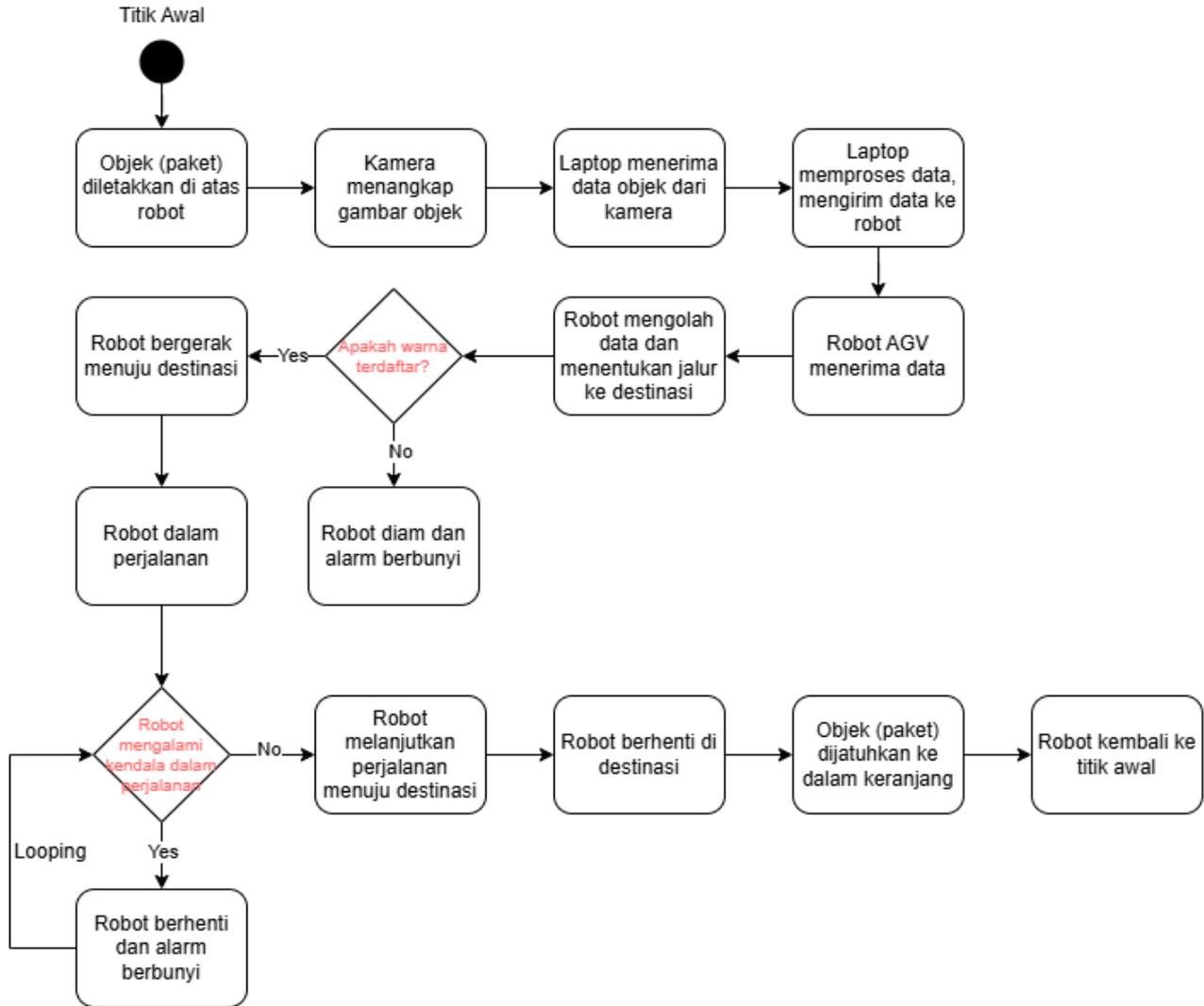
Gambar 2. Penempatan kamera

D. Diagram Alur

Diagram alur dari cara kerja CAGO dapat dilihat pada Gambar 4. ESP32 mengolah data dan menentukan jalur menuju destinasi berdasarkan warna paket. Jika warna paket terdaftar, robot akan bergerak menuju destinasi yang sesuai. Namun, jika warna tidak terdaftar, robot akan tetap diam di tempat dan buzzer akan berbunyi sebagai peringatan.

