

Sistem Navigasi Automated Guided Vehicle Berbasis Computer Vision dan Implementasi pada Raspberry Pi

Florentinus Budi Setiawan, Oei Jevon Aldo Wijaya, Leonardus Heru Pratomo, dan Slamet Riyadi
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Soegijapranata
Jl. Pawiyatan Luhur IV/1, Semarang 50234
e-mail: fbudisetiawan@yahoo.com

Abstrak—Pada era perkembangan teknologi saat ini, banyak perusahaan yang berlomba untuk memproduksi robot-robot yang dapat membantu pekerjaan manusia, terlebih untuk mengefesienkan waktu dan tenaga dalam memproduksi suatu barang. Salah satu robot yang sedang dikembangkan di area industri ini adalah *Automated Guided Vehicle* (AGV). AGV merupakan robot pengangkut barang yang sudah ditentukan jalur dan arahnya secara otomatis. Pada jurnal ini akan dibahas tentang sistem navigasi dan *mobility* pada AGV. Menggunakan 4 roda jenis *omniwheels* dan penggerak berupa motor DC. Roda tersebut digunakan untuk mengatur arah gerak baik maju, mundur, kanan, dan kiri. Untuk pengaturan pergerakan secara otomatis, dikendalikan melalui *computer vision*. Memakai sistem navigasi dengan cara mengikuti sebuah petunjuk berupa pola dengan menggunakan kamera sebagai sensor untuk mengetahui posisi dari AGV terkini. Karena sifat metode navigasi yang diterapkan, hasil dari jalur kendaraan bisa sangat *sub-optimal*, terutama pada lingkungan pergudangan yang berantakan.

Kata kunci: *robot, agv, sistem navigasi, mobility dan computer vision*

Abstract—In the current technological development era, many companies compete to produce robots that can help humans work significantly to streamline time and energy in creating an item. One of the robots being developed in this industrial area is Automated Guided Vehicle (AGV). AGV is a robot for transporting goods whose path and direction automatically. This journal will discuss the navigation system and mobility on the AGV. They are using four-wheel type Omni wheels and a DC motor as a drive. The wheel is used to adjust the direction of motion both forward, backward, right, and left. For movement settings automatically, controlled via computer vision. Using the navigation system by following a pattern in the form of instructions using the camera as a sensor to determine the current AGV. Due to the nature of the navigation method employed, the yield of vehicle trails can be very sub-optimal, especially in messy warehousing environments.

Keywords: *robot, agv, navigation system, mobility and computer vision*

I. PENDAHULUAN

Pada era perkembangan teknologi saat ini, banyak perusahaan yang berlomba untuk memproduksi robot-robot yang dapat membantu pekerjaan manusia, terlebih untuk mengefesienkan waktu dan tenaga dalam produksi suatu barang. Salah satu robot yang sedang dikembangkan di area industri adalah *Automated Guided Vehicle* (AGV) atau kendaraan kendali otomatis. AGV merupakan sebuah mobil robot yang mampu mengikuti petunjuk atau *line* pada lantai, atau menggunakan sensor maupun laser untuk bergerak ke arah yang telah ditentukan [1]. AGV lebih unggul dibandingkan dengan sejenisnya dalam efisiensi waktu dan fleksibilitas lain yang dimilikinya [2]. Jika dibandingkan dengan menggunakan *forklift* yang dikendalikan secara manual, AGV mampu memberikan akurasi posisi yang lebih tinggi, operasi

lebih lama, pengurangan biaya operasi dan perawatan, dan meningkatkan keamanan [3].

Jenis AGV yang banyak digunakan adalah AGV *line follower*, yaitu AGV yang berpindah dari satu tempat ke tempat lain dengan *path guidance* yang terletak di sepanjang jalur AGV. *Path guidance* dapat berupa garis warna, jalur magnet, dan laser [4]. Model navigasi pada *path guidance* ini biasanya digunakan untuk sistem AGV sederhana.

Pada penelitian membahas tentang sistem komunikasi dan *mobility* pada AGV, yang memakai empat roda menggunakan motor DC. Roda tersebut digunakan untuk mengatur arah gerak baik maju, mundur, kanan, dan kiri. Untuk pengaturan pergerakan secara otomatis, akan dikendalikan melalui *computer vision*. Komponen utama yang digunakan yaitu Raspberry Pi 4 Model B, berfungsi sebagai komputer pengolah data yang seukuran

dengan kartu kredit namun memiliki performa mesin yang mumpuni untuk pemrograman yang berhubungan dengan visual atau gambar. Raspberry Pi juga memiliki *port General Purpose Input/Output (GPIO)* yang memang dibutuhkan untuk penambahan *servo* maupun perangkat lain jika diperlukan. Kemudian kamera yang digunakan adalah Raspberry Pi Camera V2 yang diciptakan khusus untuk Raspberry Pi sehingga lebih mudah dalam pengaplikasiannya [5]. Kamera ini memiliki resolusi delapan megapixel dan memiliki keunggulan yaitu ukurannya yang kecil, berkisar 2×2 cm sehingga mudah dipasang di mana saja [6].

