

PENGENDALIAN AGV MENGGUNAKAN RASPBERRY PI DAN MOTOR DC DENGAN SISTEM PENGENALAN LINTASAN MENGGUNAKAN KAMERA DAN SENSOR INFRAMERAH

Edwin Marulitua^{*)} dan Florentinus Budi Setiawan

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Katolik
Soegijapranata Jl. Pawiyatan Luhur IV/1, Semarang 50234, Indonesia

^{*)}E-mail: edwinmarulitua@gmail.com

Abstrak

Automated Guided Vehicle (AGV) adalah robot otonom yang dirancang untuk memindahkan barang secara otomatis dalam lingkungan industri. Penelitian ini bertujuan untuk merancang AGV yang menggunakan motor DC sebagai penggerak utama serta dilengkapi dengan kamera dan sensor inframerah untuk mendeteksi lintasan dan menghindari rintangan. Raspberry pi digunakan sebagai unit pengontrol utama untuk memproses data dari sensor inframerah dan kamera, sehingga memungkinkan navigasi robot secara mandiri dan efisien. Hasil pengujian menunjukkan bahwa AGV ini mampu bergerak dengan akurasi tinggi, dan berperan penting dalam meningkatkan efisiensi operasional di sektro manufaktur, terutama dalam hal penghematan waktu dan tenaga kerja.

Kata kunci: AGV, Kamera, Sensor inframerah, Motor DC, Raspberry Pi

Abstract

Automated Guided Vehicle (AGV) is an autonomous robot designed to move goods automatically in industrial environments. This research aims to design an AGV that uses a DC motor as the main driver and is equipped with a camera and infrared sensor to detect trajectories and avoid obstacles. The Raspberry Pi is used as the main controller unit to process data from infrared sensors and cameras, thereby enabling autonomous and efficient robot navigation. Test results show that this AGV is capable of moving with high accuracy, and plays an important role in increasing operational efficiency in the manufacturing sector, especially in terms of saving time and labor.

Keywords: AGV, Camera, Sensor inframerah, Motor DC, Raspberry Pi

1. Pendahuluan

Dalam era kemajuan teknologi saat ini, banyak perusahaan tengah bersaing untuk menciptakan robot yang dapat membantu pekerjaan manusia, khususnya dalam upaya meningkatkan efisiensi waktu dan tenaga pada proses produksi [1], [2]. Salah satu contoh robot yang sedang dalam tahap pengembangan di sektor industri adalah Automated Guided Vehicle (AGV) atau kendaraan kendali otomatis. AGV (Automated Guided Vehicle) telah banyak digunakan sebagai untuk mengenali kendaraan yang memiliki kemampuan bergerak dan melaksanakan tugas-tugas tertentu secara mandiri tanpa memerlukan bantuan dari operator [3], [4]. Jenis AGV yang banyak diterapkan adalah AGV line follower dan banyak dunia industri menggunakan sistem AGV dengan bantuan jalur berupa garis warna, jalur magnet, atau laser [5][6][7]. Dengan sistem yang bergerak dari satu lokasi ke lokasi lainnya dengan bantuan panduan jalur yang terletak sepanjang rute AGV. Model navigasi menggunakan panduan jalur ini umumnya digunakan untuk sistem AGV yang sederhana [8].

Terdapat sistem navigasi AGV yang mendeteksi jalur menggunakan sensor garis berupa photodiode yang tersusun dari sejumlah LED. Dengan metode pembacaan jalur menggunakan sensor garis pada AGV dapat dipastikan jika ada salah satu LED yang mati maka akan terjadi error pada pembacaannya [9]. Dalam perkembangan metode CNN (Convolutional Neural Network) memiliki metode yang dilakukan dengan percobaan berdasarkan banyaknya dataset. Dalam metode CNN (Convolutional Neural Network) ini dipastikan membutuhkan banyak percobaan dataset sesuai yang diinginkan maka dari itu untuk meningkatkan efisiensi dalam merancang robot AGV yang dilengkapi kamera menggunakan metode HSV. Yang tidak membutuhkan banyak dataset dalam tahap uji coba robot AGV [10], [11]. Penelitian sebelumnya dalam menerapkan sistem AGV masih menggunakan Arduino dan belum dilengkapi proses pengolahan citra gambar. Yang diketahui penggunaan arduino masih kurang dalam proses pengolahan citra gambar [9]. Permasalahan ini menjadi penghambat yang signifikan dalam hal waktu dan biaya jika diimplementasikan dalam dunia industri. Oleh karena itu,

tujuan dari penelitian ini untuk mengembangkan AGV dengan memanfaatkan Raspberry Pi 4, yang memiliki kemampuan dalam memproses gambar secara real-time dengan cepat dan akurat. Karena itu, penerapan pengolahan citra dapat dijalankan pada sistem AGV sehingga dapat beroperasi dengan [12].