Robot bergerak dengan mengikuti garis menggunakan

sensor 5-channel Line Tracking Module, sementara itu motor Servo Tower Pro MG995 Digi Hi-Speed dijadikan sebagai aktuator utama menggerakkan roda robot yang dikendalikan oleh driver motor L298N. Jika sensor Sharp 2Y0A02 mendeteksi adanya rintangan, robot akan berhenti dan buzzer berbunyi hingga rintangan hilang.



Gambar 4. Diagram alur sistem

Setelah mencapai destinasi, Servo Tower Pro MG995 Digi Hi-Speed mengangkat bagian atas robot untuk menjatuhkan paket ke dalam keranjang. Setelah itu, robot kembali ke titik awal untuk proses selanjutnya.

Proses pengolahan citra dimulai dengan pengambilan gambar input dari kamera yang terpasang di atas titik pemberhentian awal AGV. Pengambilan gambar dapat dilakukan secara periodik, seperti saat robot berhenti untuk melakukan pemindaian. Citra yang diperoleh kemudian diproses dengan *cropping* pada area tengah berukuran

200×200 piksel untuk memfokuskan pada objek utama, yaitu paket.

Tahap selanjutnya melibatkan konversi gambar ke format *grayscale* guna menyederhanakan informasi warna dan memfokuskan pada perbedaan intensitas cahaya. Untuk meningkatkan kualitas citra, diterapkan *Gaussian blur* guna mengurangi derau, diikuti dengan *thresholding global* untuk memisahkan objek paket dari latar belakang.

Proses berlanjut dengan konversi citra ke ruang warna HSV (Hue, Saturation, Value) guna memisahkan informasi

warna (Hue) dari faktor pencahayaan (Saturation dan Value). Nilai Hue (H) dari seluruh piksel dalam area paket diekstraksi, sementara nilai Value (V) berfungsi sebagai filter untuk memastikan hanya area dengan pencahayaan cukup terang—yang mengandung paket—yang dianalisis. Hal ini mencegah area gelap, seperti permukaan robot, terdeteksi sebagai bagian dari paket. Pada tahap pemilihan warna, nilai Hue yang telah diperoleh diolah dengan menghitung mediannya guna menghasilkan data yang stabil dan minim *noise*. Warna paket kemudian diklasifikasikan berdasarkan rentang Hue yang telah ditentukan, yaitu Merah (0-5 atau 160-180), Oranye (11-20), Kuning (21-35), Hijau (36-85), Biru (100-120), dan Ungu (125-170).

Hasil analisis warna selanjutnya dikonversi menjadi kode warna sederhana yang dapat diproses oleh sistem, seperti me untuk Merah, bi untuk Biru, dan ku untuk Kuning. Data ini dikirimkan ke modul ESP32 yang mengontrol AGV, menentukan tujuan penyortiran paket berdasarkan warna yang terdeteksi. Dengan demikian, seluruh alur pengolahan citra ini memastikan sistem dapat beroperasi secara akurat dan efisien dalam mengidentifikasi dan mengklasifikasikan paket berdasarkan warna.

Sistem ini menggunakan sumber daya utama sebesar 11.1V yang berasal dari tiga baterai, dengan daya dan ground (GND) tersebut dialirkan ke tiga komponen utama. Pertama, motor driver L298N menerima daya 8.8V untuk menggerakkan motor DC. Kedua, modul step-down converter menurunkan tegangan dari 8.8V menjadi 5V, menghasilkan arus yang lebih besar (hingga 5A) dibandingkan output motor driver yang hanya menyediakan sekitar 0.5A. Step-down converter ini menggunakan GND yang sama dengan motor driver, yaitu langsung dari baterai. Ketiga, output 5V dari step-down converter digunakan untuk menyalakan motor servo MG995, yang dikendalikan langsung oleh ESP32 melalui pin kontrol.

