

Perancangan Automated Guided Vehicle Menggunakan Penggerak Motor DC dan Motor Servo Berbasis Raspberry Pi 4

Florentinus Budi Setiawan, Yosia Yovie Christian Wibowo, Leonardus Heru Pratomo, dan Slamet Riyadi
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Soegijapranata
Jl. Pawiyatan Luhur IV/1, Semarang 50234
e-mail: f.budi.s@unika.ac.id

Abstrak—Pengaruh dari revolusi industri 4.0 menghasilkan perubahan yang sangat signifikan. Perusahaan-perusahaan banyak bersaing menghasilkan robot-robot yang memudahkan pekerjaan manusia, dilihat dari segi tenaga maupun waktu pada proses produksi barang. Robot yang sedang dikembangkan salah satunya yaitu *Automated Guided Vehicle* (AGV) yang merupakan kendaraan dengan kendali otomatis. AGV memiliki akurasi tinggi, perawatan mudah, dan memiliki operasi waktu yang panjang. Pada penelitian ini membahas desain dan implementasi AGV menggunakan 2 motor. Motor depan menggunakan motor servo digunakan untuk *steering* belok kanan dan belok kiri sedangkan motor belakang berupa motor DC digunakan untuk mengatur kecepatan AGV. Sistem pergerakan AGV dikontrol dengan *computer vision*. Permasalahan AGV yang dijumpai adalah jarak pembacaan kamera yang dekat sehingga untuk pembacaan terjadi kendala. Hal ini dapat diselesaikan dengan kamera yang terhubung raspberry pi mampu menangkap tulisan maupun gambar dengan jarak 100 cm. Penggunaan *computer vision* membuat robot AGV mudah melakukan pergerakan. Dalam penelitian ini akurasi pergerakan robot AGV terhadap pola lintasan memiliki selisih sudut rata-rata 3.09° . Dengan selisih sudut tersebut menandakan *error* kecil sehingga AGV dapat beroperasi secara optimal. Pada aplikasi lapangan, AGV ini dimanfaatkan pada industri manufaktur untuk memindahkan barang. Oleh karena itu, penggunaan AGV sangat dibutuhkan karena memiliki akurasi tinggi dan *error* kecil.

Kata kunci: *robot, agv, sistem pergerakan, computer vision, raspberry pi*

Abstract—The influence of the industrial revolution 4.0 resulted in very significant changes. Many companies compete to produce robots that facilitate human work, in terms of energy and time in the process of producing goods. One of the robots being developed is the *Automated Guided Vehicle* (AGV), a vehicle with automatic control. AGV has high accuracy, easy maintenance, and a long operating time. This study discusses the design and implementation of AGV using 2 motors. The front motor using a servo motor is used for steering to turn right and turn left, while the rear motor in the form of a DC motor is used to regulate the speed of the AGV. The AGV movement system is controlled by computer vision. The AGV problem encountered is that the camera reading distance is close, which makes it less efficient in industrial use. This problem can be solved with a camera connected to a raspberry pi capable of capturing text and images from a distance of 100 cm. The use of computer vision makes the AGV robot easy to move. In this study, the accuracy of the movement of the AGV robot to the trajectory pattern has an average angle difference of 3.09° . The difference in the angle indicates a small error so that the AGV can operate optimally. Infield applications, this AGV is used in the manufacturing industry to move goods. Therefore, the use of AGV is needed because it has high accuracy and small error.

Keywords: *robots, agv, locomotion systems, computer vision, raspberry pi*

I. PENDAHULUAN

Pengaruh dari revolusi industri 4.0 menghasilkan perubahan yang signifikan [1]. Perusahaan-perusahaan banyak bersaing menghasilkan robot-robot yang memudahkan pekerjaan manusia, dilihat dari segi tenaga maupun waktu pada proses produksi barang. Robot yang saat ini diminati salah satunya yaitu *Automated Guided Vehicle* (AGV) yang merupakan kendaraan dengan kendali otomatis [2]. Kelebihan AGV memiliki akurasi

yang tinggi, perawatan mudah, dan memiliki operasi waktu yang panjang [3].

Terdapat beberapa jenis AGV yaitu AGV dengan mengikuti garis menggunakan sensor yang bergerak sesuai dengan jalur yang ditentukan. Dimana posisi AGV akan berpindah dari tempat menggunakan *path guidance*. *Path guidance* ini berupa garis yang dipasang sepanjang jalur yang bermagnet, jalur berwarna, dan laser. Sistem pergerakan pada *path guidance* dimanfaatkan untuk robot AGV yang sederhana [4]. Penelitian sebelumnya

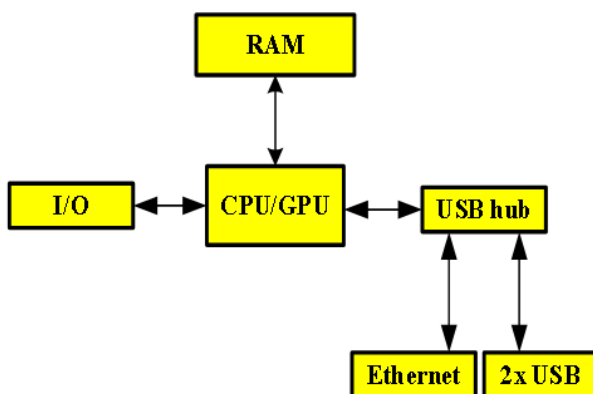
yang dilakukan dalam proses pengontrolan AGV masih menggunakan Arduino dan ATMEGA yang masih minim dalam proses pengolahan citra gambar dan memiliki proses yang lama. Permasalahan ini tentunya menghambat dari segi waktu maupun biaya jika diterapkan pada dunia industri. Hal-hal yang menjadi pertimbangan dari kami adalah mengembangkan AGV dengan menggunakan Raspberry Pi 4 yang mampu mengolah gambar *real time* secara cepat dan akurat dengan memanfaatkan *library computer vision* [5]. Sehingga dalam proses *image processing* dapat meminimalisir *noise* sehingga AGV dapat beroperasi dengan maksimal.