Pada umumnya penelitian sistem robot AGV yang diciptakan banyak yang masih menggunakan sensor infrared. Maka dari itu penelitian ini bertujuan untuk membahas mengenai sistem robot AGV yang dilengkapi dengan proses image processing. Dalam proses image processing bisa mengolah data berupa object detection [13]. Yang bisa mendeteksi wajah, warna, dan bentuk gambar [14]. Dengan sistem penggerak 4WD pada AGV dan dilengkapi camera untuk proses image processing. Pada sistem AGV ini menggunakan Arduino untuk pengaturan kecepatan motor DC dan mengatur gerak motor servo [9]. Untuk proses image processing menggunakan Raspberry Pi 4B. Komponen kamera berperan penting untuk mengambil gambar berupa video menggunakan Raspberry Pi Camera V2, sehingga penerapannya menjadi lebih mudah [15].

2. Metode

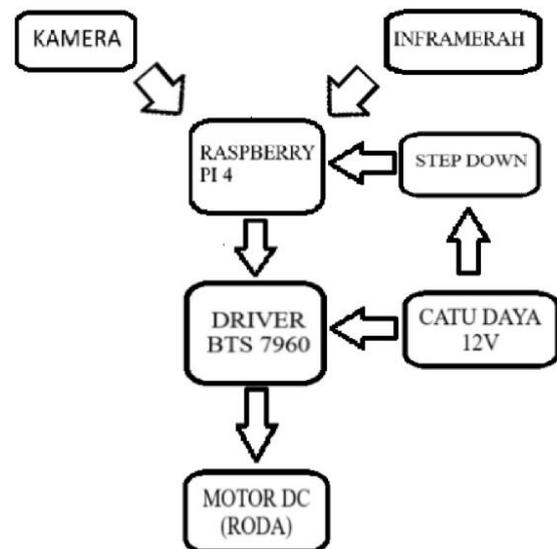
Di era kemajuan teknologi saat ini, banyak perusahaan yang berlomba-lomba mengembangkan robot yang dapat membantu pekerjaan manusia, terutama untuk meningkatkan efisiensi waktu dan tenaga dalam proses produksi [1], [2]. Salah satu robot yang saat ini sedang dikembangkan di bidang industri adalah Automated Guided Vehicle (AGV). AGV (Automated Guided Vehicle) banyak digunakan untuk mengidentifikasi kendaraan yang dapat bergerak secara mandiri dan melakukan tugas tertentu tanpa memerlukan bantuan operator [3], [4].

Jenis AGV yang paling banyak digunakan adalah AGV line follower. Banyak industri yang menggunakan sistem AGV dengan dukungan jalur berupa garis berwarna, garis medan magnet, atau laser [5] [6] [7]. Sebuah sistem yang menggunakan pemandu rel di sepanjang rute AGV untuk berpindah dari satu lokasi ke lokasi lain. Model navigasi dengan panduan jalur ini umumnya digunakan untuk sistem AGV sederhana [8].

Terdapat sistem navigasi AGV yang menggunakan sensor garis berupa fotodiode yang terdiri dari beberapa LED untuk mendeteksi jalur. Dalam hal metode pembacaan menggunakan sensor garis AGV, kesalahan pembacaan dapat ditentukan segera setelah LED padam [9]. Pengembangan metode CNN (Convolutional Neural Network) dilakukan dengan menggunakan eksperimen berdasarkan jumlah dataset yang banyak. Metode CNN (Convolutional Neural Network) tentunya membutuhkan banyak kumpulan data eksperimental [10], [11].

