

TROLI BAGASI OTOMATIS DENGAN PENGENALAN OBJEK DAN KENDALI MOTOR UNTUK BANDARA

Nurmahendra Harahap¹⁾, Sunardi²⁾, Muhammad Amril³⁾, Moh Muchlishiin⁴⁾

¹⁾⁴⁾ Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Tjut Nyak Dhien

²⁾ Teknologi Rekayasa Bandar Udara, Politeknik Penerbangan Palembang

³⁾ Teknik Telekomunikasi dan Navigasi Udara, Politeknik Penerbangan Medan

email: nurmahendrasaharap@gmail.com¹⁾, machdisunardi@gmail.com²⁾, m.amrilsiregar@gmail.com³⁾, moh.muchlishiin@gmail.com⁴⁾

INFO ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Diterima November, 2024

Revisi November, 2024

Terbit November, 2024

ABSTRAK

Bandara membutuhkan inovasi dalam sistem troli bagasi untuk meningkatkan kenyamanan pengguna, terutama bagi lansia dan penyandang disabilitas. Penelitian ini mengembangkan prototipe troli otomatis yang dapat mengikuti pengguna secara mandiri. Troli ini menggunakan kamera *Pixy CMUCam5* untuk pengenalan *barcode* dan warna RGB, serta dikendalikan oleh mikrokontroler *Arduino Uno* yang terhubung dengan motor DC dan *driver* motor. Metode penelitian mencakup perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, serta pengujian terhadap deteksi objek, kecepatan troli berdasarkan beban, dan kemampuan mengikuti pengguna. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengenali *barcode* dengan akurasi tinggi dalam kondisi pencahayaan optimal, serta dapat membawa beban hingga 18 kg sebelum mengalami penurunan performa. Troli juga berhasil bergerak maju, berbelok, dan berhenti sesuai pergerakan pengguna. Inovasi ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan kenyamanan penumpang di bandara.

Kata Kunci :

Troli Otomatis; *Pixy CMUCam5*; *Arduino*; Pengenalan Objek; Bandara;

ABSTRACT

Airports require innovations in baggage trolley systems to enhance user convenience, especially for the elderly and disabled individuals. This research develops an automatic trolley prototype capable of independently following users. The trolley utilizes a *Pixy CMUCam5* camera for barcode and RGB color recognition, controlled by an *Arduino Uno* microcontroller connected to DC motors and a motor driver. The research methodology includes hardware and software design, as well as testing for object detection, trolley speed based on load, and user-following capability. The test results show that the system can accurately recognize barcodes under optimal lighting conditions and carry loads up to 18 kg before experiencing performance degradation. The trolley successfully moves forward, turns, and stops according to user movement. This innovation is expected to improve passenger efficiency and convenience at airports.

Keywords:

Automatic Trolley; *Pixy CMUCam5*; *Arduino Uno*; Object Recognition; Airport;

Penulis Korespondensi:

Nurmahendra Harahap
Program Studi Teknik Elektro,
Fakultas Sains dan Teknologi,
Universitas Tjut Nyak Dhien

Email:

nurmahendrasaharap@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Bandar udara adalah fasilitas vital yang melayani pergerakan pesawat, penumpang, dan barang dengan efisiensi tinggi. Sebagai pintu gerbang transportasi udara, bandara memiliki peran strategis dalam mendukung mobilitas manusia dan barang baik secara lokal maupun internasional. Dalam memenuhi kebutuhan tersebut, berbagai fasilitas penunjang disediakan untuk memberikan kenyamanan dan kemudahan bagi pengguna, salah

satunya adalah fasilitas pelayanan bagasi. Pelayanan bagasi meliputi berbagai elemen, termasuk troli yang digunakan untuk membawa barang bawaan penumpang.

Saat ini, troli yang tersedia di kebanyakan bandara masih bersifat manual, artinya pengguna harus mendorong atau menarik troli secara langsung. Meskipun terlihat sederhana, sistem ini menghadirkan sejumlah tantangan bagi pengguna dengan beragam latar belakang usia dan kondisi fisik, seperti lansia dan penyandang disabilitas. Keterbatasan ini dapat memengaruhi pengalaman perjalanan, menambah beban fisik, dan bahkan meningkatkan risiko kecelakaan kecil, seperti tersandung atau troli yang terlepas dari kendali.