Penelitian ini membahas tentang sistem pergerakan robot AGV. Bagian 2 roda depan menggunakan motor servo untuk *steering*. Sedangkan pada 2 roda bagian belakang berupa motor DC berguna untuk berjalan maju. Dengan *computer vision* mampu mengatur pergerakan AGV secara otomatis dari proses *scanning* gambar maupun pergerakannya [6]. Komponen penting yang mampu untuk pengolahan data adalah Raspberry Pi, berfungsi sebagai komputer pengolah data [7]. Berukuran kecil tetapi mempunyai performa mesin yang mumpuni, serta dapat dipakai untuk mengolah gambar. Selain itu Raspberry Pi terdapat *port* GPIO yang diperlukan guna menghubungkan motor servo maupun perangkat lainnya [8]. Komponen kamera juga diperlukan untuk dapat mengambil gambar menggunakan Raspberry Pi Camera V2 sehingga lebih mudah diterapkan [9].

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Raspberry Pi 4 Model B

Raspberry Pi merupakan perangkat mini komputer dengan ukuran kecil yang dapat diprogram. Bagian dalamnya terdapat I/O yang sama seperti mikrokontroler pada umumnya. Generasi komputer Raspberry Pi terbaru memiliki nama Raspberry Pi 4 Model B. Raspberry Pi mampu dipakai pengolahan citra gambar maupun video dengan baik. Raspberry Pi 4 Model B memiliki konektivitas, ukuran memori, maupun kecepatan prosesor yang lebih tinggi dibandingkan dengan Raspberry Pi 3. Prosesor yang digunakan adalah Quadcore 64-bit ARM



Gambar 1. Blok diagram dari Raspberry Pi

Cortex-A72 dan memiliki kecepatan 1,5 GHz. Perangkat Raspberry Pi 4 Model B memiliki beberapa pilihan yaitu 1GB, 2GB dan 4GB dari SDRAM LPDDR4 [10]. Pada Gambar 1 menunjukkan blok diagram dari Raspberry Pi.

B. Computer Vision

Computer vision ialah suatu bidang mengenai kecerdasan buatan untuk melihat objek maupun teks dengan bantuan kamera. Data yang diperoleh dapat berupa gambar maupun video. *Computer vision* mampu mengolah data tersebut untuk beberapa kebutuhan. *Computer vision* merupakan suatu cara komputer mengamati objek dan diolah [11]. *Image Processing* merupakan metode yang dipakai untuk mengetahui perubahan suatu objek. Selain itu, *image processing* dapat menghasilkan data maupun informasi yang telah diproses. *Computer vision* dapat dimanfaatkan untuk beberapa sektor misalnya pada industri dimanfaatkan untuk mengidentifikasi objek maupun barang. Selain itu, *computer vision* dapat diterapkan pada sektor otomotif, medis, maupun sektor keamanan. Contoh dari implementasi *computer vision* dapat diamati pada Gambar 2.

C. Automated Guided Vehicle (AGV)

AGV merupakan kendaraan dengan kendali otomatis. Keunggulan yang dimiliki adalah AGV memiliki akurasi yang tinggi, perawatan mudah, dan memiliki operasi waktu yang panjang.

Terdapat beberapa jenis AGV yaitu AGV dengan mengikuti garis menggunakan sensor yang bergerak sesuai dengan jalur yang ditentukan. Dimana posisi AGV akan berpindah tempat menggunakan *path guidance* [12]. *Path guidance* ini berupa garis yang dipasang sepanjang jalur yang bermagnet, jalur berwarna, dan laser. Sistem pergerakan AGV pada *path guidance* digunakan untuk AGV yang sederhana. Dengan *computer vision* mampu mengatur pergerakan AGV secara otomatis dari proses *scanning* gambar maupun pergerakannya. Dalam penelitian



Gambar 2. Contoh implementasi *computer vision*

ini akan berfokus pada sistem pergerakan AGV terhadap pola lintasan sehingga dapat diukur tingkat akurasi. Pada aplikasi lapangan, AGV ini dimanfaatkan pada industri manufaktur untuk distribusi pemindahan barang sesuai dengan pola lintasan.

D. Motor Servo

Motor servo menjadi perangkat yang dipakai di masa kini. Motor servo adalah aktuator yang dikontrol dengan cara mengatur sudut perputaran secara linear. Motor servo ini banyak dipakai di sektor industri. Pada motor servo terdapat *gear* sehingga motor servo dengan mudah dapat dikontrol [13]. Pada umumnya motor servo mampu dikontrol mulai dari sudut 0 sampai dengan 180 derajat. Proses kontrol Motor servo menggunakan sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) dengan frekuensi 50 Hz. Panjang sinyal PWM untuk mengontrol motor servo bermacam-macam. Untuk standar panjang sinyal pulsa adalah 1000 μ s sampai dengan 2000 μ s, tetapi sinyal pulsa yang dipakai motor servo biasanya berkisar 700 μ s sampai 2300 μ s. Dalam penelitian ini digunakan motor servo ini untuk penggerak roda depan pada proses *steering* AGV agar dapat berbelok kanan maupun kiri. Penempatan motor servo harus diperhatikan agar setiap sudut pergerakannya presisi. Dengan memakai motor servo, setiap sudut pergerakan AGV dapat dengan mudah dihitung.