ESP32 sendiri memperoleh daya melalui DC barrel jack yang terhubung ke sumber utama. Selain itu, beberapa komponen tambahan diintegrasikan ke dalam sistem: buzzer dan modul line follower mengambil daya langsung dari pin base ESP32, sementara sensor laser obstacle terhubung ke ESP32 baik untuk daya maupun kontrol. Untuk penggerak utama, empat motor DC dikonfigurasi secara paralel—motor kiri (depan dan belakang) dan motor kanan (depan dan belakang) dikendalikan sebagai satu unit, dengan keempat pin motor terhubung dari motor driver ke ESP32. Selain itu, dua pin PWM melewati level shifter sebelum mencapai ESP32, di mana HV (5V) dan LV (3.3V) diambil dari pin base ESP32, serta GND-nya disambungkan ke GND ESP32.

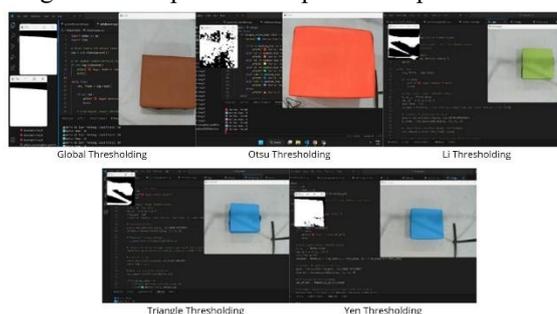
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Sistem Pengolahan Citra

Sebelum dilakukan pengujian terhadap sistem akhir, terlebih dahulu dieksplorasi beberapa metode thresholding otomatis seperti Otsu, Li, Triangle, dan Yen. Namun, hasil uji

awal menunjukkan bahwa metode-metode tersebut tidak memberikan segmentasi yang optimal pada kondisi pencahayaan tetap yang digunakan saat pengujian. Hal ini terjadi karena metode thresholding otomatis tersebut bekerja secara internal dan tidak menyediakan fleksibilitas bagi pengguna untuk melakukan penyesuaian manual terhadap nilai ambang.

Oleh karena itu, proyek ini menggunakan metode thresholding global, yang memungkinkan penyetelan nilai ambang secara manual. Pendekatan ini terbukti lebih efektif dalam menyesuaikan hasil deteksi warna dengan karakteristik pencahayaan pada area pengujian. Ilustrasi perbandingan hasil segmentasi tiap metode dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 5. Perbandingan hasil *thresholding* metode Otsu, Li, Triangle, Yen, dan Global

Awalnya, algoritma klasifikasi warna hanya menggunakan nilai Hue dari ruang warna HSV. Namun, pengujian di atas platform robot berbahan akrilik hitam menghasilkan deteksi yang tidak akurat. Permukaan hitam yang memantulkan cahaya menyebabkan kamera mendeteksi nilai Hue sekitar 60, yang berada dalam rentang warna hijau (36–85). Akibatnya, sistem menganggap ada paket berwarna hijau padahal hanya permukaan hitam tanpa paket.

Untuk mengatasi hal ini, ditambahkan logika pengecekan nilai Value (V). Sistem akan mengabaikan nilai Hue jika $Value < 10$, sebagai indikasi bahwa area tersebut adalah latar hitam gelap. Dengan demikian, hanya area yang memiliki cukup pencahayaan ($Value > 10$) yang diproses lebih lanjut menggunakan Hue untuk klasifikasi warna. Strategi ini meningkatkan akurasi deteksi warna secara signifikan.

Setelah dilakukan penyesuaian terhadap metode deteksi warna, sistem kemudian diuji untuk mendeteksi enam jenis warna paket yang telah ditentukan, serta satu warna tambahan yaitu coklat, yang digunakan sebagai kontrol untuk kasus warna di luar rentang definisi sistem. Setiap warna diuji sebanyak 5 kali, dengan variasi penempatan paket di tengah dan di samping frame kamera, untuk mengamati pengaruh posisi terhadap hasil klasifikasi warna.