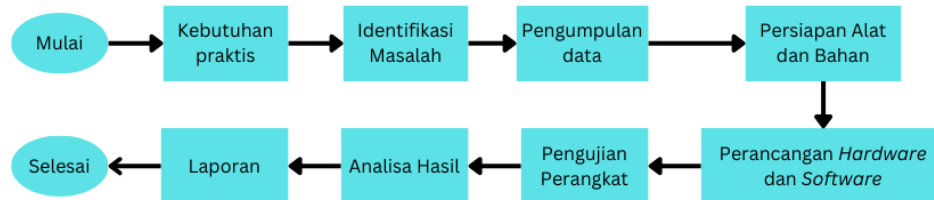
Berbagai penelitian terbaru telah menunjukkan pentingnya inovasi dalam desain troli otomatis untuk mengatasi permasalahan ini. Misalnya, Lovita dan Mukhaiyar [1] mengembangkan sistem troli otomatis berbasis *computer vision* yang mampu mendeteksi dan mengikuti pengguna di lingkungan yang ramai. Teknologi ini memberikan solusi *modern* untuk meningkatkan efisiensi dan kenyamanan bagi penumpang. Selain itu, Muliandhi [2] menjelaskan implementasi otomatisasi dalam sistem bagasi bandara untuk meningkatkan efisiensi operasional dan kenyamanan pengguna. Penelitian selanjutnya membahas perancangan troli robot dengan sistem *Automatic Guided Vehicle (AGV)* yang dilengkapi dengan teknologi *Radio Frequency Identification (RFID)* untuk proses pemberhentian otomatis [3]. Terdapat pula artikel yang mengimplementasikan HSV dan *fuzzy logic* pada pergerakan troli [4]. Artikel [5] membahas tentang robot dilengkapi dengan sensor ultrasonik yang berfungsi mendeteksi keberadaan objek di depannya. Data dari sensor ini diproses oleh *Arduino Uno* untuk mengendalikan pergerakan motor DC yang menggerakkan roda robot.

Lebih lanjut, artikel [6] mengembangkan troli otomatis yang dapat mengikuti pergerakan manusia dengan memanfaatkan teknologi IoT. Penelitian selanjutnya telah dilakukan adalah dengan mendeteksi warna HSV menggunakan *open CV* menggunakan *raspberry pi* sebagai pengendali dari troli otomatis [7]. Penelitian berikutnya bertujuan untuk menciptakan sistem yang mampu menjaga jarak antara robot troli dan pengguna pada set point yang diinginkan, yaitu 30 cm [8]. pada penelitian tersebut kendali *Proportional Integral Derivative (PID)* menggunakan metode *Ziegler-Nichols II*. Terdapat juga artikel yang merancang troli otomatis menggunakan sensor *ultrasonic* dan *android* dalam mengendalikan pergerakan troli [9]. Artikel [10] mengembangkan prototipe robot bergerak yang dilengkapi dengan sensor kamera, dikendalikan melalui *smartphone*, dan memanfaatkan *Global Positioning System (GPS)* untuk navigasi. Penelitian [11] membahas penerapan kamera *CMUCam5 Pixy* pada robot sepak bola beroda. Penelitian tersebut bertujuan untuk menganalisis kemampuan kamera tersebut dalam mendeteksi objek bola futsal berwarna merah dalam berbagai kondisi. Penelitian [12] bertujuan untuk mengembangkan robot yang dapat mendeteksi dan mengikuti objek berwarna dengan bentuk sederhana menggunakan *pixy 2* dan *Arduino*. Artikel [13] membahas tentang rancangan sistem deteksi dan pemilahan telur otomatis yang terjangkau, dengan fleksibilitas penempatan perangkat berkat penggunaan modul *pixy* kamera dan deteksi objek yang lebih akurat dibandingkan dengan penggunaan sensor warna. Artikel [14] membahas tentang penerapan teknologi kontrol *fuzzy* dalam sistem penyimpanan dan penitipan barang otomatis di ruang publik, dengan menggunakan troli rotari sebagai media untuk menyimpan barang. Berikutnya terdapat troli yang dapat bergerak dengan sendirinya menggunakan saklar *rocker* karena dilengkapi dengan sensor pengikut garis di bawahnya, proyek ini menggunakan konsep semi-otonom dan akan dikendalikan dengan saklar [15].

Dari jbaran terhadap artikel-artikel yang telah dipaparkan, maka kami merancang dan mengembangkan prototipe troli bagasi pengikut otomatis sebagai bantuan bagi para pengguna troli bagasi di bandara. Troli ini dirancang untuk dapat mengikuti pengguna secara mandiri tanpa memerlukan dorongan manual, sehingga mengurangi beban fisik pengguna. Solusi yang ditawarkan dalam penelitian ini mencakup penerapan sistem *computer vision* berbasis *Pixy CMUCam5* untuk pengenalan objek dan *barcode*, serta pengendalian pergerakan troli menggunakan mikrokontroler *Arduino* yang terintegrasi dengan *motor DC* dan *driver* motor. Dengan teknik ini, troli akan mampu mendeteksi dan mengenali pengguna melalui *barcode* serta warna RGB tertentu yang dibawa oleh pengguna, sehingga dapat mengikuti pergerakan pengguna secara otomatis di dalam bandara. *Output* yang diharapkan dari penelitian ini adalah terciptanya troli otomatis yang dapat bergerak maju, berbelok, dan berhenti secara baik sesuai dengan posisi pengguna, serta mampu mengangkat beban dengan efisien hingga batas tertentu. Dengan demikian, inovasi ini diharapkan dapat meningkatkan pengalaman pengguna, khususnya bagi lansia dan penyandang disabilitas.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini kami berfokus pada pengembangan troli otomatis yang cerdas untuk membantu penumpang di bandara. Troli dirancang agar dapat mengenali penumpang melalui *barcode* dan warna RGB, serta mampu mengikuti pengguna secara otomatis. Alur dalam tahapan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1. Tahapan penelitian diawali dengan pencarian kebutuhan praktis yang ada di dunia penerbangan, Identifikasi masalah, pengumpulan data, persiapan alat dan bahan, perancangan *hardware* dan *software*, pengujian perangkat, analisa hasil dan laporan.