Penelitian sebelumnya untuk mengimplementasikan sistem AGV masih menggunakan Arduino dan belum dilengkapi dengan pengolahan gambar. Diketahui pada penggunaan Arduino pengolahan gambar masih kurang dan memerlukan pengolahan yang cukup lama. Masalah ini menimbulkan kendala waktu dan biaya yang besar ketika diterapkan di industri. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan sebuah AGV yang dapat mengolah gambar secara real time, kecepatan tinggi, dan akurat menggunakan Raspberry Pi 4. Oleh karena itu, aplikasi pengolah citra dapat dijalankan pada sistem AGV dan diperbolehkan berinteraksi dengan sistem AGV [12].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membahas sistem AGV dengan kamera dan sensor infra merah. Dalam proses pengolahan citra, data dapat diolah berupa pengenalan objek [13]. Hal ini memungkinkan pengenalan wajah, warna, dan bentuk dalam gambar [14]. AGV dilengkapi dengan sistem penggerak AWD serta dilengkapi dengan kamera dan sensor infra merah. Sistem AGV ini menggunakan Raspberry Pi 4B untuk mengatur kecepatan motor DC. Raspberry Pi 4B digunakan untuk pengolahan gambar dan sensor infra merah. Pada saat pengambilan gambar berupa video dengan menggunakan kamera web, komponen kamera memegang peranan penting dan memudahkan pelaksanaannya [15].



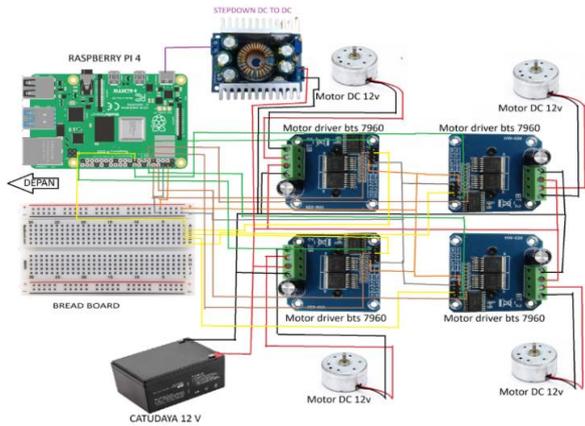
Gambar 1. Diagram Blok Sistem AGV

Gambar 1 merupakan diagram blok sistem AGV. Dengan alur kinerja sistem secara berurutan, dari catu daya untuk menghidupkan Raspberry Pi yang dilengkapi dengan Kamera dan inframerah untuk proses pengolahan citra gambar atau image processing dan mendeteksi jalur. Raspberry Pi berfungsi sebagai media programming serta berfungsi untuk menjalankan motor DC untuk berjalan maju secara AWD. Untuk menjalankan 4 motor DC yang diparalel dibutuhkan driver motor BTS7960 yang

berfungsi sebagai mengatur kecepatan motor DC. Pada bagian metode penelitian ini terdapat beberapa tahapan, yaitu meliputi perancangan sistem penggerak AGV, pola jalur AGV, proses image processing dan proses mendeteksi jalur.

2.1. Sistem penggerak AGV

Pada gambar 2 menunjukkan system penggerak AGV ini menggunakan 4 motor DC 12V sebagai penggerak utama untuk berjalan maju. Pada AGV ini, Pengaturan system steering mengandalkan motor DC tersebut. Motor DC yang diaplikasikan diberikan tegangan sebesar 12 V yang berasal dari sumber daya aki, lalu terhubung ke Raspberry. Baterai menyalurkan tegangannya juga ke Raspberry melalui stepdown dc to dc yang nilainya 12V berubah menjadi 5V. Untuk mengatur kecepatan Moto DC membutuhkan driver BTS 7960 berdasarkan nilai PWM yang telah diatur[16].



Gambar 2. wiring diagram motor

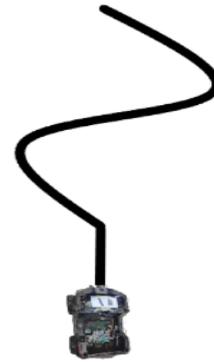
Komponen utama pada sistem penggerak AGV ini adalah Raspberry PI 4[17], untuk mendukung kinerja dari driver BTS7960. Driver BTS7960 beroperasi dengan pengaturan nilai PWM maka menghasilkan kecepatan motor DC yang diinginkan. Sistem dari AGV ini akan berjalan sesuai jalur yang ditentukan tanpa kemudi. Motor DC berjalan dengan kecepatan stabil sesuai nilai PWM yang ditentukan. Jalur yang ditentukan untuk sistem AGV ini memanfaatkan Raspberry PI 4 sebagai fungsi timer. Timer berfungsi untuk membatasi putaran roda pada saat AGV berjalan sesuai jalur. Jika timer yang diatur tidak sesuai dengan jalur yang ditentukan maka AGV akan berjalan tidak mengikuti jalur. Dari pembahasan diatas didapat persamaan untuk hasil perhitungan dari nilai PWM yang ditentukan.