Tabel 1. Hasil Pengujian Identifikasi Warna Paket

Warna Paket	Posisi Paket	1	2	3	4	5
Merah	Tengah	√	√	√	√	√

Warna Paket	Posisi Paket	1	2	3	4	5
35x30x25 cm	Samping	√	√	√	√	√
Jingga 20x20x8 cm	Tengah	√	√	√	√	√
	Samping	√	√	√	√	√
Kuning 30x22x12 cm	Tengah	√	√	√	√	√
	Samping	×	×	×	×	×
Hijau 20x20x8 cm	Tengah	√	√	√	√	√
	Samping	√	√	√	√	√
Biru 20x20x8 cm	Tengah	√	√	√	√	√
	Samping	√	√	√	√	√
Ungu 20x20x8 cm	Tengah	√	√	√	√	√
	Samping	×	×	×	×	×

Keterangan: "√" diartikan sebagai sukses dan "×" sebagai gagal.

Pengujian menunjukkan bahwa sistem pengolahan citra memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi dalam mendeteksi warna paket, terutama saat paket berada di posisi tengah kamera dan dalam kondisi pencahayaan stabil. Namun, ketika paket berada di sisi kanan atau kiri frame, akurasi sedikit menurun dan terjadi beberapa kesalahan klasifikasi, terutama pada warna gelap atau saat sebagian area berada dalam bayangan. Hasil deteksi juga dipengaruhi oleh perubahan kondisi cahaya, sehingga ditambahkan atap sederhana di atas webcam untuk membantu menstabilkan pencahayaan dan mengurangi ketidakkonsistenan hasil.

B. Pengujian Sistem Robot AGV

CAGO yang berhasil dibuat memiliki bentuk seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Bentuk Robot CAGO

Pengujian dilakukan untuk setiap warna paket (Merah, Jingga, Kuning, Hijau, Biru, Ungu) sebanyak 3 kali pengujian per warna. Setiap pengujian mengevaluasi 8 aspek utama terkait fungsi dan logika sistem. Gambar 7 menunjukkan pengujian CAGO.



Gambar 7. Proses pengujian robot

Selama proses pengujian sistem, ditemukan berbagai hal penting yang memberikan wawasan terhadap aspek teknis dan desain dari robot yang dikembangkan. Dari sisi kelistrikan dan daya, kondisi baterai memengaruhi kecepatan motor DC, bahkan ketika nilai PWM yang diberikan tetap sama. Distribusi daya antar komponen juga perlu dianalisis lebih dalam karena berdampak langsung terhadap performa, seperti kekuatan servo dalam mengangkat beban. Dalam hal ini, baterai LiPo menunjukkan kinerja yang lebih baik serta stabil dibandingkan baterai Li-ion 18650, sehingga lebih cocok digunakan dalam sistem.

Dari sisi konstruksi dan mekanik, posisi pemasangan baut sebaiknya dari arah bawah ke atas, mengingat desain robot yang rendah menyebabkan baut panjang mudah tersangkut permukaan lintasan. Selain itu, posisi dan panjang lengan servo sangat menentukan efektivitas kerja servo dalam mengangkat beban, sementara bahan ban juga harus diperhatikan karena ban yang terlalu lunak meningkatkan traksi berlebih dan menyulitkan manuver seperti berbelok. Perbedaan panjang kabel antara motor DC depan dan belakang juga berpotensi menyebabkan perbedaan kecepatan, terutama saat motor dikendalikan secara bersamaan di sisi kanan dan kiri.