Gambar 1. Diagram Alir Tahapan Penelitian.

2.1 Kebutuhan Praktis

Penelitian ini diawali dengan mencari kebutuhan praktis terkait dunia penerbangan dengan melihat kondisi bandar udara yang ada di Indonesia. Di lapangan terlihat bahwa penggunaan troli manual di bandara yang dapat menyulitkan pengguna, terutama lansia dan penyandang disabilitas. Permasalahan ini menjadi dasar pengembangan sistem troli otomatis yang mampu mengikuti pengguna secara mandiri.

2.2 Identifikasi Masalah

Pada tahap ini, dilakukan kajian terhadap permasalahan utama, yaitu bagaimana membuat troli yang dapat mengikuti pengguna dengan baik tanpa memerlukan kendali manual. Bagaimana kehandalan perangkat dalam mengikuti objek tertentu, seperti para pengguna dan kehandalan perangkat dalam mengangkut barang-barang bagasi di bandara.

2.3 Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data bertujuan untuk memperoleh informasi yang diperlukan dalam perancangan dan pengembangan sistem troli otomatis. Data yang dikumpulkan mencakup studi literatur, identifikasi kebutuhan sistem, spesifikasi komponen perangkat keras dan lunak. Studi literatur dilakukan untuk memahami penelitian terdahulu yang berhubungan dengan teknologi troli otomatis, pengenalan objek menggunakan sensor dan kamera, serta teknik kendali motor untuk navigasi pada sistem robotik.

Selanjutnya, dilakukan identifikasi kebutuhan sistem berdasarkan perilaku pengguna troli di bandara. Proses ini bertujuan untuk memahami seperti apa lansia dan penyandang disabilitas menggunakan troli konvensional. Data ini dikumpulkan melalui observasi langsung dan sedikit wawancara dengan calon pengguna. Dari hasil identifikasi ini, ditentukan kebutuhan sistem navigasi otomatis yang dapat menggantikan pengoperasian manual sebuah troli.

Setelah kebutuhan sistem diidentifikasi, dilakukan pengumpulan data mengenai spesifikasi teknis perangkat keras dan perangkat lunak yang akan digunakan. Salah satu komponen utama adalah sensor kamera *Pixy CMUCam5*, yang perlu dikaji mengenai kemampuannya dalam mendeteksi warna dan *barcode*, jarak optimal pendeteksian, serta responsnya terhadap perubahan pencahayaan. Selain itu, data tentang mikrokontroler *Arduino Uno* dikumpulkan untuk memastikan kapasitas pemrosesannya dan kompatibilitasnya dengan komponen lain.

2.4 Persiapan Bahan dan Alat

Pada tahap persiapan alat dan bahan, dilakukan identifikasi serta persiapan komponen yang akan digunakan dalam perancangan dan implementasi sistem troli otomatis. Pemilihan alat dan bahan yang tepat sangat penting untuk memastikan kinerja optimal setiap komponen dalam mendukung fungsi utama sistem. Persiapan ini meliputi perangkat keras seperti sensor, mikrokontroler, motor, dan baterai, serta perangkat lunak untuk pemrograman dan pengujian sistem.

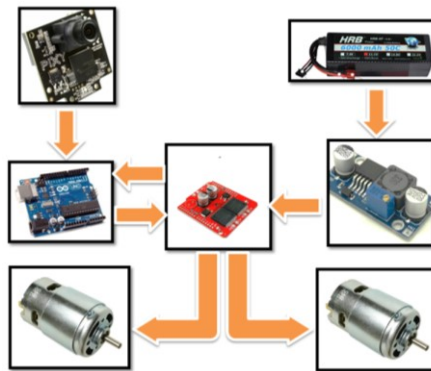
Komponen utama yang digunakan dalam sistem ini terdiri dari sensor *Pixy CMUCam5*, mikrokontroler *Arduino Uno*, motor driver *Monster Moto Shield*, modul konverter daya, baterai *Li-Po*, serta dua motor DC. Setiap komponen dipilih berdasarkan fungsinya dalam mendukung operasi troli otomatis. *Sensor Pixy CMUCam5* digunakan untuk mendeteksi objek secara *real-time* dan mengirimkan data posisi ke *Arduino Uno* sebagai pusat kendali. *Arduino Uno* kemudian mengolah data tersebut dan mengontrol motor melalui

Monster Moto Shield yang memiliki kemampuan menangani arus tinggi, sehingga sesuai untuk menggerakkan motor DC yang digunakan dalam sistem ini.