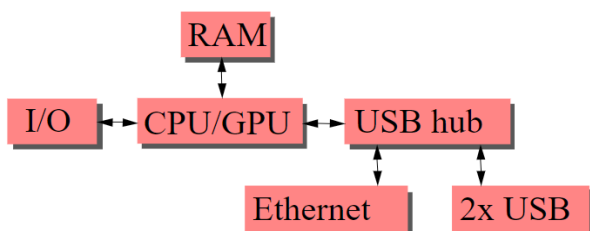
II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Raspberry Pi 4 Model B

Raspberry Pi adalah modul komputer mini (hanya seukuran kartu kredit) yang memiliki *input* dan *output* sama halnya seperti pada *board* mikrokontroler. Raspberry Pi 4 Model B merupakan generasi pertama dari generasi terbaru komputer Raspberry Pi yang mendukung lebih banyak RAM dan dengan peningkatan kinerja CPU, GPU dan I/O yang signifikan dalam hal faktor daya dan biaya seperti Raspberry Pi 3B + generasi sebelumnya. Raspberry Pi 4 Model B tersedia dengan 1, 2 dan 4 GB dari SDRAM LPDDR4 [7]. Gambar 1 merupakan blok diagram dari Raspberry Pi.

B. Computer Vision

Computer vision merupakan ilmu dan teknologi mesin yang melihat. Dalam hal ini, arti “melihat” yaitu dimana mesin dapat mengekstrak informasi melalui gambar yang digunakan untuk berbagai macam fungsi tertentu. Data pada gambar dapat memproses berbagai bentuk seperti video, urutan gambar ataupun dari data multi dimensi dalam *scanner* medis. Sebagai disiplin teknologi, *computer vision* berusaha untuk menerapkan teori dan model untuk pembangunan sistem *computer vision*. *Computer vision* diartikan sebagai teknologi yang mempelajari bagaimana komputer dapat melihat dan mengenali obyek yang diamati [8]. Pengolahan citra (*image processing*) merupakan bidang yang berhubungan dengan proses transformasi citra/gambar (*image*). Proses ini bertujuan untuk mengekstrak informasi/pesan yang disampaikan [9]. Gambar 2 merupakan contoh penerapan *computer vision*.



Gambar 1. Blok diagram dari Raspberry Pi



Gambar 2. Contoh penerapan computer vision

C. Automated Guided Vehicle (AGV)

Automated Guided Vehicle (AGV) adalah robot pengangkut barang yang sudah ditentukan jalur dan arahnya secara otomatis. AGV berfungsi sebagai pengangkut barang yang memakai sistem navigasi dengan cara mengikuti sebuah petunjuk atau garis pada lantai atau menggunakan pantulan laser agar bergerak ke arah yang telah ditentukan.

Bagian utama dari sistem AGV adalah sistem kontrol, sistem *mobile*, sistem navigasi, sistem komunikasi dan sistem catu daya [10]. Kendaraan secara dinamis merencanakan lintasannya sendiri sebagai penghalang statis dan menggunakan metode reaktif untuk menghindari rintangan. Karena sifat metode navigasi yang diterapkan, hasil dari jalur kendaraan bisa sangat sub-optimal, terutama di lingkungan pergudangan yang berantakan. Pada penelitian ini akan difokuskan pada sistem navigasi dan sistem *mobile*. Dengan menggunakan *computer vision* sebagai sistem komunikasinya.

D. Motor DC

Saat ini motor DC paling banyak digunakan dalam bidang industri dibanding motor AC. Motor DC memiliki beberapa keunggulan, termasuk kinerja awalan dan pengereman yang baik, putaran panjang, pengaturan kecepatan yang sangat baik sehingga mudah dikontrol. Motor DC banyak digunakan pada banyak bidang penggerak listrik yang membutuhkan pengaturan kecepatan, termasuk peralatan mesin presisi, pabrik *rolling* dan *winch*. Sistem kontrol kecepatan berdasarkan pada teori kontrol umpan balik adalah dasar dari kontrol motor DC [11].

Motor DC merupakan elemen penting dari sistem *mobile* robot dan sistem otonom. Ada satu set aplikasi robotika dimana dapat memungkinkan untuk mengontrol kecepatan motor DC ke variasi beban pada rentang kecepatan dan menuntut akurasi kontrol kecepatan tinggi serta dinamik yang baik. Diketahui, kecepatan motor DC dapat dikontrol dengan menggunakan variabel resistor secara seri dengan motor. Namun, pendekatan ini menjadi masalah dari kontrol kecepatan yang banyak pemborosan energi dan menyebabkan panas pada resistor. Dari sudut efisiensi energi dan fleksibilitas implementasi, lebih praktis menggunakan mikrokontroler. Saat ini

pengendalian kecepatan motor DC didasarkan pada *Pulse-Width Modulation* (PWM). Dengan menggunakan PWM, daya rata-rata yang dikirim ke suatu beban dapat mudah dikendalikan dan kecepatan yang diinginkan dari motor DC lebih efektif. Untuk mengimplementasikan PWM, motor DC harus dilengkapi dengan tegangan konverter, dimana dalam penelitian ini menggunakan motor driver L298N.

Karena ide kontrol kecepatan motor DC dapat diperluas ke jenis motor lain, beberapa penelitian merancang untuk algoritma kontrol lanjutan, sehingga menjadi sarana utama traksi listrik. Kecepatan motor DC dapat dikontrol dengan cara [12]:

- Dengan memvariasikan tegangan jangkar.
- Dengan memvariasikan fluks bidang.
- Dengan memvariasikan resistensi jangkar

E. Mecanum Wheel

Roda *mecanum* dapat melakukan gerakan *omni-directional* dengan menggunakan penggerak motor DC yang bersifat lebih fleksibel dan kemampuan manuver yang baik daripada roda biasa. Roda mekanum memiliki potensi besar dalam beberapa situasi seperti ruangan yang kecil [13].