$$Duty\ Cycle = \frac{t_{ON}}{(t_{ON} + t_{OFF})} \quad (1)$$

$$V_{out} = Duty\ Cycle \cdot V_m(2)$$

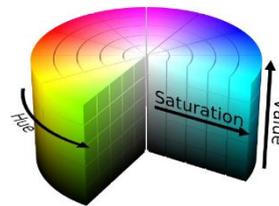
2.2. Pola jalur AGV

Pola jalur yang terbentuk pada mobil AGV ini ditunjukkan pada Gambar. Untuk membentuk pola jalur tersebut gerak motor dc yang digunakan diatur berdasarkan fungsi timer. Timer diatur sesuai panjangnya lintasan sehingga AGV berjalan sesuai jalur. Dalam menentukan program timer untuk sistem AGV ini harus tepat sehingga hasil yang diinginkan sesuai jalur lintasan yang sudah ditentukan sebelumnya.



Gambar 3. Pola Jalur AGV

2.3. Proses image Processing



Gambar 4. Komposisi HSV

Webcam digunakan sebagai komponen pengolah gambar. Kamera menangkap gambar dalam bentuk video secara real time. Saat mengambil gambar dalam format video, perangkat keras utama yang digunakan yaitu Raspberry Pi 4B. Komponen ini sudah dilengkapi dengan teknologi yang dapat melakukan pengolahan gambar[20],[22]. Kamera menggunakan proses HSV untuk melacak objek dalam satu garis. Pendeteksian objek ini melalui beberapa tahap dan hasilnya berupa filter warna HSV. Metode HSV digunakan untuk menentukan warna garis lintasan yang akan digunakan. Filter HSV digunakan untuk mendeteksi perbedaan antara warna garis lintasan dan warna permukaan[21],[23]. Untuk mendapatkan hasil filter warna HSV, ikuti beberapa langkah. Model warna HSV mencakup komponen dengan berbagai fungsi pengukuran warna. Hue menunjukkan panjang gelombang warna primer dan berkisar antara 0 hingga 255 [18]. Saturasi adalah intensitas kecerahan warna yang ditingkatkan berdasarkan nilai saturasi murni warna akhir. Nilai ini mewakili kecerahan warna, dengan 100% berarti

kecerahan maksimum dan 0% berarti kegelapan total warna. Gambaran jelas warna model HSV ditunjukkan pada gambar 4.

Nilai HSV dapat diperoleh dari konversi nilai RGB. Konversi dari RGB ke HSV dapat diperoleh dengan persamaan.

$$h = \tan \left[\frac{3(g-b)}{(r-g)+(r-b)} \right] \quad (3)$$

$$s = 1 - \left[\frac{\min(r,g,b)}{v} \right] \quad (4)$$

$$v = \frac{r+g+b}{3} \quad (5)$$

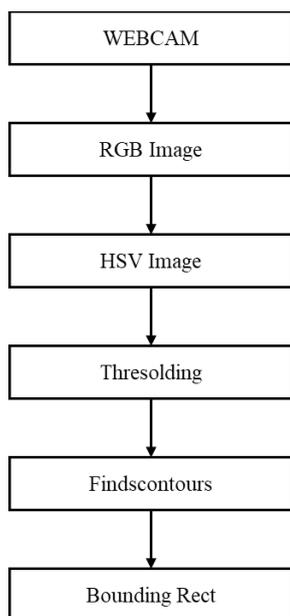
Untuk mendapatkan nilai HSV dapat dikonversi dari nilai RGB, RGB ke HSV dengan persamaan ini.

$$v = \max(R, G, B) \quad (6)$$

$$S = \begin{cases} 0 & \text{jika } v > 0 \\ v - \frac{\min(R,G,B)}{v} & \text{jika } v = 0 \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} 0 & \text{jika } s = 0 \\ \frac{60x(g-b)}{sv} & \text{jika } v = R \\ 60x \left[2 + \frac{(b-r)}{sv} \right] & \text{jika } v = G \\ 60x \left[4 + \frac{(r-g)}{sv} \right] & \text{jika } v = B \end{cases} \quad (8)$$

Dalam menggunakan filter HSV, harus dikalibrasi setiap lintasan dan kondisi pencahayaan yang berbeda-beda, jadi menggunakan fungsi ambang batas untuk menetapkan nilai HSV yang diterapkan pada sistem robot AGV.