Di sisi perangkat lunak, digunakan Arduino IDE untuk menulis dan mengunggah kode program ke mikrokontroler *Arduino Uno*, serta *PixyMon* untuk mengkalibrasi sensor *Pixy* agar dapat mendeteksi objek dengan akurasi tinggi. Selain itu, Serial Monitor digunakan dalam tahap *debugging* untuk memeriksa data dari sensor dan memastikan perintah mikrokontroler dapat mengontrol motor dengan tepat.

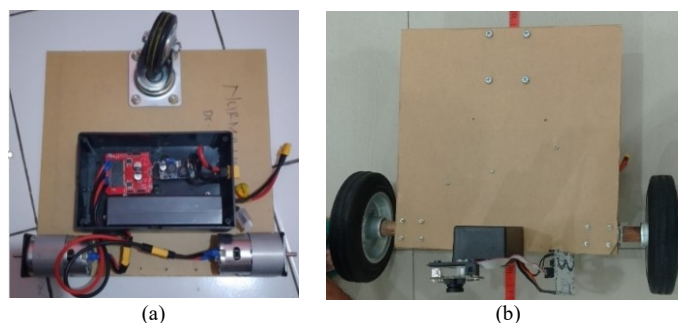
2.5 Perancangan *Hardware* dan *Software*

Pada perancangan *Hardware* komponen-komponen pada troli otomatis dihubungkan dengan kabel. Sensor *Pixy CMUCam5* dihubungkan dengan *Arduino Uno* melalui komunikasi SPI agar dapat mentransfer data secara cepat dan akurat. Data yang diperoleh dari sensor ini akan digunakan oleh *Arduino* untuk menentukan arah pergerakan troli berdasarkan posisi objek yang dikenali. Sementara itu, *motor driver Monster Moto Shield* dihubungkan dengan *Arduino Uno* untuk mengontrol motor DC. Motor driver ini memungkinkan pengaturan kecepatan dan arah putaran motor dengan menggunakan sinyal PWM yang dihasilkan dari *Arduino*. Dua motor DC kemudian dihubungkan ke *output Monster Moto Shield*, yang masing-masing bertanggung jawab terhadap pergerakan roda kanan dan kiri troli. Dengan konfigurasi ini, sistem dapat mengatur pergerakan troli secara akurat, baik dalam pergerakan maju, mundur, maupun berbelok sesuai dengan data yang diterima dari sensor. Untuk memperjelas alur dari diagram sistem kendali troli, dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alur Sistem Kendali Troli.

Setelah semua hubungan antar-komponen dirancang, dilakukan perakitan fisik dengan menempatkan setiap komponen pada posisi yang telah dipertimbangkan. *Sensor Pixy CMUCam5* dipasang pada bagian depan troli dengan sudut pandang yang optimal agar dapat mengenali objek dengan baik. *Arduino Uno* dan *motor driver Monster Moto Shield* dipasang di bagian bawah troli untuk memudahkan distribusi kabel. Motor DC dipasang langsung pada roda penggerak utama. Setelah perakitan selesai, dilakukan pemeriksaan untuk memastikan bahwa setiap komponen telah terpasang dengan baik. Hasil dari perakitan fisik dari prototipe troli ini dapat dilihat pada Gambar 3.

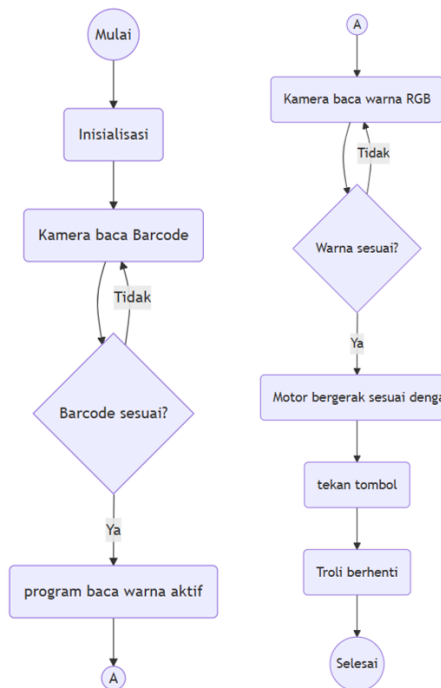


Gambar 3. Tampilan Perangkat Keras dari Troli (a). Tampilan Bawah; (b). Tampilan Atas.