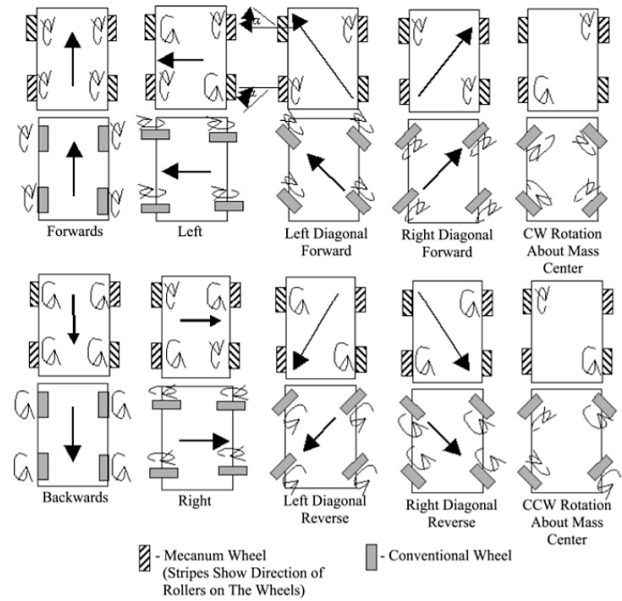
Roda *mecanum* ini berbeda dari roda konvensional pada umumnya. Dalam hal tersebut roda mekanum memiliki rol kecil pada sekitar rodanya, yaitu 45° ke bidang roda dan 45° ke garis melalui pusat *roller* yang sejajar dengan sumbu rotasi roda. Dan memiliki ukuran diameter 6 cm dan lebar 3 cm.

AGV memakai empat buah roda *mecanum* atau *omni-wheels* yang masing-masing roda terhubung langsung ke motor DC dan motor driver untuk setiap 2 motor DC. Motor DC yang dipakai memiliki beberapa keunggulan, termasuk kinerja awalan dan pengereman yang baik, putaran panjang, pengaturan kecepatan yang sangat baik sehingga mudah kontrol.

Dengan menggunakan kombinasi dari empat buah roda ini, robot AGV dapat bergerak ke arah omni tergantung pada arah rotasi setiap roda. Menggerakkan semua roda ke arah yang sama menghasilkan gerakan maju ataupun mundur. Menjalankan dua roda diagonal searah jarum jam dan dua roda diagonal lainnya berlawanan arah jarum jam atau sebaliknya, akan menghasilkan gerakan ke kanan ataupun kekiri. Menjalankan dua roda pada sisi yang sama searah jarum jam dengan roda di sisi lainnya berlawanan arah jarum jam menyebabkan gerakan memutar [14]. Kombinasi gerakan roda tersebut akan berfungsi untuk memaanuver gerakan robot AGV ke segala arah dengan putaran apa pun. Gambar 3 menunjukkan perbandingan kombinasi rotasi roda untuk fungsi pergerakan antara roda *mecanum* dengan roda konvensional.

F. Motor Driver L298N

Motor driver L298N ini merupakan suatu modul driver untuk motor DC, yang berfungsi sebagai kontrol kecepatan



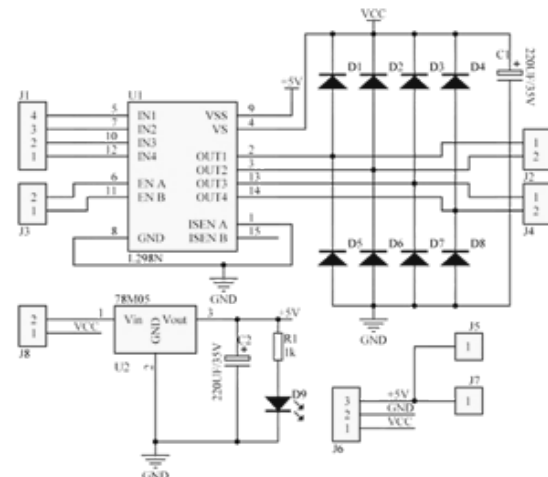
Gambar 3. Perbandingan roda mecanum dan roda konvensional

dan mampu untuk mengendalikan arah putaran dari motor DC tersebut.

L298N sangat cocok diaplikasikan untuk robot dan ideal untuk koneksi ke mikrokontroler karena hanya membutuhkan beberapa jalur kontrol per-motornya, dapat dihubungkan dengan switch manual sederhana, gerbang logika TTL, relay, dan sebagainya. Papan ini dilengkapi dengan indikator LED daya, on-board + 5V regulator dan dioda. Selain itu, motor driver ini mampu mengendalikan dua motor (masing-masing) hingga 2A ke dua arah yang berbeda. Gambar 4 menunjukkan skematik dari motor driver L298N [15].

III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini menggunakan metode *inverse kinematik* dari robot AGV diturunkan dari pergerakan vektor pada keempat roda yang digunakan. Vektor kecepatan robot v yang arahnya sejajar dengan koordinat x , koordinat vektor v_x dan v_y diturunkan menjadi:



Gambar 4. Skematik motor driver L298N

$$v_x = v \cos \theta \quad (1)$$

$$v_y = v \sin \theta \quad (2)$$

dimana θ adalah sudut arah lateral dari kecepatan gerak robot. Kecepatan sudut robot ditentukan oleh ω pada titik tengah dari *body* robot AGV saat melakukan gerakan belok kanan ataupun belok kiri. Dimensi robot AGV ditunjukkan oleh jari-jari dari a dan b diantara pusat *body* robot dengan sumbu roda $a_i: \{a, a, -a, -a\}$ dan $b_i: \{b, -b, b, -b\}$ dimana $i: \{1, 2, 3, 4\}$ yang melambangkan nomor roda. Vektor kecepatan linier dari roda dan vektor kecepatan mekanum setiap roda ditunjukkan oleh v_i dan rv_i . Kemiringan sudut dengan v dan rv adalah 45° dimana: $\{\pi/4, -\pi/4, -\pi/4, \pi/4\}$ yang dilambangkan vektor kecepatan mekanum pada setiap roda. Persamaan vektor kecepatan dari robot AGV terhadap sistem koordinat dapat dihitung sebagai berikut:

$$v_i + rv_i \cos(\gamma_i) = v_x - b_i \omega \quad (3)$$

$$rv_i \sin(\gamma_i) = v_y - a_i \omega \quad (4)$$

Substitusi antara (3) dan (4) menggunakan $\tan(\gamma_i)$, kecepatan linier dari masing-masing roda dapat diperoleh dari:

$$v_i = v_x - b_i \omega - \frac{v_y + a_i \omega}{\tan(\gamma_i)} \quad (5)$$

Karena $\tan(\gamma_i)$ telah dinotasikan pada (5) dari $\tan(\gamma_i): \{1, -1, -1, 1\}$, kecepatan linier dari roda mekanum adalah:

$$v_1 = v_x - v_y - a\omega - b\omega \quad (6)$$

$$v_2 = v_x + v_y + a\omega + b\omega \quad (7)$$

$$v_3 = v_x + v_y - a\omega - b\omega \quad (8)$$

$$v_4 = v_x - v_y + a\omega + b\omega \quad (9)$$

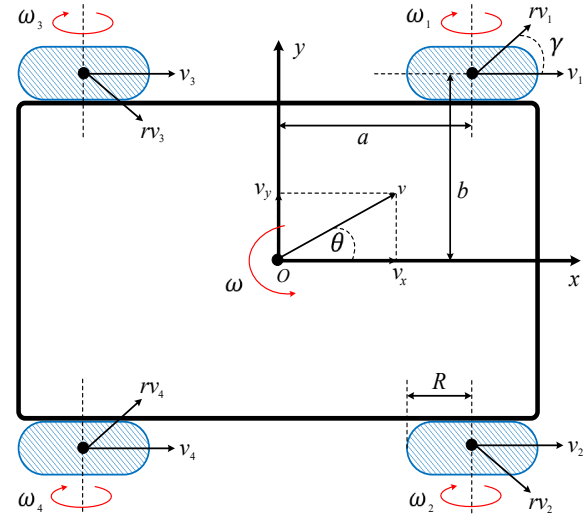
Sedangkan sudut kecepatan roda adalah $v_i = \omega_i R$ dan R adalah jari-jari dari keempat roda mekanum, Persamaan (6)-(9) dapat dimodifikasi menjadi:

$$\begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \\ \omega_4 \end{bmatrix} = \frac{1}{R} \begin{bmatrix} 1 & -1 & -(a+b) \\ 1 & 1 & (a+b) \\ 1 & 1 & -(a+b) \\ 1 & -1 & (a+b) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega \end{bmatrix} \quad (10)$$

Persamaan (10) menunjukkan model matematika dari invers kinematik untuk diimplementasikan pada kecepatan sudut dari masing-masing roda mekanum dengan *input* vektor v_x , v_y , dan ω yang sesuai dengan arah sudut lateral (θ) tanpa mengubah *body* robot ke arah tertentu. Vektor gerakan pada robot AGV ditunjukkan pada Gambar 5.

A. Blok Diagram Navigasi AGV

Blok diagram di bawah ini merupakan cara kerja *computer vision* untuk navigasi AGV 4WD berbasis Raspberry Pi. Masukan data dari alat ini berupa titik



Gambar 5. Vektor gerakan dan koordinat pada keempat roda robot AGV

koordinat (x, y) dari posisi AGV, yang telah diolah oleh Raspberry Pi sebelumnya. Penelitian ini berfokus untuk sistem navigasi dari robot AGV. Penggerak roda untuk robot AGV menggunakan motor DC yang dapat diatur arah putaran dan kecepatannya. Robot AGV akan bergerak maupun berpindah posisi sesuai yang diperintahkan atau diprogram. Setelah mencapai titik koordinat (x', y') , Raspberry Pi akan memberikan titik koordinat baru. Jika sesuai, robot AGV berhenti dan menunggu perintah selanjutnya. Blok diagram dapat dilihat pada Gambar 6.

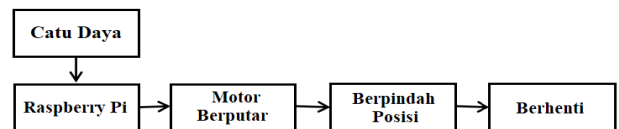
B. Proses Navigasi AGV

Di bawah ini akan dijelaskan susunan algoritma proses navigasi robot AGV. Algoritma tersebut berbentuk *flowchart* seperti pada Gambar 7.