E. Motor DC

Penggunaan motor DC paling banyak diminati pada sektor industri saat ini. Hal ini terjadi karena beberapa kelebihan yang dimiliki motor DC. Kelebihan motor DC diantaranya torsi yang baik, putaran panjang, pengereman yang baik, pengaturan kecepatan yang baik sehingga memudahkan saat dikontrol. Pada aplikasi lapangan, motor DC sering dipakai pada banyak bidang penggerak listrik yang membutuhkan pengaturan kecepatan, termasuk pabrik *winch* dan *rolling*, peralatan mesin presisi. Pengaturan kecepatan motor DC bekerja berlandaskan teori kontrol umpan balik (*close loop*) [14].

Dalam dunia robotika peran motor DC sangat penting yang dapat dipakai pada sistem otonom maupun *mobile robot* [15]. Pengaturan kecepatan motor DC dapat diatur dengan potensiometer dipasang seri. Dengan cara ini, tentunya memiliki kendala menyebabkan komponen cepat panas dan kecepatan kurang stabil. Dilihat dari efektivitasnya untuk mengontrol motor DC lebih baik menggunakan mikrokontroler karena dapat dengan mudah

diprogram. Proses pengendalian kecepatan motor DC bekerja berdasarkan PWM. PWM ini dapat dengan mudah mengatur kecepatan motor DC dengan *setting* sinyal lebar pulsa [16].

F. Motor Driver L298N

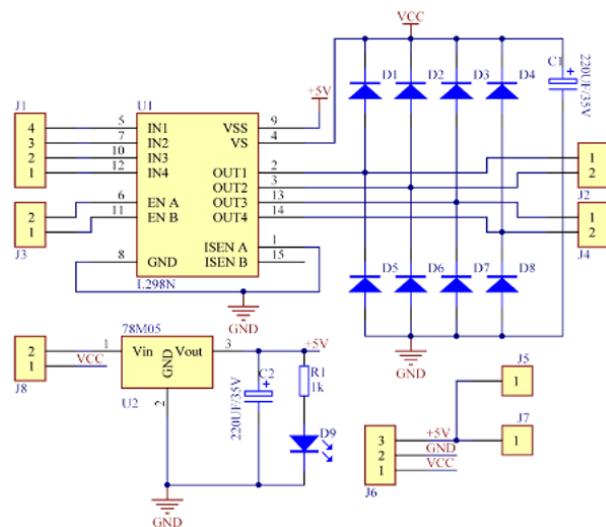
Motor driver L298N adalah perangkat elektronik yang mampu mengendalikan motor DC berdasarkan arah dan kecepatan motor tersebut. Driver motor ini menggunakan IC dengan tipe *half bridge* yang dapat mengendalikan beban-beban induktif seperti motor stepper, solenoid, relay maupun motor DC. Motor driver L298N memiliki pin *input output* sehingga penerapannya lebih mudah. Motor driver L298N mampu mengendalikan dua buah motor hingga 2 arah yang berbeda. Pada motor driver ini menggunakan suplai tegangan 5 VDC, dengan 8 dioda penyearah dan memiliki indikator led warna merah yang dilengkapi dengan resistor 1k ohm serta terdapat kapasitor untuk menyimpan tegangan sementara. Secara lebih rinci, parameter dari motor driver L298N dapat dilihat pada Tabel 1. Pada penelitian ini, driver motor hanya digunakan untuk satu motor DC saja. Keunggulan dari driver ini dapat mengatur perputaran motor DC dengan mengatur PWM melalui program yang dipakai pada Raspberry Pi 4 [17]. Driver ini sangat cocok untuk mengatur kecepatan AGV pada penelitian ini. Gambar 3 merupakan skematik motor driver L298N.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan metode kinematik dari robot AGV yang diturunkan dari sistem pergerakan kedua roda depan yang digunakan. Gambar kinematik robot AGV dapat diamati pada Gambar 4 [18].

Konfigurasi robot AGV dapat diamati dari posisi roda depan. Dari model kinematika robot AGV dapat disubstitusikan sebagai berikut,

$$\dot{x} = U_3 \cos \theta \quad (1)$$



Gambar 3. Skematik motor driver L298N

Tabel 1. Parameter dari motor driver L298N

Simbol	Parameter	Nilai
VCC	tegangan	5 VDC
D1-D8	dioda	1 A
D9	led	2 V, 25 mA
C1- C2	kapasitor	220 μ f

$$\dot{y} = U_3 \sin \theta \quad (2)$$

$$\dot{\theta} = \frac{U_3}{l} \tan \phi \quad (3)$$

Pada persamaan (1)-(3), U_3 merupakan kecepatan maju robot AGV dan θ adalah sudut *body* robot AGV terhadap garis horizontal, sudut kemudi terhadap *body* robot AGV adalah ϕ , sedangkan untuk (x, y) adalah letak titik pusat roda depan, l adalah panjang antara bagian depan dan roda belakang. Sudut akurasi sangat diperhatikan pada penelitian ini. Karena radius belokan robot AGV cukup besar dibandingkan dengan radius roda, mengacu pada Gambar 4, persamaannya adalah:

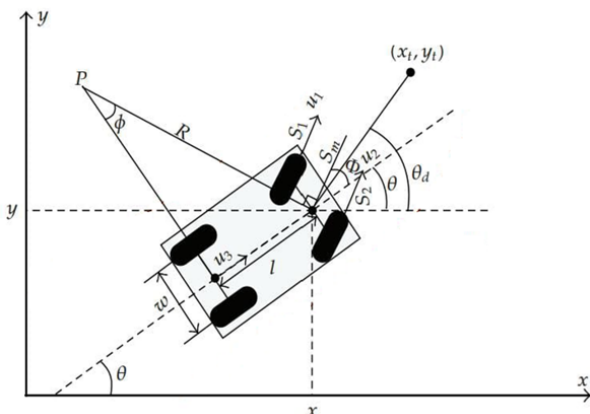
$$S_1 = \left(R - \frac{w}{2} \cos \phi \right) \phi \quad (4)$$

$$S_m = R \phi \quad (5)$$

$$S_2 = \left(R + \frac{w}{2} \cos \phi \right) \phi \quad (6)$$

Persamaan (4)-(6), dan merupakan jarak perpindahan yang ditempuh dari kiri depan dan kanan depan roda masing-masing, R adalah radius belokan dari titik pusat roda depan, w adalah jarak antara roda dari pusat ke pusat sepanjang panjang antara dua roda font atau dua roda belakang, dan ϕ adalah sudut belokan dalam radian. S_m adalah perpindahan di titik tengah roda depan.

Dengan adanya persamaan tersebut dapat digunakan untuk mengendalikan sudut kemudi robot AGV. Persamaan ini berfungsi untuk melihat seberapa akurat pergerakan AGV dari *steering* hingga pergerakan AGV. Kemudian dikembangkan dengan persamaan kinematik maju untuk sistem kemudi. Sistem ini diperlakukan sebagai sistem pergerakan robot AGV secara relatif terhadap titik referensi. Pada penelitian ini, titik pusat dari roda depan sebagai kerangka acuan robot AGV. Untuk sistem pergerakan robot AGV dapat dimodelkan, sudut belok roda depan mempunyai kisaran $[-\pi/6, \pi/6]$ yaitu $-\pi/6 \leq \phi \leq \pi/6$. Dengan menyesuaikan sudut kemudi, kita dapat mengontrol kecepatan robot AGV melalui pergerakan kedua roda depan.



Gambar 4. Model kinematik robot AGV

$$\dot{S}_1 = \dot{\phi} \left(R - \frac{w}{2} \cos \phi \right) + \frac{w}{2} \dot{\phi} \sin \phi \quad (7)$$

$$\dot{S}_2 = \dot{\phi} \left(R + \frac{w}{2} \cos \phi \right) - \frac{w}{2} \dot{\phi} \sin \phi \quad (8)$$

Setelah persamaan (7)-(8), Maka didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$U_2 - U_1 = \dot{\phi} w (\cos \phi - \sin \phi) \quad (9)$$

Dari persamaan (9), di mana U_1 dan U_2 sesuai dengan kecepatan maju roda kiri depan dan kanan depan roda. Jalur lintasan robot AGV dapat diperoleh dengan menggabungkan persamaan (1)-(3). Sudut dari *body* robot AGV terhadap garis horizontal pada waktu $(t + \Delta t)$ dapat diturunkan terlebih dahulu. Jika $\phi \neq 0$ maka U_2 dan U_1 , sudut *body* kendaraan terhadap garis horizontal pada waktu $(t + \Delta t)$ dirumuskan sebagai:

$$\begin{aligned} \theta(t + \Delta t) &= \theta(t) + \frac{U_3}{l} \int_t^{t+\Delta t} \tan \phi dt \\ &= \theta(t) + \frac{U_3}{l \dot{\phi}} (-\ln |\cos \phi|) \Big|_t^{(t+\Delta t)} \\ &= \theta(t) + \frac{U_3}{l \dot{\phi}} (-\ln |\cos \phi|)(t + \Delta t) + \ln |\cos \phi(t)| \end{aligned} \quad (10)$$

Jika $\dot{\phi} = 0$, maka U_2 dan U_1 , sudut *body* robot AGV pada waktu $(t + \Delta t)$ dirumuskan menjadi:

$$\theta(t + \Delta t) = \theta(t) + \frac{U_3}{l} \tan \phi \Delta t \quad (11)$$

Selanjutnya posisi robot AGV pada waktu dapat diturunkan. Jika $\dot{\theta} \neq 0$, maka posisi robot AGV yang bergerak pada waktu $(t + \Delta t)$ persamaannya adalah:

$$x(t + \Delta t) = x(t) + \frac{U_3}{\dot{\theta}} (\sin \theta(t + \Delta t) - \sin \theta(t)) \quad (12)$$

$$y(t + \Delta t) = y(t) - \frac{U_3}{\dot{\theta}} (\cos \theta(t + \Delta t) - \cos \theta(t)) \quad (13)$$

Jika $\dot{\theta} = 0$, yaitu posisi robot AGV pada waktu maka persamaannya menjadi:

$$x(t + \Delta t) = x(t) + U_3 \cos \theta \Delta t \quad (14)$$

$$y(t + \Delta t) = y(t) + U_3 \sin \theta \Delta t \quad (15)$$

Persamaan (14)-(15) menunjukkan model matematika dari pergerakan robot AGV yang diterapkan pada kecepatan, jarak, maupun waktu yang ditempuh sesuai dengan pola lintasan.

A. Model 3D robot AGV

Desain 3D AGV diperlukan untuk memberikan gambaran rancangan robot yang akan dibuat. Gambar 5

menunjukkan desain 3D robot AGV yang dirancang.