Gambar 5. Pra-Pemrosesan Filter Warna HSV

Gambar 5 merupakan tahapan proses filter warna HSV yang digunakan untuk menghasilkan deteksi objek. Dalam proses transformasi citra, thresholding adalah salah satu teknik sederhana untuk mengubah citra dari format grayscale menjadi citra biner, yang hanya memiliki dua kemungkinan warna pixel: hitam dan putih [19]. Dalam proses thresholding, metode segmentasi citra digunakan untuk memisahkan objek dari latar belakang dalam citra berdasarkan perbedaan tingkat kecerahan mereka.

2.4. Proses Inframerah

Metode ini juga menerapkan sensor inframerah pada AGV yang dirancang untuk memungkinkan AGV mendeteksi adanya jalur dan mempertahankan navigasi yang akurat. Letak inframerah pada sistem robot AGV dibagian depan bawah AGV tersebut ada digambar 6.



Gambar 6. inframerah pada AGV

Sensor inframerah dipasang pada posisi depan bawah pada AGV untuk memungkinkan deteksi objek dan jalur. Lokasi pemasangan sensor dirancang untuk mendeteksi garis atau rintangan dengan akurasi tinggi. Sensor inframerah ini juga terhubung dengan Raspberry Pi untuk memproses data deteksi. Algoritma deteksi jalur dikembangkan menggunakan data dari sensor inframerah. Sensor ini dirancang untuk mendeteksi refleksi cahaya dari jalur yang ditandai, seperti garis hitam pada latar putih. Berdasarkan deteksi ini, sistem mengatur arah dan kecepatan AGV untuk mengikuti jalur yang sudah ditentukan.

3. Hasil dan Pembahasan

Berikut prototipe mobil AGV yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 7. Dalam pengujian alat ini dilakukan pada ruangan tertutup dengan pencahayaan yang cukup. Terdapat beberapa komponen penting yang digunakan pada pengujian alat ini yaitu Raspberry Pi 4B dengan Webcam dan Sensor Inframerah. Penggunaan Webcam ini berfungsi untuk mengikuti pola jalur AGV yang sudah ditentukan, Sensor inframerah berfungsi sebagai deteksi jalur yang sudah ditentukan. Kemudian penggunaan Raspberry Pi 4B berfungsi untuk mengoperasikan motor DC yang menggerakkan roda depan dan belakang secara AWD dengan disertai penggunaan motor dc yang berfungsi untuk steering dari mobil AGV ini.



Gambar 7. Prototipe Mobil AGV

Pada sistem mobil AGV dilakukan pengukuran sinyal PWM dengan menggunakan osiloskop. Motor DC diatur pada kecepatan stabil dengan caramengatur sinyal PWM pada Arduino Uno. Motor DC dengan kecepatan yang stabil menghasilkan sinyal PWM yang ditunjukkan pada Gambar 8. Pada kecepatan motor DC yang stabil tersebut dihasilkan sinyal PWM dengan duty cycle sebesar 24%.

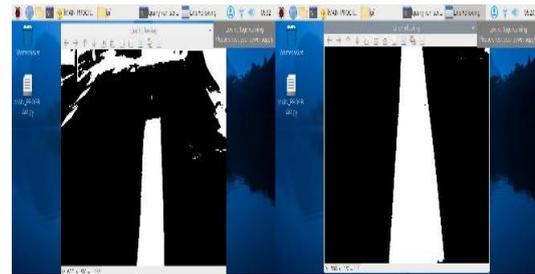


Gambar 8. Sinyal PWM

Kemudian dalam pengujian alat ini dilakukan proses uji coba filter HSV dan uji coba Inframerah.