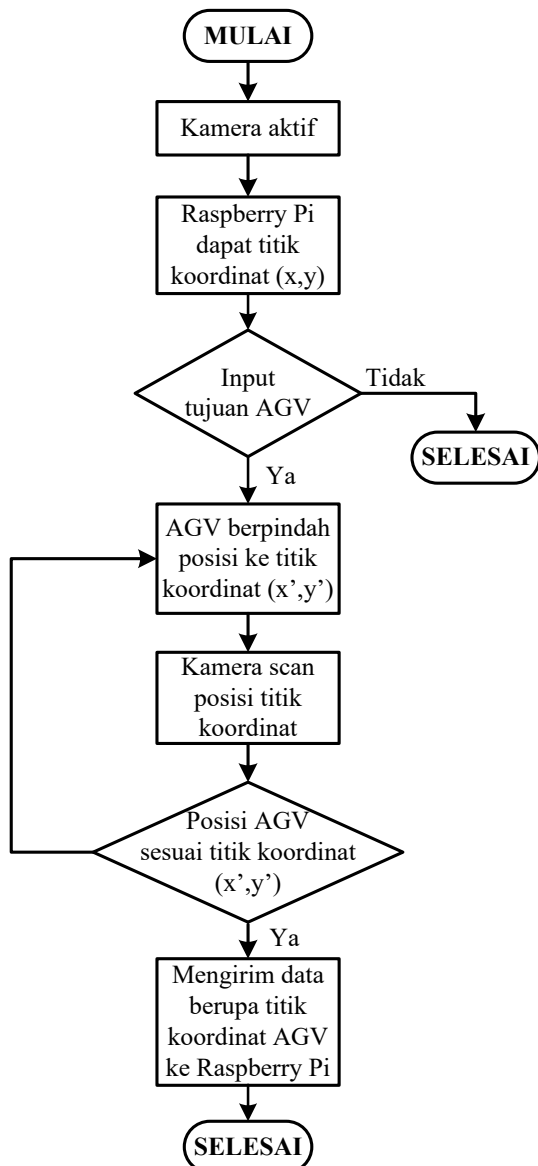
Penelitian ini mengutamakan pembahasan sistem *mobility* pada robot AGV. Roda penggerak robot AGV menggunakan sistem 4WD, bertujuan untuk memudahkan saat manuver pergerakannya. Bagian roda menggunakan *mecanum wheels* sebagai pendukung dan pemaksimal sistem 4WD.

Robot AGV menggunakan motor DC. Dengan begitu, membutuhkan motor *driver* L298N yang berfungsi untuk memudahkan dalam mengatur gerakan dari roda yang digunakan pada robot AGV. Kemudian, L298N membutuhkan tegangan masukan sebesar 10 Volt DC.

Pengaturan *duty cycle* merupakan cara yang digunakan untuk mengendalikan roda agar kecepatan putarnya sesuai yang diinginkan. Jika roda hanya berputar saja dan tidak diberi batasan henti, maka tidak akan berpindah posisi yang dituju. Sehingga penambahan fungsi dari *timer* sangat dibutuhkan. *Timer* berfungsi untuk membatasi putaran



Gambar 6. Blok diagram alur kerja navigasi AGV



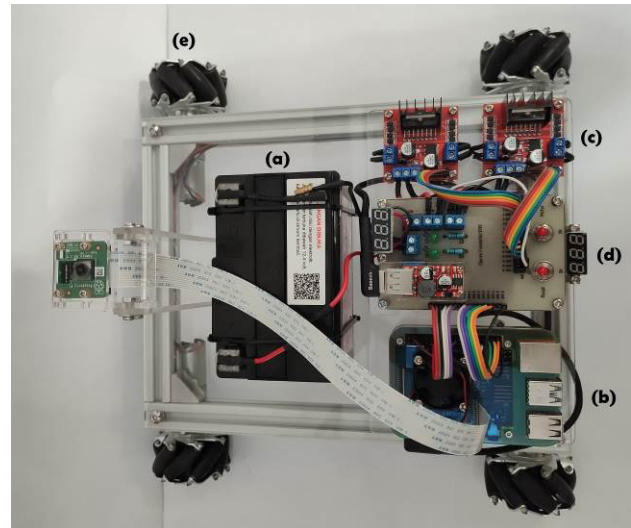
Gambar 7. Flowchart proses navigasi pada robot AGV

roda pada saat robot AGV berpindah posisi. Dengan fungsi *timer* ini robot akan berjalan menyusuri rute yang diinginkan, dan berhenti pada tujuan dengan presisi.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Alat Penelitian

Dalam penelitian ini, dihasilkan bentuk rancangan robot AGV seperti pada Gambar 8 dan Gambar 9. Gambar 8(a) menunjukkan komponen *accu*. Gambar 8(b) menunjukkan komponen Raspberry Pi. Gambar 8(c) menunjukkan komponen L298N *dual half-bridge motor driver*. Gambar 8(d) menunjukkan komponen modul pembagi tegangan. Gambar 8(e) menunjukkan komponen *mecanum wheel*. Lalu pada Gambar 9(a) menunjukkan komponen motor DC. Dan Gambar 9(b) menunjukkan komponen modul *step-down*.



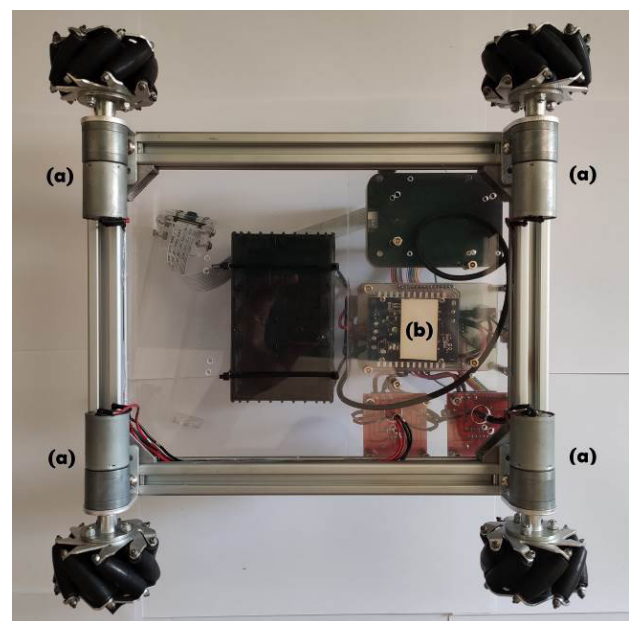
Gambar 8. Hasil robot AGV tampak atas

B. Hasil Perpindahan Robot AGV dengan Computer Vision

Pengujian perpindahan pada robot AGV dilakukan dengan menggunakan pola berupa huruf. Pola tersebut digunakan sebagai letak titik koordinat untuk navigasi dari AGV terkini dengan menggunakan *computer vision*.