Dari sisi sensor dan kalibrasi, penggunaan sensor garis saja tidak cukup untuk menghasilkan gerakan yang presisi, karena pembacaan sensor sering kali tidak stabil. Penggunaan motor DC dengan *encoder* dapat membantu meningkatkan akurasi pergerakan. Letak sensor garis juga sangat berpengaruh terhadap hasil pembacaan; meskipun jarak optimal berada pada kisaran 10–50 mm, kondisi permukaan spanduk yang bergelombang memaksa sensor dipasang pada ketinggian sekitar 70 mm, yang berdampak pada turunnya kualitas pembacaan. Oleh karena itu, proses kalibrasi sensor sebaiknya dilakukan langsung dalam kondisi robot bergerak dan motor aktif, agar mempertimbangkan pengaruh posisi dan gerakan motor terhadap sensor. Pengolahan citra melalui kamera juga harus diperhatikan karena sangat sensitif terhadap perubahan pencahayaan, sehingga sistem perlu distabilkan untuk menghadapi kondisi pencahayaan yang bervariasi.

Dari sisi pengendalian motor dan mekanisme navigasi, sistem kontrol sebaiknya memungkinkan pengaturan independen untuk setiap motor. Meskipun dalam pengujian, penggabungan kontrol motor depan dan belakang pada setiap sisi (kanan dan kiri) cukup efektif, namun kontrol independen tetap direkomendasikan, khususnya untuk kebutuhan manuver tajam. Pemilihan kombinasi sinyal HIGH dan LOW untuk manuver berbelok atau berhenti juga terbukti krusial terhadap keberhasilan navigasi, sehingga perlu dilakukan pengujian terhadap berbagai konfigurasi untuk menemukan pola terbaik. Di sisi lain, ditemukan konflik antara

penggunaan pin PWM dan *timer* pada mikrokontroler ESP32, yang menyebabkan kegagalan fungsi pada servo. Penanganan konflik ini menjadi penting dalam sistem yang melibatkan banyak komponen seperti proyek ini.

Terakhir, kondisi permukaan lintasan turut memengaruhi performa robot. Permukaan dari bahan spanduk terbukti tidak ideal untuk jalur sensor garis karena permukaannya yang bergelombang dapat mengganggu akurasi pembacaan sensor. Permukaan karpet yang benar-benar rata dan tidak licin dapat dipertimbangkan, sehingga memberikan hasil pembacaan sensor yang lebih stabil dan akurat.

Tabel 2. Hasil pengujian robot AGV untuk masing-masing warna paket

Warna Paket	Uji Ke	Terima Data	Jalan Lurus	Deteksi Rintangan	Belok Sukses	Belok di Simpang Tepat	Jalan ke Keranjang	Jatuhkan Paket	Pulang ke Start
Merah 35x30x25 cm	1	√	√	×	√	√	√	√	√
	2	√	√	×	×	×	×	√	×
	3	√	√	×	√	√	×	√	√
Jingga 20x20x8 cm	1	√	√	×	√	×	×	√	×
	2	√	√	×	√	×	×	√	×
	3	√	√	×	√	√	√	×	×
Kuning 30x22x12 cm	1	√	√	×	×	×	×	√	×
	2	√	√	×	√	√	√	√	√
	3	√	√	×	√	√	√	√	×
Hijau 20x20x8 cm	1	√	√	×	√	√	√	√	×
	2	√	√	×	×	√	√	√	×
	3	√	√	×	√	×	×	×	×
Biru 20x20x8 cm	1	√	√	×	√	√	√	√	√
	2	√	√	√	√	×	×	√	√
	3	√	√	×	√	√	√	√	√
Ungu 20x20x8 cm	1	√	√	×	√	×	×	√	×
	2	√	√	×	√	×	×	√	×
	3	√	√	×	√	√	√	√	×

Keterangan: "√" diartikan sebagai sukses dan "×" sebagai gagal.

Robot secara umum mampu menjalankan fungsi penyortiran dengan baik: mengenali warna paket, mengikuti garis, mengantarkan ke keranjang sesuai warna, serta merespons warna yang tidak terdefinisi dengan buzzer. Meski demikian, tidak semua skenario berhasil 100%, terutama akibat pembacaan sensor garis yang tidak selalu stabil. Selain itu, untuk simpang kanan, kegagalan robot kembali ke titik awal bukan disebabkan oleh sensor, melainkan karena bug dalam kode program yang membuat kondisi hanya terbaca sekali dan tidak diperbarui, sehingga robot terus berjalan dengan kondisi lama. Dari pengujian, tercatat bahwa waktu yang dibutuhkan robot dari titik awal, menyortir paket, hingga kembali ke titik awal berada di kisaran 27 detik. Pengujian ini juga mengungkap berbagai penemuan penting seperti

pengaruh kondisi baterai, pentingnya motor encoder, penyesuaian logika kontrol motor, dan kebutuhan lintasan yang rata untuk pembacaan sensor yang lebih andal.