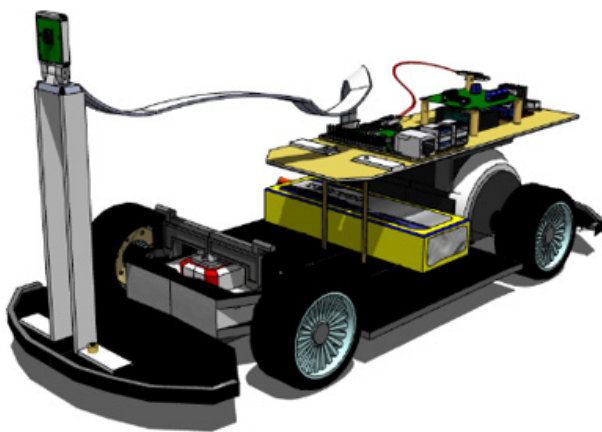
B. Blok Diagram Kinerja AGV

Blok diagram kinerja sistem pergerakan AGV ditunjukkan pada Gambar 6. *Input* yang dipakai berupa lokasi awal dan lokasi tujuan dengan dibantu Raspberry Pi. Pada penelitian ini berfokus pada sistem pergerakan AGV terhadap pola lintasan sehingga dapat dicapai akurasi AGV dengan *error* yang minim. Untuk kedua roda depan menggunakan motor servo untuk proses *steering* berbelok kanan maupun kiri. Sedangkan untuk penggerak roda belakang memakai motor DC yang mudah diatur kecepatan dan arah putarannya. AGV dapat berpindah posisi sesuai dengan perintah yang diproses melalui program.

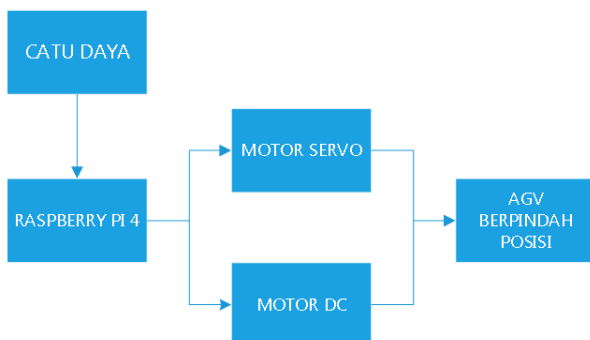
C. Proses Kinerja AGV

Proses kinerja AGV dipaparkan dalam bentuk susunan dari algoritma yang dipakai untuk sistem pergerakan robot AGV. Gambar 7 menunjukkan algoritma yang dapat dilihat dalam bentuk *flowchart*. Proses awal dimulai dengan kamera memindai lokasi tujuan yang kemudian menjadi input tujuan pada AVG. Selanjutnya AVG dapat berpindah posisi ke tempat tujuan. Jika posisi telah sesuai maka proses kinerja selesai dan jika tidak maka kamera akan melakukan pemindaian kembali.

Penelitian ini berfokus pada pembahasan sistem



Gambar 5. Desain 3D robot AGV



Gambar 6. Blok diagram kinerja AGV

pergerakan AGV. AGV memakai motor servo dalam proses *steering* sedangkan penggerak roda belakang memakai motor DC. Maka, memerlukan motor driver L298N yang memiliki fungsi mengatur pergerakan roda yang dipakai pada robot AGV. L298N memerlukan suplai tegangan masukan 10 VDC. Untuk mengatur kecepatan roda belakang dapat dilakukan dengan mengatur *duty cycle* sesuai dengan kecepatan maupun putaran yang diinginkan. Selain itu, terdapat fungsi *timer* untuk mengatur waktu yang dibutuhkan saat roda berputar. Pengaturan *timer* sangat memudahkan sistem pergerakan robot AGV saat berpindah posisi.

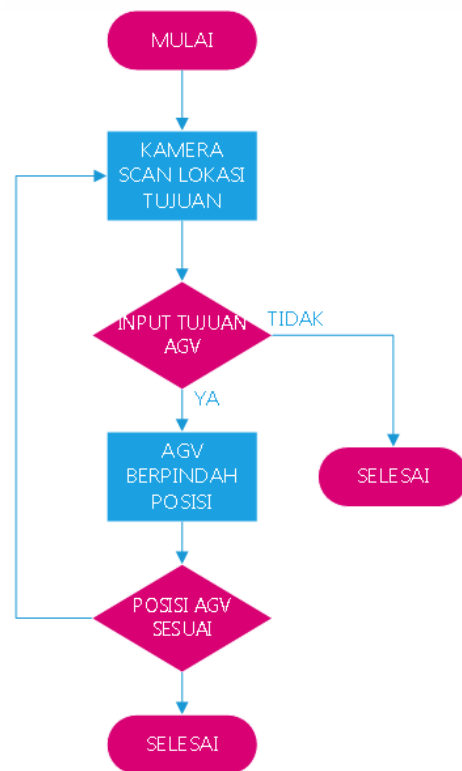
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Alat Penelitian

Pada penelitian ini, menghasilkan AGV berfungsi untuk deteksi posisi dengan akurat. Untuk komponen-komponen yang dibutuhkan pada AGV dapat diamati pada Gambar 8.

B. Hasil Perpindahan Posisi Robot AGV

Pengujian perpindahan posisi robot AGV dilaksanakan dengan memakai pola huruf. Pola ini dipakai untuk letak posisi koordinat pada sistem pergerakan AGV dengan memakai *computer vision*. Pengujian ini dilakukan dengan kondisi pencahayaan yang memadai. Posisi awal AGV ditempatkan pada posisi “P” kemudian kamera mendeteksi beberapa kata-kata “titikA”, “titikB”, “titikC”,



Gambar 7. Flowchart proses kinerja AGV

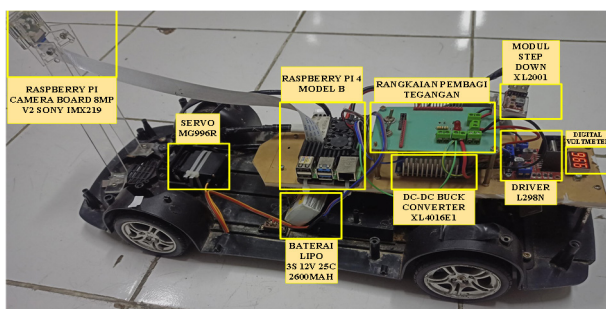
“titikD”, “titikE”, “titikF”, “titikG”, “titikP” dalam bentuk kertas HVS yang dimanfaatkan sebagai lokasi tujuan AGV menggambarkan posisi. Program dirancang secara berurutan. Gambar 9 menunjukkan pola lintasan.