Dalam uji coba filter ini memerlukan langkah awal dalam melakukan kalibrasi dari nilai minimum hingga maksimum, serta dari nilai maksimum hingga minimum. Dalam uji coba ini, terdapat hasil dari kalibrasi nilai minimum dan maksimum *Value*. Nilai minimum dan nilai maksimum dari uji coba filter HSV ini yaitu nilai $V_{min} = 0, 0, 0$ dan $V_{maks} = 255, 255, 255$ dari hasil nilai kalibrasi tersebut terdapat hasil nilai akhir yaitu 180, 255, 30 maka objek berupa garis dapat terdeteksi sesuai yang garis sudah ditentukan.

Tabel 1 menunjukkan uji coba thresholding *Value*. Pada Tabel 1 dimana pada proses ini untuk mengatur nilai yang sesuai sehingga ditemukan nilai yang akurat dengan menggunakan metode thresholding. Kemudian dilakukan uji coba nilai melalui perubahan nilai min ke max dan max ke min. Metode ini dilakukan untuk menentukan warna hitam maupunputih pada jalur yang sudah ditentukan.

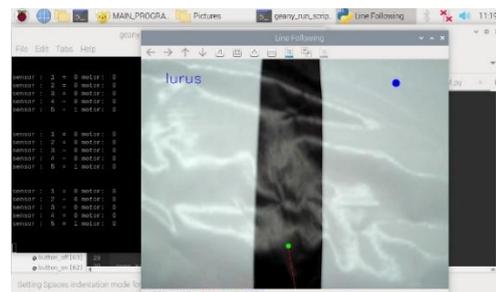


Gambar 9. Sebelum dan sudah menentukan nilai value

Tabel 1. Uji Coba Threshold Value

V_{min}	V_{max}	V_{akhir}
0	255	180
0	255	255
0	255	30

Hasil akhir dari proses thresholding dan gaussian filter menghasilkan filter warna HSV tanpa noise. Sehingga filter HSV yang digunakan untuk mendeteksi objek berupa garis menghasilkan output yang sesuai dengan jalur yang ditentukan. Gambar 10 merupakan gambar dan hasil tracking.



Gambar 10. Hasil Tracking

Pada gambar 11 terjadi uji coba line follower. Percobaan tersebut menghasilkan nilai baca sensor inframerah



Gambar 11. Uji coba Inframerah pada AGV

Dari pengujian tersebut menghasilkan nilai pada tabel 2.

Pada tabel 2 menunjukkan percobaan sensor 1 sampai 5 belum dapat menghasilkan nilai baca garis dengan baik dan menghasilkan error pada sensor tersebut dan menjelaskan bahwa robot belum bisa di gunakan.

Tabel 2. hasil sebelum pengujian sensor inframerah

Percobaan	Jarak (cm)	Sensor 1		Sensor 2		Sensor 3		Sensor 4		Sensor 5	
		Hit	Putih								
		1	0	1	0	0	1	1	0	0	1
2	2	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0
3	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabel 3. hasil sesudah pengujian sensor inframerah

Percobaan	Jarak (cm)	Sensor 1		Sensor 2		Sensor 3		Sensor 4		Sensor 5	
		Hit	Putih								
		1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
3	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Pada tabel 3. menjelaskan nilai baca garis angka 0 AGV dapat berjalan dengan baik dan angka 1 menjelaskan robot tidak berjalan.

Tabel 4. pengujian sensor

Percobaan	Jarak (cm)	HASIL PENGUJIAN		Keterangan
		Lantai	Banner	
		1	0	
2	2	√	√	Terdeteksi
3	5	x	x	Tidak Terdeteksi

Tabel 4 Menjelaskan hasil dari pengujian jarak antara sensor inframerah dengan permukaan lantai atau banner dapat terdeteksi hanya jarak 2 cm.