IV. KESIMPULAN

Proyek ini berhasil merancang dan mengimplementasikan prototipe robot AGV bernama CAGO untuk menyortir paket berdasarkan warna menggunakan pengolahan citra dan sensor garis. Sistem mampu menjalankan fungsinya dengan cukup baik—mulai dari deteksi warna paket, navigasi mengikuti garis, deteksi rintangan, hingga mengantarkan paket ke lokasi tujuan sesuai warna.

Pengujian menunjukkan bahwa pengolahan citra bekerja akurat saat pencahayaan stabil dan posisi paket optimal,

sementara pengujian AGV menunjukkan bahwa mayoritas skenario berhasil dijalankan. Meski demikian, beberapa keterbatasan teridentifikasi, seperti kegagalan kembali ke titik awal di jalur kanan akibat bug pemrograman, sensitivitas sensor terhadap permukaan lintasan, serta pengaruh distribusi daya dan pencahayaan terhadap performa keseluruhan. Penemuan-penemuan ini memberikan insight penting bagi pengembangan lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] FFang, A.; Chen, V.; McDonald, M.A. Breaking Down the Impact of Automation in Manufacturing. *Science Policy Review*, 2023. Available online: <https://sciencepolicyreview.org/wp-content/uploads/securepdfs/2023/08/MITSPR-v4-191618004018.pdf> (accessed on 1 March 2025).
- [2] Syaftahan, P. Peran AI dalam Mengoptimalkan Marketplace E-Commerce Indonesia. *AI Hub*, 14 November 2024. Available online: <https://aihub.id/pengetahuan-dasar/ai-optimalkan-e-commerce> (accessed on 1 March 2025).
- [3] Mirwansyah, D.; Wibowo, A. Fruit Image Classification Using Deep Learning Algorithm: Systematic Literature Review (SLR). *Multica Science and Technology*, 2022, 2(2), 38–41. Available online: <https://journal.universitasmulia.ac.id/index.php/mst/article/download/356/262> (accessed on 1 March 2025).
- [4] Lissy, N.S.; Krupa, M.E. A Study on Impact of E-Commerce on Consumer Buying Behaviour (With Special Reference to Grocery Products, Consumer of Coimbatore District). *Int. J. Manag. Humanit.* 2023, 9(8), 1–5. Available online: <https://www.ijmh.org/wp-content/uploads/papers/v9i8/G1584039723.pdf> (accessed on 1 March 2025).
- [5] Hayes, M.; Downie, A. Apa itu ecommerce? IBM. Published: 29 February 2024. Available online: <https://www.ibm.com/id-id/topics/e-commerce> (accessed on 1 March 2025).
- [6] Chauhan, R.K.; Prakash, R.; Tabrej, S.; Singh, S. Supply Chain Management and E-commerce. *Int. J. Innov. Sci. Res. Technol.* 2024, 9(5). Available online: <https://www.ijisrt.com/assets/upload/files/IJISRT24MAY2137.pdf> (accessed on 1 March 2025).
- [7] van Gelder, K. E-commerce Worldwide - Statistics & Facts. *Statista*. Published: 10 December 2024. Available online: <https://www.statista.com/topics/871/online-shopping/#topicOverview> (accessed on 1 March 2025).
- [8] Asdecker, B. Building the E-Commerce Supply Chain of the Future: What Influences Consumer Acceptance of Alternative Places of Delivery on the Last-Mile. *Logistics* 2021, 5(4), 90. Available online: <https://doi.org/10.3390/logistics5040090> (accessed on 1 March 2025).
- [9] The Business Research Company. E-Commerce Logistics Global Market Report 2025: Trends, Size, Forecasts, and Regional Insights. Published: January 2025. Available online: <https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/e-commerce-logistics-global-market-report> (accessed on 1 March 2025).