Langkah pertama, robot AGV berada di titik “P” seperti yang terlihat pada Gambar 10. Kamera mampu mendeteksi titik posisi AGV tersebut dan didapatkan hasil seperti pada Gambar 11. Langkah selanjutnya, *input* tujuan untuk perpindahan robot AGV. Contoh pada Gambar 12 menandakan *input* tujuan perpindahan dari titik “P” menuju titik “A”. kemudian, AGV bergerak dari titik “P” menuju titik “A” seperti yang dapat dilihat pada Gambar 13. Cara yang sama untuk perpindahan posisi AGV pada pola selanjutnya.

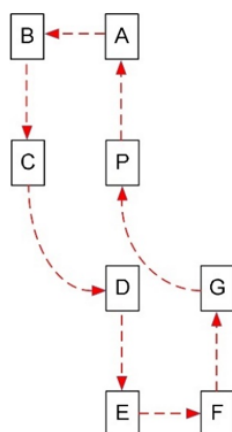
Langkah pertama, letakkan AGV pada posisi “P”. Kemudian melakukan kalibrasi servo agar posisi roda lurus. Kemudian kamera mendeteksi lokasi tujuan “titikA”. Jika berhasil maka teks akan muncul secara otomatis pada layar.

Tabel 2. Tabel kestabilan AGV terhadap kecepatan

PWM duty cycle (%)	Kestabilan AGV	Kondisi Kecepatan AGV
30	stabil	lambat
40	stabil	lambat
50	stabil	sedang
60	stabil	sedang
70	stabil	cepat
80	stabil	cepat
90	tidak stabil	cepat



Gambar 8. Hardware robot AGV



Gambar 9. Pola lintasan AGV

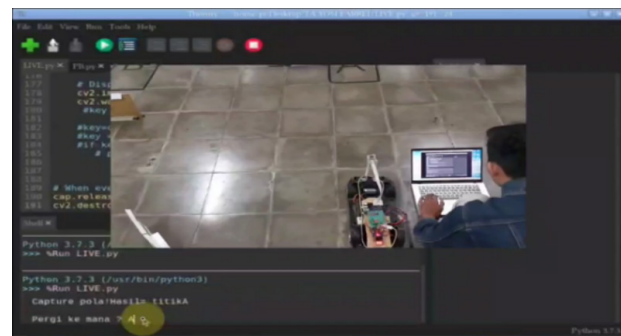
Setelah berhasil mendeteksi lokasi tujuan, langkah selanjutnya tekan lokasi yang dituju. Maka AGV akan berpindah posisi secara otomatis.

C. Hasil Pengukuran

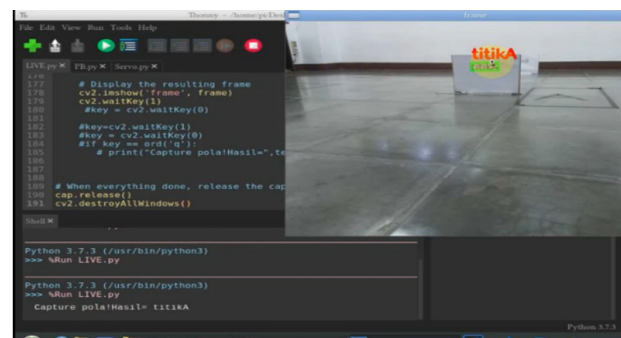
Hasil pengukuran berikut ini dilaksanakan melalui beberapa pengukuran pada pola lintasan AGV. Pengukuran kestabilan AGV dapat diamati pada Tabel 2. Sedangkan selisih sudut antara AGV dengan pola lintasan dapat dilihat pada Tabel 3. Kemudian untuk PWM memakai osiloskop. Parameter pengukuran berupa sinyal PWM, dan RPM menggunakan *tachometer digital*.

Hasil pengujian pada Tabel 3 menyajikan selisih sudut rata-rata antara sudut pergerakan AGV dengan acuan sudut sebesar 3.09° . Dengan selisih sudut tersebut menandakan *error* kecil sehingga AGV dapat beroperasi secara optimal.

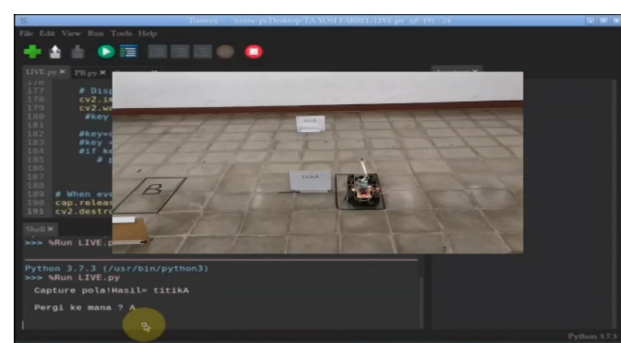
Berikut ini hasil pengukuran PWM memakai osiloskop. Parameter pengukuran berupa sinyal PWM dan RPM menggunakan *tachometer digital*.



Gambar 10. Posisi robot AGV berada pada titik “P”



Gambar 11. Hasil scan kamera pada tujuan “TitikA”



Gambar 12. Robot AGV berpindah posisi dari titik “P” ke titik “A”

1. Pengukuran AGV belok kanan

Pengukuran dilaksanakan dengan cara mengatur *duty cycle* sebesar 31%. Hasil pengukuran dapat diamati seperti pada Gambar 13.