4. Kesimpulan

Dalam uji coba dan analisis, berhasil merancang prototipe mobil AGV sesuai dengan pengendalian AGV menggunakan raspberry pi dan motor dc dengan sistem AGV pengenalan lintasan menggunakan kamera dan sensor inframerah. Pemrosesan citra dengan metode HSV digunakan sebagai mengikuti alur lintasan, serta menggunakan sensor infrared sebagai pendeteksi adanya lintasan, memungkinkan mobil AGV mengikuti alur lintasan dengan baik. Ambang batas dari kalibrasi mengizinkan metode HSV hanya menggunakan value sebagai mengolah objek lintasan jalan secara efektif dengan rentang nilai $V_{min} = 0,0,0$, $V_{max} = 255,255,255$, $V_{akhir} = 180,255,30$. Hasil menunjukkan pendekatan HSV efektif dalam mengikuti lintasan yang akan digunakan. Proses ini juga melibatkan sensor inframerah yang bertujuan untuk mendeteksi adanya lintasan yang ingin digunakan. Ambang batas pemrosesan inframerah hanya berjarak 2 cm dari permukaan lintasan. Proses ini melibatkan Raspberry untuk transmisi data dari kamera maupun sensor inframerah dan mewujudkan visualisasi gambar real-time. Driver BTS7960 berfungsi baik. Saat lintasan lurus 4 motor dc akan aktif secara bersamaan. Saat belok penggerak akan secara otomatis terpecah menjadi dua bagian. Jika berbelok

kekanan maka motor dc depan dan belakang sebelah kiri akan aktif dan motor dc depan maupun belakang kanan tidak akan aktif, begitu juga jika berbelok kekiri maka motor dc depan dan belakang sebelah kanan akan aktif dan motor dc depan maupun belakang sebelah kiri tidak akan aktif. Program dibuat dan diteliti menunjukkan akurasi tinggi dan hampir tanpa kesalahan dalam deteksi lintasan. Penelitian berfokus pada penerapan industri dengan tujuan menerapkan teknologi ini pada mobil AGV di lingkungan industri.

Referensi

- [1]. F. B. Setiawan, O. J. Aldo Wijaya, L. H. Pratomo, and S. Riyadi, "Sistem Navigasi Automated Guided Vehicle Berbasis Computer Vision dan Implementasi pada Raspberry Pi," *Jurnal Rekayasa ElektriKa*, vol. 17, no. 1, pp. 7–14, 2021, doi: 10.17529/jre.v17i1.18087.
- [2]. M. De Ryck, M. Versteyshe, and F. Debrouwere, "Automated guided vehicle systems, state-of-the-art control algorithms and techniques," *J Manuf Syst*, vol. 54, no. December 2019, pp. 152–173, 2020, doi: 10.1016/j.jmsy.2019.12.002.
- [3]. Sumardi, M. Taufiqurrahman, and M. A. Riyadi, "Street mark detection using raspberry pi for self-driving system," *Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, vol. 16, no. 2, pp. 629–634, 2018, doi: 10.12928/TELKOMNIKA.v16i2.4509.
- [4]. C. Liu, J. Tan, H. Zhao, Y. Li, and X. Bai, "Path planning and intelligent scheduling of multi-AGV systems in workshop," *Chinese Control Conference, CCC*, pp. 2735–2739, 2017, doi: 10.23919/ChiCC.2017.8027778.
- [5]. B. Xu and D. Wang, "Magnetic Locating AGV Navigation Based on Kalman Filter and PID Control," *Proceedings 2018 Chinese Automation Congress, CAC 2018*, pp. 2509–2512, 2019, doi: 10.1109/CAC.2018.8623691.
- [6]. S. H. Bach and S. Y. Yi, "An Efficient Approach for Line-Following Automated Guided Vehicles Based on Fuzzy Inference Mechanism," *Journal of Robotics and Control (JRC)*, vol. 3, no. 4, pp. 395–401, 2022, doi: 10.18196/jrc.v3i4.14787.
- [7]. Á. Cservenák, "Motion Planning for Automated Guided Vehicle," *Acta Technica Corviniensis - Bulletin of Engineering*, vol. 11, no. 4, pp. 33–38, 2018, [Online]. Available: https://search.proquest.com/docview/2132669330?accountid=26540%0Ahttp://link.periodicos.capes.gov.br/sfx/141?url_ver=Z39.88-2004&rft_val_fmt=info:ofi/fmt:kev:mtx:journal&genre=article&sid=ProQ:ProQ%3Aengineeringjournals&atitle=MOTION+PLANNING+FOR+AUTOMAT
- [8]. A. Khedkar, K. Kajani, S. Banthia, B. N. Jagdale, M. Kulkarni, and B. E. Student, "Automated Guided Vehicle System with Collision Avoidance and Navigation in Warehouse Environments," *International Research Journal of Engineering and Technology*, no. May, pp. 5442–5448, 2020, [Online]. Available: www.irjet.net