Software dirancang untuk membaca *barcode* dan warna RGB sebagai parameter utama dalam mengidentifikasi dan memproses objek. Proses dimulai dengan inialisasi perangkat keras, seperti *PixyCam*, motor, dan *Arduino*, serta pengaturan *variabel* sistem. *PixyCam* pertama-tama membaca *barcode* pada objek untuk memastikan identifikasi sesuai dengan yang diinginkan. Jika *barcode* tidak sesuai, sistem akan terus membaca hingga *barcode* yang benar ditemukan. Setelah itu, *PixyCam*

mendeteksi warna RGB dari objek untuk memverifikasi apakah warnanya cocok dengan kriteria tertentu. Jika warna tidak sesuai, sistem kembali membaca hingga menemukan warna yang cocok.

Ketika *barcode* teridentifikasi dengan benar, *Arduino* mengontrol motor untuk bergerak berdasarkan warna objek tertentu yang dipakai oleh pengguna troli, Motor ini menggerakkan troli sesuai dengan kebutuhan, seperti membawa barang ke lokasi tertentu dengan mengikuti pengguna troli. Gambar 4., menampilkan diagram alir dari sistem kerja troli otomatis.



Gambar 4. Diagram Alir Dari Sistem Kerja Troli Otomatis.

2.6 Pengujian Perangkat

Dalam penelitian ini, dilakukan berbagai pengujian untuk mengevaluasi kinerja troli otomatis. Pengujian ini mencakup respon sensor terhadap intensitas cahaya, pengaruh beban terhadap kecepatan motor, akurasi kamera dalam membaca *barcode*, serta kemampuan troli dalam mengikuti objek dengan berbagai arah pergerakan. Setiap pengujian dilakukan secara sistematis untuk mendapatkan data yang *valid* dan dapat dianalisis lebih lanjut.

Pengujian pertama dilakukan untuk mengetahui pengaruh intensitas cahaya terhadap kamera. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memahami bagaimana pencahayaan lingkungan memengaruhi kemampuan kamera dalam mengenali objek. Untuk itu, digunakan *flux* meter untuk mengukur intensitas cahaya dalam satuan *lux* pada beberapa kondisi pencahayaan. Kamera yang digunakan ditempatkan pada sudut tetap untuk memastikan pengujian dilakukan secara konsisten. Setiap kondisi pencahayaan diuji untuk mengetahui apakah kamera mampu mendeteksi objek dengan baik. Data yang diperoleh berupa tingkat keberhasilan kamera dalam mengenali objek pada setiap intensitas cahaya yang ditentukan.

Selanjutnya, dilakukan pengujian terhadap kecepatan motor saat membawa beban yang berbeda. Pengujian ini bertujuan untuk mengukur bagaimana beban troli memengaruhi kecepatannya dalam bergerak. Berat beban yang digunakan adalah 3 kg, 6 kg, 9 kg, 12 kg, 15 kg, 18 kg dan 21 kg dan troli diuji dalam lintasan lurus. Pergerakan troli untuk setiap pengangkatan bebannya hanya dibatasi selama 10 detik saja. Kecepatan troli diukur menggunakan *stopwatch* dengan menghitung waktu tempuhnya dari titik awal ke titik akhir.

Pengujian berikutnya dilakukan untuk mengukur efektivitas kamera dalam membaca *barcode*. Dalam pengujian ini, digunakan *barcode* yang sama tetapi jarak kamera dengan *barcode* berbeda. lalu diuji kemampuannya dalam membaca *barcode* di jarak yang berbeda. Sebelum diuji, *barcode* dicek menggunakan ponsel, untuk mengetahui objek terbaca atau tidak. Hasil yang diperoleh dari pengujian ini adalah tingkat keberhasilan kamera dalam membaca *barcode*.

Selain itu, dilakukan pengujian terhadap pergerakan troli dalam mengikuti objek. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa responsif troli dalam mengikuti arah objek yang bergerak ke depan, kanan, kiri dan berhenti. Objek digerakkan ke berbagai arah, dan troli diharapkan dapat merespons dengan benar. Empat skenario pengujian diterapkan, yaitu gerakan lurus ke depan, belokan ke kanan, belokan ke kiri dan berhenti. Parameter yang diukur adalah keberhasilan troli dalam mengikuti pengunanya.

2.7 Analisis Hasil

Analisis hasil dilakukan berdasarkan data pengujian untuk menilai efektivitas sistem dalam mendeteksi dan mengikuti pengguna sehingga dipastikan bahwa troli dapat bekerja sesuai dengan skenario yang dirancang. Selanjutnya analisa terhadap batas beban maksimal yang dapat diangkat, sehingga dapat diketahui beban optimal yang masih memungkinkan troli berfungsi dengan baik tanpa kehilangan efisiensi daya.