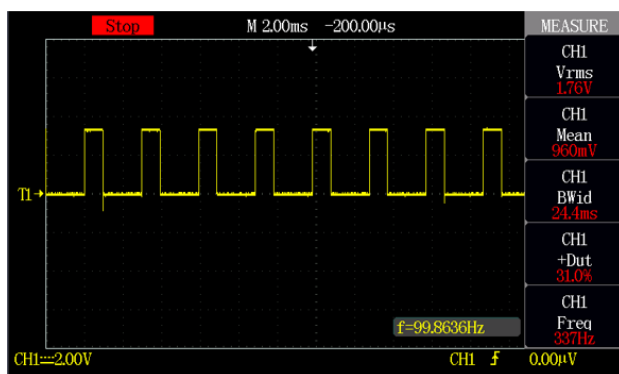
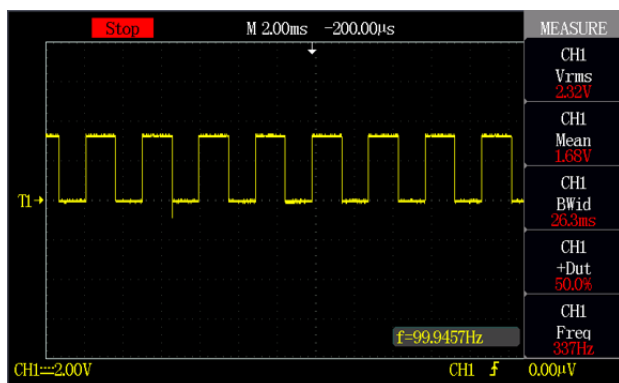
2. Pengukuran AGV belok kiri

Pengukuran dilaksanakan dengan cara mengatur *duty cycle* 50%. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Gambar 14.

3. Pengukuran AGV kecepatan sedang

Tabel 3. Selisih sudut antara AGV dengan pola lintasan

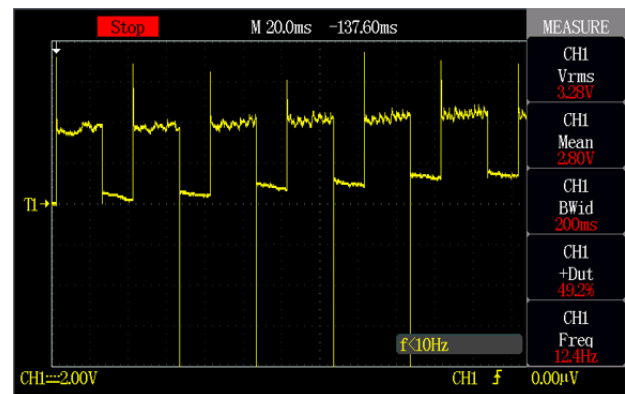
Perpindahan posisi AGV	Acuan Sudut	Percobaan ke-			Selisih Sudut
		1	2	3	
P ke A	90°	92,5°	92,9°	93°	2,8°
A ke B	110°	112,8°	112,9°	112,8°	2,83°
B ke C	90°	93,1°	93,2°	93,1°	3,13°
C ke D	110°	113,2°	113,3°	113,4°	3,3°
D ke E	90°	93,3°	92,8°	93,1°	3,06°
E ke F	110°	113,2°	113,3°	113,1°	3,2°
F ke G	100°	103,2°	103,1°	102,8°	3,03°
G ke P	70°	72,9°	73,3°	74,1°	3,43°
Selisih sudut rata-rata					3,09°

Gambar 13. AGV belok kanan dengan *duty cycle* 31%Gambar 14. AGV belok kiri dengan *duty cycle* 50%

Pengukuran AVG kecepatan sedang dilaksanakan dengan cara mengatur *duty cycle* sebesar 49.2%. Hasil pengukuran sinyal PWM pada motor DC tersebut dapat dilihat pada Gambar 15. Sedangkan hasil pengukuran RPM dengan menggunakan *tachometer digital* dihasilkan kecepatan sebesar 539.5 RPM seperti pada Gambar 16(a).

4. Pengukuran AGV kecepatan cepat

Pengukuran AVG kecepatan cepat dilaksanakan dengan cara mengatur *duty cycle* sebesar 99.6%. Hasil pengukuran RPM dengan menggunakan *tachometer digital* dihasilkan kecepatan sebesar 889.7 RPM yang dapat diamati pada Gambar 16(b). Sedangkan hasil pengukuran sinyal PWM pada motor DC dengan *duty cycle* 99.6% ini dapat diamati pada Gambar 17.

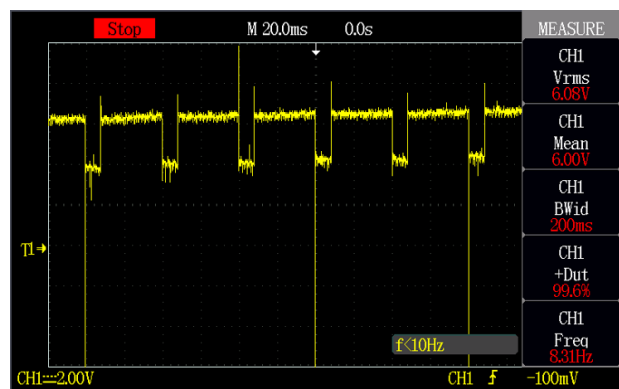
Gambar 15. PWM pada motor DC dengan *duty cycle* 49.2%

(a)



(b)