- [10] Kawa, A.; Świątowiec-Szczepańska, J. Logistics as a Value in E-commerce and Its Influence on Satisfaction in Industries: A Multilevel Analysis. *J. Bus. Ind. Manag.* 2020, 9(1), 1–15. Available online: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/jbim-09-2020-0429/full/pdf?title=logistics-as-a-value-in-e-commerce-and-its-influence-on-satisfaction-in-industries-a-multilevel-analysis> (accessed on 1 March 2025).
- [11] Savushkin, N. Warehouse Automation in Logistics: Case Study of Amazon and Ocado. Bachelor of Business Administration, Metropolia University of Applied Sciences, March 2024. Available online: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/857682/Savushkin_N_ikolai.pdf?sequence=2 (accessed on 1 March 2025).
- [12] Ahamed, M.; Gu, H. Package Sorting Control System Based on Barcode Detection. In *Proceedings of the Conference on Automation and Control Engineering (CACRE)*, July 2022. Available online: https://www.researchgate.net/publication/362259851_Package_sorting_control_system_based_on_barcode_detection (accessed on 1 March 2025).
- [13] Boysen, N.; Briskorn, D.; Fedtke, S. Automated Sortation Conveyors: A Survey from an Operational Research Perspective. *European Journal of Operational Research* 2018, 276(3), 704–718. Available online: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.08.014> (accessed on 2 March 2025).
- [14] Cheng, K.-M.; Ramli, R. Planning and Designing of a Production Facility Layout: An Efficient Framework in a Manufacturing Process Setting. *ResearchGate*, 2010. Available online: https://www.researchgate.net/publication/228718530_Planning_and_Designing_of_a_Production_Facility_Layout_An_Efficient_Framework_in_a_Manufacturing_Process_Setting (accessed on 2 March 2025).
- [15] Setiawan, A.; Suwandy, A. Automated Sorting Conveyor Using Pneumatic for Sorting at a Distribution Center. *Semantics Scholar*, 2023. Available online: https://www.semanticscholar.org/paper/Automated-Sorting-Conveyor-Using-Pneumatic-for-at-Setiawan-Suwandy/89a4d38d1b54923174a3b557c43718dcf177c3ef?utm_source=direct_link (accessed on 2 March 2025).
- [16] Rianda. Sortir Paket Adalah: Tahapan dan Manfaat dalam Pengiriman. *MGT Logistik*, 16 February 2025. Available online: https://mgt-logistik.com/sortir-paket-adalah/?utm_source=chatgpt.com (accessed on 2 March 2025).
- [17] Paul, A., & Saha, S. C. (2024). A Systematic Literature Review on Flexible Strategies and Performance Indicators for Supply Chain Resilience. **Logistics Research**. Available online: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40171-024-00415-x> (accessed on 4 March 2025).
- [18] Schulze, M., & Behling, S. (2018). Intelligent Transportation Systems: Automated logistics in future supply chains. *Semantic Scholar*. Available online: <https://www.semanticscholar.org/paper/Intelligent-Transportation-Systems%3A-Automated-in-Schulze-Behling/519f64761fec82a4c1b0636c6aa5e55282d83d0f> (accessed on 2 March 2025).
- [19] Electrical and Electronics Engineering. (tanpa tahun). Ohm's Law Formula Sheet. [Online]. Available online: <https://electricalandelectronicsengineering.com/ohms-law-formula-sheet/> (accessed on 5 March 2025).
- [20] E. C. Simanjuntak dan M. I. Alaydrus. (2016). "Analisis Jarak Pembacaan Sensor Ultrasonik terhadap Permukaan Benda," *Jurnal ELKHA*, vol. 8, no. 2, pp. 111-116. Available online: <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/Elkha/article/download/13186/11934> (accessed on 5 March 2025)