2.8 Laporan

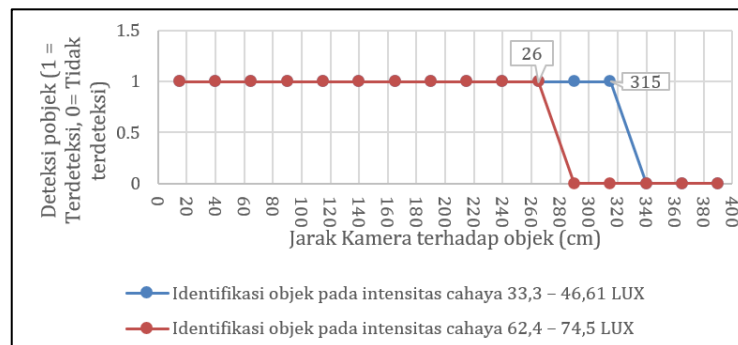
Laporan bertujuan untuk mendokumentasikan seluruh proses penelitian, mulai dari perancangan sistem, metode pengujian, hasil analisis, hingga kesimpulan dan saran. Laporan ini diperlukan untuk mengetahui menyajikan informasi penelitian secara jelas mulai dari latar belakang, tujuan, metodologi, hingga hasil yang diperoleh. Selain itu, laporan juga dibutuhkan untuk mendokumentasikan proses ilmiah, sehingga penelitian dapat direplikasi atau dibandingkan dengan penelitian lain di masa depan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian pengaruh intensitas cahaya terhadap kamera dapat dilihat pada Gambar 5. Berdasarkan hasil analisis data, deteksi objek dengan menggunakan kamera dipengaruhi oleh jarak terhadap objek serta intensitas cahaya. Pada intensitas cahaya 33,3 - 46,61 lux, objek dapat terdeteksi hingga jarak 315 cm, sedangkan pada intensitas cahaya yang lebih tinggi, yaitu 62,4 - 74,5 lux, deteksi objek mulai menurun pada jarak 265 cm dan tidak terdeteksi setelah jarak tersebut.

Grafik garis menunjukkan bahwa pada kedua tingkat pencahayaan, deteksi objek masih optimal pada jarak pendek hingga menengah, namun mengalami penurunan setelah melewati batas jarak tertentu. Hal ini terlihat dari perubahan status "terdeteksi" menjadi "tidak terdeteksi" pada jarak yang lebih jauh.

Hasil ini menunjukkan bahwa pencahayaan yang lebih tinggi tidak selalu meningkatkan kemampuan deteksi objek, terutama pada jarak yang lebih jauh. Faktor lain seperti refleksi cahaya dan kontras terhadap latar belakang kemungkinan turut mempengaruhi hasil deteksi. Oleh karena itu, dalam implementasi sistem pengenalan objek menggunakan kamera, penting untuk mempertimbangkan faktor pencahayaan dan batas jarak optimal agar hasil yang diperoleh lebih akurat dan andal.



Gambar 5. Pengaruh Jarak dan Intensitas Cahaya terhadap Deteksi Objek.

Sementara untuk mengetahui kemampuan *trolly* saat mengangkut beban, maka kondisi tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Kecepatan Motor Saat Membawa Beban.

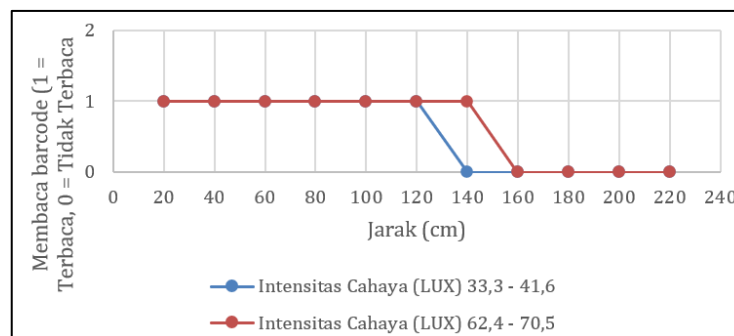
Berat Beban (Kg)	Waktu (s)	Kecepatan (cm/s)	
		PWM = 180	PWM = 255
0	10	24,1	30,92
3	10	23,01	28,36
6	10	21,4	25,84
9	10	20	23,71
12	10	18,56	21,44
15	10	0	20,6
18	10	0	19,55
21	10	0	0

Analisis data menunjukkan bahwa kecepatan motor menurun seiring dengan bertambahnya berat beban yang dibawa. Pada kondisi PWM 180, motor mengalami penurunan kecepatan secara bertahap, dari 24,1 cm/s saat tanpa beban menjadi 18,56 cm/s pada beban 12 kg. Ketika beban mencapai 15 kg, motor tidak lagi mampu bergerak, yang ditunjukkan dengan kecepatan 0 cm/s. Sementara itu, pada PWM 255, motor masih mampu bergerak hingga beban 18 kg dengan kecepatan 19,55 cm/s, tetapi akhirnya berhenti sepenuhnya pada beban 21 kg.