- [9]. F. Irsyadi, D. N. Pratomo, S. Julianto, M. S. Anwar, and A. A. Paripurna Barus, "Desain dan Implementasi Sistem Navigasi pada Automated Guided Vehicle (AGV)," *Jurnal Listrik, Instrumentasi dan Elektronika Terapan (JuLIET)*, vol. 2, no. 1, 2021, doi: 10.22146/juliet.v2i1.64830.
- [10]. Ajib Susanto, Yupie Kusumawati, Ericsson Dhimas Niagara, and Christy Atika Sari, "Convolutional Neural Network Dalam Sistem Deteksi Helm Pada Pengendara Motor," *Seminar Nasional Teknologi dan Multidisiplin Ilmu (SEMNASTEKMU)*, vol. 2, no. 1, pp. 91–99, 2022, doi:10.51903/semnastekmu.v2i1.158.
- [11]. J. Naranjo-Torres, M. Mora, R. Hernández-García, R. J. Barrientos, C. Fredes, and A. Valenzuela, "A review of convolutional neural network applied to fruit image processing," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 10, no. 10, 2020, doi: 10.3390/app10103443.
- [12]. K. Selvaraj, S. Alagarsamy, and M. Dhilipkumar, "Raspberry Pi based automatic door control system," *2021 3rd International Conference on Signal Processing and Communication, ICPSC 2021*, no. May, pp. 652–656, 2021, doi: 10.1109/ICSPC51351.2021.9451687.
- [13]. G. Chandan, A. Jain, and H. Jain, "Proceedings of the 3rd International Conference on Inventive Research in Computing Applications, ICIRCA 2021," *Proceedings of the 3rd International Conference on Inventive Research in Computing Applications, ICIRCA 2021*, no. Icirca, pp. 1305–1308, 2021.
- [14]. H. M. Ahmed and R. T. Rasheed, "A Raspberry PI Real-Time Identification System on Face Recognition," *Proceedings of 2020 1st Information Technology to Enhance E-Learning and other Application Conference, IT-ELA 2020*, pp. 89–93, 2020, doi: 10.1109/IT-ELA50150.2020.9253107.
- [15]. G. Anand and A. K. Kumawat, "Object detection and position tracking in real time using Raspberry Pi," *Mater Today Proc*, vol. 47, no. xxxx, pp. 3221–3226, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.06.437.
- [16]. Fazri E, I. H. (2024). *Pembangunan Rest API untuk Pengelolaan Rute Robot AGV di PT XYZRest API Development for AGV Robot Route Management at PT XYZ. Pembangunan Reast API*. (n.d.). From www.researchgate.
- [17]. Akkharachai Kosiyaturak, N. P. (2024). *Estimated Mathematical Model for Controlling Distance of AGVs with Differential Drive Systems*.
- [18]. Y.N.Zhoa, Y. (2023). *Intelligent Scheduling of AGV Based on Adaptive Traffic Control System Theory in Automated Terminal*.
- [19]. A. Aqthobilrobbany, A. N. Handayani, D. Lestari, Muladi, R. A. Asmara, and O. Fukuda, "HSV Based Robot Boat Navigation System," *CENIM 2020 - Proceeding: International Conference on Computer Engineering, Network, and Intelligent Multimedia 2020*, pp. 269–273, 2020, doi: 10.1109/CENIM51130.2020.9297915.
- [20]. Muhammad Dandi, M. P. (2024). *Implementasi Algoritma Pengolahan Citra dan Algoritma Jaringan Syaraf Tiruan pada Prototipe Mobil Otonom Berbasis Raspberry Pi*.
- [21]. Fitra Triatmojo, B. S. (2018). *Robot Pengikut Posisi dengan Menggunakan Filter Warna HSV*.
- [22]. M. Zikri Andrekhal and Yasdinul Huda, "Deteksi Warna Manggis Menggunakan Pengolahan Citra dengan Opencv Python," *Jurnal Vocational Teknik Elektronika dan Informatika Vol. 9, No. 4, Desember 2021*
- [23]. Ezra, Sistem Object Tracking pada Quadcopter Menggunakan Segmentasi Citra dengan Deteks Warna HSV dan Metode Regresi Linier Berbasis Raspberry Pi, 2022)