Gambar 16. (a) AGV dengan kecepatan sedang 539.5 RPM; dan (b) AGV dengan kecepatan cepat 889.7 RPM

Gambar 17. PWM pada motor DC dengan *duty cycle* 99.6%

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil percobaan sistem pergerakan robot AGV berbasis Raspberry Pi 4 dapat ditarik kesimpulan bahwa AGV mampu berpindah posisi sesuai dengan perintah menggunakan Raspberry Pi 4 dimana memiliki olah citra gambar dengan cepat. Selain itu proses pergerakan AGV memiliki tingkat akurasi yang tinggi. Akurasi pergerakan robot AGV terhadap pola lintasan memiliki selisih sudut rata-rata 3,09°. Untuk mendapatkan hasil yang maksimal digunakan modul L298N yang mampu mengontrol pergerakan motor DC. Kemudian dengan menggunakan penggerak motor DC memiliki torsi yang baik dan kecepatan yang stabil. Selain itu pemakaian servo MG996R mampu mengatur *steering* AGV. Untuk belok kanan PWM *duty cycle* sebesar 31%, sedangkan untuk belok kiri PWM *duty cycle* sebesar 50%.

REFERENSI

- [1] S. Vechet, J. Krejsa and K. S. Chen, "AGVs mission control support in smart factories by decision networks," in *Proc. 19th Inter. Conf. on Mechatronics - Mechatronika (ME)*, Dec. 2020, pp. 1-4.
- [2] W. Xing, L. Peihuang, C. Qixiang, and Z. Chidong, "Design and control of material transport system for automated guided vehicle," in *Proc. 2012 UKACC Inter. Conf. on Control*, Oct. 2012, pp. 3-5.
- [3] F. B. Setiawan, P. M. Siva, L. H. Pratomo, and S. Riyadi, "Design and implementation of smart forklift for automatic guided vehicle using raspberry pi 4," *J. Robot. Control*, vol. 2, no. 6, pp. 508-514, Nov. 2021.
- [4] 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," *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 17, no. 1, pp. 7-14, 2021.
- [5] R. Ruthuraj, M. Aathresh, A. Sathya, A. K. V, and S. Gokul, "Decentralized Control of Multi-AGV Navigation System in Autonomous Warehousing Applications," vol. 7, no. 06, pp. 1-4, 2019.
- [6] M. Y. Naing, A. S. Oo, I. Nilkhamhang and T. Than, "Development of computer vision-based movement controlling in mecanum wheel robotic car," in *Proc. 1st Inter. Sym. on Inst., Control, Artificial Intelligence, and Robotics (ICA-SYMP)*, 2019, pp. 45-48.
- [7] M. Iqbal and R. Omar, "Automatic guided vehicle (AGV) design using an iot-based rfid for location determination," in *Proc. Inter. Conf. on Appl. Science and Tech. (iCAST)*, 2020, pp. 489-494.
- [8] R. Szabó and A. Gontean, "Industrial robotic automation with Raspberry PI using image processing," in *Proc. Inter. Conf. on Appl. Electronics (AE)*, 2016.
- [9] W. T. Freeman *et al.*, "Computer vision for interactive computer graphics," *IEEE Comput. Graph. Appl.*, vol. 18, no. 3, pp. 42-52, 1998.
- [10] J. Justadi, J. Hair, and Y. Yudianto, "Automated guided vehicle (AGV) Pengikut garis menggunakan roda mecanum dengan kendali pid adaptif terinterpolasi," in *Proc. Seminar Nasional Instrumentasi Kontrol dan Otomasi* pp. 10-11, 2019.
- [11] H. A. M. Tran, H. Q. T. Ngo, T. P. Nguyen, and H. Nguyen, "Develop of AGV platform to support the arrangement of cargo in storehouse," in *Proc. 24th IEEE Int. Conf. Autom. Comput. Improv. Product. through Autom. Comput.*, Sep. 2018, pp. 1-5.
- [12] X. Lin, Y. Liu, and Y. Wang, "Design and research of dc motor speed control system based on improved bas," in *Proc. Chinese Automation Congress (CAC)*, 2018, pp. 3701-3705.
- [13] A. J. Moshayedi, J. Li, and L. Liao, "Simulation study and PID tune of automated guided vehicles (AGV)," in *Proc. IEEE Int. Conf. Comput. Intell. Virtual Environ. Meas. Syst. Appl. Proc.*, June, 2021, pp. 1-7.
- [14] M. Sahana, S. Angadi, and A. B. Raju, "Speed control of separately excited dc motor using class a chopper," in *Proc. Inter. Conf. Circuits, Controls, Comm. and Comp. (I4C)*, Oct. 2016, pp. 1-6.
- [15] M. N. Tamara, A. Risnumawan, N. Tamami and A. Basith Abdurrohman, "Fork Agv: estimation of combined magnetic sensor with vision guide applied on automatic mobile transporter for navigation and accurate positioning," in *Proc. Inter. Electronics Symp. (IES)*, Sep. 2021, pp. 5-11.
- [16] L. Zhao and Y. Ding, "Design of AGV low-delay visual servo system," in *Proc. Inter. Conf. on Audio, Language and Image Processing*, July 2018, pp. 6-10.
- [17] V. D. Yurkevich and N. A. Stepanov, "PWM speed control of DC motor based on singular perturbation technique," in *Proc. 6th Inter. Congress on Ultra Modern Telecom. and Control Systems and Workshops (ICUMT)*, Oct. 2014, pp. 434-440.
- [18] H. Jing, "Research and system development of automatic guided vehicle based on ultrasonic and infrared obstacle avoidance technical," in *Proc. IEEE Asia-Pacific Conf. on Image Processing, Elect. and Comp. (IPEC)*, April 2022, pp. 716-723.