Pertama-tama, robot AGV berada pada titik koordinat “P”, seperti pada Gambar 10. Kamera mampu mendeteksi titik koordinat tersebut dan didapatkan hasil seperti Gambar 11. Kemudian, *input* tujuan untuk perpindahan robot AGV. Contoh Gambar 12 menunjukkan *input* tujuan perpindahan ke titik koordinat “A”. Maka, robot AGV akan bergerak dari titik koordinat “P” menuju titik koordinat “A” seperti terlihat pada Gambar 13.

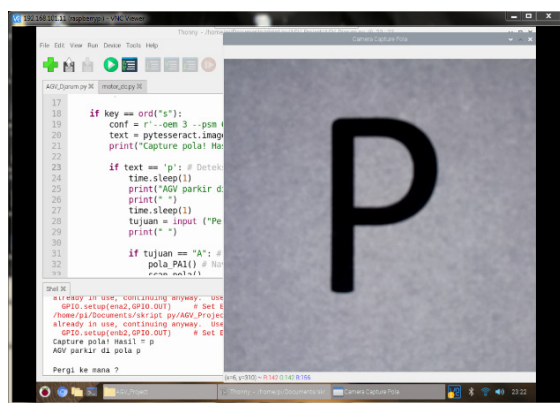
Lalu, kamera kembali mendeteksi posisi dari robot AGV. Bilamana posisi tersebut sudah sesuai dengan titik



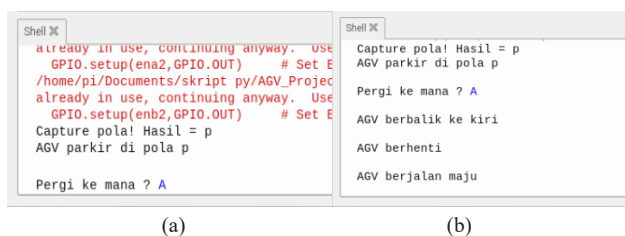
Gambar 9. Hasil robot AGV tampak bawah



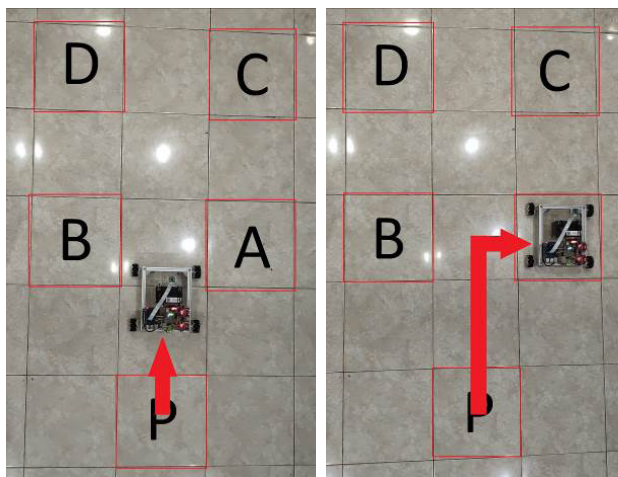
Gambar 10. Robot AGV berada pada titik koordinat "P"



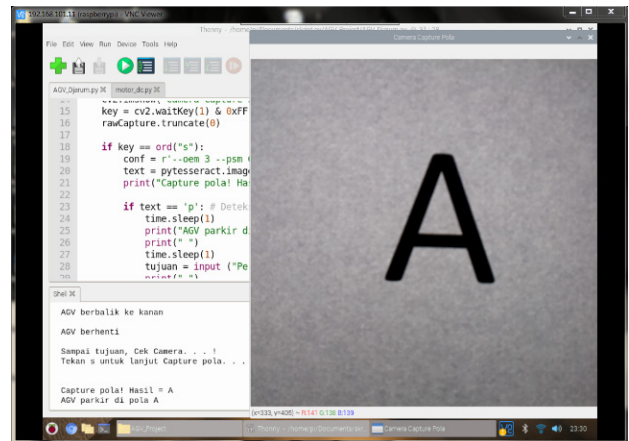
Gambar 11. Hasil scan kamera pada titik koordinat "P"



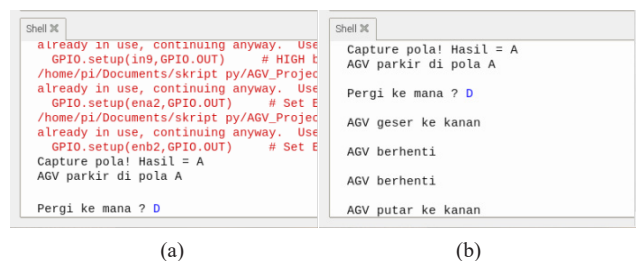
Gambar 12. (a) Input tujuan perpindahan robot AGV menuju titik koordinat "A"; (b) Algoritma perpindahan robot AGV



Gambar 13. Robot AGV berpindah posisi dari titik koordinat "P" menuju titik koordinat "A"



Gambar 14. Hasil scan kamera pada titik koordinat "A"