Perbandingan antara kedua kondisi PWM menunjukkan bahwa peningkatan PWM dari 180 ke 255 menghasilkan kecepatan yang lebih tinggi pada setiap tingkat beban. Namun, meskipun PWM 255 memungkinkan motor bergerak lebih lama dibandingkan PWM 180, motor tetap memiliki batas maksimum beban yang dapat diangkat. Semakin berat beban yang diberikan, perbedaan kecepatan antara kedua PWM semakin kecil, terutama ketika mendekati batas maksimum operasional motor.

Hasil analisis ini mengindikasikan bahwa daya yang diberikan melalui PWM berpengaruh signifikan terhadap performa motor dalam mengangkut beban. Namun, terdapat titik kritis di mana peningkatan daya tidak lagi cukup untuk mengatasi pengaruh beban, sehingga motor berhenti bergerak. Oleh karena itu, dalam aplikasi yang membutuhkan pengangkutan beban lebih besar, diperlukan peningkatan daya lebih lanjut atau pemilihan motor dengan spesifikasi yang lebih tinggi agar tetap dapat beroperasi secara optimal.

Pada pembacaan *barcode* menggunakan *Pixy CMUCam5*, *barcode* dapat dibaca dengan baik. Gambar 6., menunjukkan hubungan antara jarak dan kemampuan membaca *barcode* pada dua tingkat intensitas cahaya yang berbeda, yaitu 33,3 - 41,6 lux (garis biru) dan 62,4 - 70,5 lux (garis oranye). Pada intensitas cahaya yang lebih tinggi (62,4 - 70,5 lux), *barcode* dapat terbaca hingga jarak sekitar 140 cm, sementara pada jarak di atas 140 cm *barcode* tidak lagi terbaca. Sebaliknya, pada intensitas cahaya yang lebih rendah (33,3 - 41,6 lux), *barcode* hanya dapat terbaca hingga jarak 120 cm, dan setelahnya *barcode* tidak terbaca. Hal ini menunjukkan bahwa intensitas cahaya yang lebih tinggi memungkinkan pembacaan *barcode* pada jarak yang lebih jauh dibandingkan dengan intensitas cahaya yang lebih rendah. Dengan demikian, cahaya yang lebih terang meningkatkan jarak maksimum pembacaan *barcode*, sementara cahaya yang lebih redup membatasi kemampuan membaca *barcode* pada jarak yang lebih pendek.



Gambar 6. Pengaruh Jarak dan Intensitas Cahaya terhadap Pembacaan *Barcode*.

Untuk hasil pengujian troli saat berjalan dapat dilihat dari pada Tabel 2. Dari data yang diperoleh dapat diketahui bahwa troli dapat berjalan dengan baik, baik itu dalam berjalan maju, berhenti, belok kanan maupun belok kiri.

Tabel 2. Hasil Pengujian Troli Saat Berjalan.

No	Pergerakan Troli	Keterangan
1	Maju	Berhasil
2	Belok Kanan	Berhasil
3	Belok Kiri	Berhasil
4	Berhenti	Berhasil