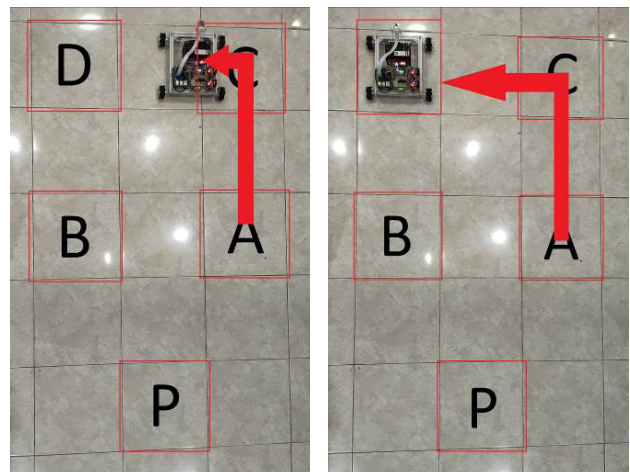


Gambar 15. (a) Input tujuan perpindahan robot AGV menuju titik koordinat "D"; (b) Algoritma perpindahan robot AGV

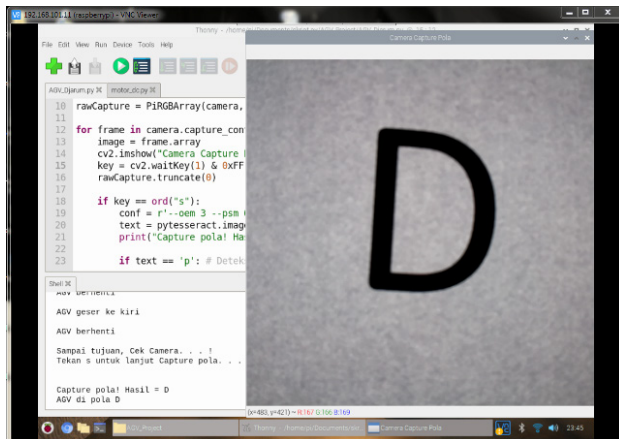
koordinat "A", maka AGV akan berhenti dan menunggu untuk *input* tujuan perpindahan selanjutnya. Dapat dilihat pada Gambar 14 bahwa AGV berhenti tepat pada titik koordinat "A".

Selanjutnya, kembali dilakukan pengujian perpindahan posisi robot AGV dari titik koordinat "A" menuju titik koordinat "D". *Input* perpindahan titik koordinat "D" dapat dilihat pada Gambar 15. Maka, pergerakan robot AGV dari titik koordinat "A" menuju titik koordinat "D" ditunjukkan pada Gambar 16.

Lalu, kamera kembali mendeteksi posisi dari robot AGV. Bilamana posisi tersebut sudah sesuai dengan



Gambar 16. Robot AGV berpindah posisi dari titik koordinat "A" menuju titik koordinat "D"

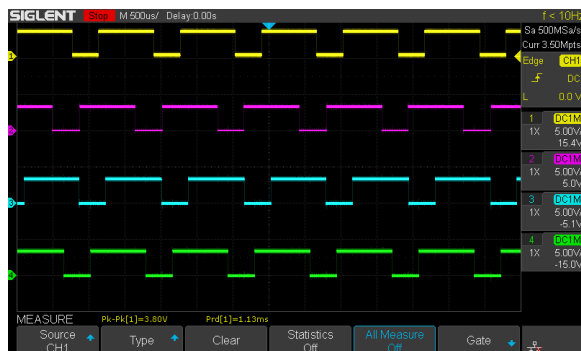


Gambar 17. Hasil scan kamera pada titik koordinat “D”

titik koordinat “D”, maka AGV akan berhenti seperti sebelumnya. Dapat dilihat pada Gambar 17 menunjukkan bahwa AGV berhenti tepat pada titik koordinat “D”.

C. Hasil Pengukuran

Di bawah ini dilakukan beberapa pengukuran pada beberapa arah jalan perpindahan oleh robot AGV. Dengan parameter pengukuran *Pulse Width Modulation* (PWM) menggunakan osiloskop, kecepatan dalam RPM



(a)

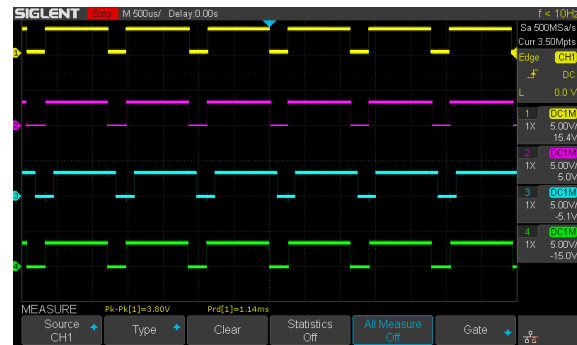


(b)



(c)

Gambar 18. (a) Hasil PWM duty cycle 70% ; (b) Hasil kecepatan 207.8 RPM ; (c) Tegangan yang dihasilkan 7.65V



(a)



(b)



(c)

Gambar 19. (a) Hasil PWM duty cycle 80% ; (b) Hasil kecepatan 215 RPM ; (c) Tegangan yang dihasilkan 7.89V

menggunakan *tachometer digital*, dan tegangan keluaran dari *duty cycle* yang berfungsi untuk mengatur putaran roda dengan menggunakan *voltmeter*.

1. Pengukuran pada Arah Jalan Maju

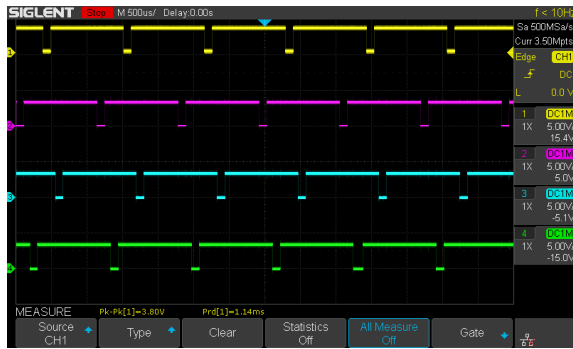
Pengukuran dilakukan dengan mengatur *duty cycle* menjadi 70% pada arah yang sama seperti pada Gambar 18(a). Lalu, Gambar 18(b) menunjukkan kecepatan yang dihasilkan yaitu 207.8 RPM. Dan tegangan keluaran sebesar 7.65 Volt DC yang dapat dilihat pada Gambar 18(c).

2. Pengukuran pada Arah Jalan Putar

Kemudian dilakukan pengukuran pada arah jalan putar kanan dan kiri. Dengan diaturnya besaran *duty cycle* menjadi 80%, perubahan bentuk PWM dapat dilihat pada Gambar 19(a). Kemudian, pada tegangan keluaran sebesar 7.89 Volt DC seperti pada Gambar 19(c) dihasilkan kecepatan 215 RPM yang dapat dilihat pada Gambar 19(b).

3. Pengukuran pada Arah Jalan Geser

Duty cycle diatur menjadi 90% untuk pengukuran arah jalan geser kanan dan kiri. Bentuk PWM dapat dilihat pada Gambar 20(a) di bawah ini. Lalu, menghasilkan kecepatan 220.3 RPM seperti Gambar 20(b) dan tegangan keluaran sebesar 8.13 Volt DC pada Gambar 20(c).



(a)



(b)



(c)

Gambar 20. (a) Hasil PWM duty cycle 90% ; (b) Hasil kecepatan 220.3 RPM ; (c) Tegangan yang dihasilkan 8.13V

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil uji sistem *computer vision* untuk navigasi AGV 4WD berbasis Raspberry Pi, maka dapat disimpulkan bahwa:

- Robot AGV bekerja dengan baik dan memiliki fisik yang kecil, sehingga terlihat rapih dan ringkas.
- Perpindahan robot AGV dari titik koordinat (x,y) sampai dengan titik koordinat (x',y') sangat tepat dan presisi.
- Dengan memasang modul *driver* motor L298N dapat memudahkan dalam *men-setting* program dalam bahasa python, sehingga hasil sinyal yang dikirimkan ke motor DC dapat langsung digunakan.
- Menggunakan motor DC yang memiliki kinerja sangat baik dalam torka maupun kecepatan yang dihasilkan. Roda yang digunakan merupakan *mecanum wheels*, sehingga mampu manuver dengan lincah dan cepat.
- Robot AGV ini mampu menjadi acuan dan digunakan dalam bidang industri.

REFERENSI

- [1] N. T. Jayanti, A. Rusdinar, and A. S. Wibowo, "Perancangan sistem pengontrolan pergerakan automated guided vehicle (agv) untuk menarik troli menggunakan sensor lidar," e-Proceedings of Engineering, vol. 4, no. 2, 2017, pp. 1596–1603.
- [2] H. Wicaksono and I. Nilkhamhang, "Glocal controller-based formation control strategy for flexible material handling," IEEE International Conference of the Society of Instrument and Control Engineers, 2017, pp. 787–792.
- [3] I. Draganjac, D. Miklič, Z. Kovačić, G. Vasiljević and S. Bogdan, "Decentralized control of multi-agv systems in autonomous warehousing applications," IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, vol. 13, no. 4, pp. 1433–1447, 2016.
- [4] R. K. Piyare and R. Singh, "Wireless control of an automated guided vehicle," Proceedings of the International Multi Conference of Engineers and Computer Scientist, vol. II, 2011, pp. 828 – 833.
- [5] Raspberry Pi, "Datasheet raspberry pi 3 model b technical specification," [Online], <http://www.farnell.com/datasheets/2027912.pdf>, tanggal akses: 16-Jun-2020.
- [6] A. Eames, The Official Raspberry Pi Projects Book, Edition I, London: Liz Upton, 2015.
- [7] Raspberry Pi, "Datasheet raspberry pi 4 model b", [Online] <http://www.farnell.com/datasheets/2819352.pdf>, tanggal akses: 16-Jun-2020.
- [8] A. A. Abed and S. A. Rahman, "Computer vision for object recognition and tracking based on raspberry pi," International Conference on Change, Innovation, Informatics and Disruptive Technology ICCIITD, 2016, pp. 177–189.
- [9] W. T. Freeman et al., "Computer vision for interactive computer graphics," IEEE Computer Graphics and Applications, vol. 18, no. 3, pp. 42–53, 1998.
- [10] X. Zhou, T. Chen, and Y. Zhang, "Research on intelligent agv control system," Proc. 2018 Chinese Autom. Congr. CAC, pp. 58–61, 2018.
- [11] X. Lin, Y. Liu, and Y. Wang, "Design and research of dc motor speed control system based on improved bas," Proc. Chinese Automation Congress (CAC), 2018, pp. 3701–3705.
- [12] M. Sahana, S. Angadi, and A. B. Raju, "Speed control of separately excited dc motor using class a chopper," International Conference on Circuits, Controls, Communications and Computing (I4C), no. 1, 2016, pp. 1–6.
- [13] R. Wen and M. Tong, "Mecanum wheels with astar algorithm and fuzzy PID algorithm based on genetic algorithm," International Conference on Robotics and Automation Sciences (ICRAS), 2017, pp. 114–118.
- [14] M. Y. Naing, A. S. Oo, I. Nilkhamhang and T. Than, "Development of computer vision-based movement controlling in mecanum wheel robotic car," First International Symposium on Instrumentation, Control, Artificial Intelligence, and Robotics (ICA-SYMP), 2019, pp. 45–48.
- [15] Handson Technology, "User manual v1.2 esp8266 nodemcu wifi devkit," [Online] <https://pdf4pro.com/fullscreen/handson-technology-5a77a7.html>, tanggal akses: 07-Jul-2020.