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data, dapat disimpulkan bahwa deteksi objek menggunakan kamera sangat dipengaruhi oleh jarak dan intensitas cahaya. Pada intensitas cahaya rendah (33,3 - 46,61 lux), objek dapat terdeteksi hingga jarak 315 cm, namun pada intensitas cahaya yang lebih tinggi (62,4 - 74,5 lux), kemampuan deteksi objek menurun pada jarak 265 cm. Peningkatan intensitas cahaya tidak selalu meningkatkan kemampuan deteksi objek, terutama pada jarak jauh, karena faktor lain seperti refleksi cahaya dan kontras latar belakang juga mempengaruhi hasil deteksi. Dalam hal pengangkutan beban, kecepatan motor menunjukkan penurunan seiring bertambahnya berat beban. Pada kondisi PWM 180, motor berhenti pada beban 15 kg, sedangkan pada PWM 255, motor masih dapat bergerak dengan kecepatan 19,55 cm/s hingga beban 18 kg, namun berhenti pada beban 21 kg. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan PWM dapat meningkatkan kecepatan motor, namun terdapat batas maksimal beban yang dapat diangkut oleh motor, yang mengindikasikan perlunya pemilihan motor dengan spesifikasi lebih tinggi untuk aplikasi pengangkutan beban berat. Selain itu, pembacaan *barcode* menggunakan *Pixy CMUCam5* juga dipengaruhi oleh intensitas cahaya, di mana pada cahaya lebih terang (62,4 - 70,5 lux), *barcode* dapat terbaca hingga jarak 140 cm, sementara pada cahaya lebih redup (33,3 - 41,6 lux), jarak pembacaan terbatas hanya hingga 120 cm. Hasil ini menegaskan bahwa pencahayaan yang lebih terang meningkatkan jarak pembacaan *barcode*, sedangkan pencahayaan rendah membatasi kemampuan tersebut. Terakhir, pengujian pergerakan troli menunjukkan bahwa troli dapat bergerak dengan baik, baik itu maju, belok kanan, belok kiri, maupun berhenti, yang menunjukkan bahwa sistem penggerak troli berfungsi optimal dalam kondisi pengujian yang diberikan. Secara keseluruhan, hasil-hasil pengujian ini menunjukkan pentingnya pencahayaan yang cukup untuk deteksi objek dan pembacaan *barcode*, serta pemilihan motor dengan spesifikasi yang sesuai agar dapat mengangkut beban dengan optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Lovita and R. Mukhaiyar, "Rancang bangun troli otomatis berbasis computer vision," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 3, no. 2, pp. 399–406, 2022.
- [2] P. Muliandhi, A. K. Nugroho, and E. B. Aji Jr, "Otomatisasi Sistem Bagasi Terminal Internasional Di Bandar Udara Jenderal Ahmad Yani Semarang," *Techné J. Ilm. Elektrotek.*, vol. 22, no. 2, pp. 305–318, 2023.
- [3] D. O. D. O. Arza, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Robot Troli Agv Menggunakan Rfid Pada Industri," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 3S1, 2024.
- [4] A. Yulianto and V. Vandila, "Implementasi Segmentasi HSV dan Fuzzy Logic Controller pada Kontrol Pergerakan Troli Pengikut Otomatis," *Telcomatics*, vol. 7, no. 2, pp. 80–91, 2022.
- [5] A. Azis, E. Emidiana, and F. Azukruf, "Perancangan Prototipe Robot Pembawa Barang Otomatis Berbasis Arduino Uno DIP dengan Sensor Ultrasonic," *Elektrika*, vol. 15, no. 1, pp. 29–38, 2023.
- [6] S. Sunardi, M. R. Fazal, A. Febriansyah, A. M. Soleh, P. Parjan, and H. Prayitno, "Human Following Robot Berbasis IoT untuk Otomatisasi Troli: Meningkatkan Pembelajaran dalam Mata Kuliah Airport Automation," *J. Konseling dan Pendidik.*, vol. 12, no. 4, pp. 374–393, 2024.
- [7] M. Amangesti, D. Puspita, S. Sulaeman, and M. C. Rijal, "Rancang Bangun Troli Pengikut Objek Otomatis," in *Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI)*, 2023, pp. 189–194.
- [8] W. Fadlun, "Desain Kendali Proportional Integral Derivative (Pid) Pada Robot Human Follower," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 1, 2024.
- [9] T. Wahyuni, W. Rohmanudin, and A. Bastian, "Pengembangan Prototipe Troli Otomatis Menggunakan Arduino Uno R3 Berbasis Android," *J-ENSITEC*, vol. 7, no. 02, pp. 535–539, 2021.
- [10] S. Syaifulloh, R. Ritzkal, and A. H. Hendrawan, "Purwarupa Mobile Robot Dengan Sensor Kamera Menggunakan Sistem Kendali Smartphone Dan (Gps)," *J. Inov. Inov. Teknol. Inf. dan Inform.*, vol. 3, no. 1, pp. 11–18, 2020.
- [11] T. H. Nasution, A. Simon, F. Fahmi, K. Tanjung, M. Zarlis, and N. Noer, "Analysis of the use of CMUCam5 Pixy camera in wheeled soccer robots," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, p. 12034.
- [12] S. D. Perkasa, P. Megantoro, and H. A. Winarno, "Implementation of a camera sensor pixy 2 CMUCam5 to a two wheeled robot to follow colored object," *J. Robot. Control*, vol. 2, no. 6, pp. 469–501, 2021.
- [13] T. Herlambang, A. Suryowinoto, M. Zakaria, and B. P. Tomasouw, "Developing Design Of Automatic Egg Quality Detector Using Roi And Rgb Template Methods," *BAREKENG J. Ilmu Mat. dan Terap.*, vol. 16, no. 2, pp. 569–582, 2022.

- [14] R. SATRIATAMA, D. DARLIS, and P. PANGARIBUAN, “Sistem Kontrol Troli Rotari Sebagai Tempat Penitipan Barang Otomatis Menggunakan Fuzzy Logic,” *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 8, no. 3, p. 575, 2020.
- [15] T. T. Hin et al., “Semi-Autonomous Trolley Cart,” in *Journal of Physics: Conference Series*, 2021, p. 12064.