

DESAIN DAN IMPLEMENTASI SISTEM NAVIGASI PADA AUTOMATED GUIDED VEHICLE (AGV)

Fakih Irsyadi^{1*}, Dinar Nugroho Pratomo¹, Sugeng Julianto¹, Muhammad Shofuwan Anwar¹, Alfonzo Aruga Paripurna Barus¹

¹Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada

*E-mail: fakih.irsyadi@ugm.ac.id

Abstract – *Automated Guided Vehicle (AGV) is an autonomous robot which is widely used in modern industry. AGV is commonly used as a transporter robot. It can be used to transport things from one place to another place. There are several reasons that make AGV is popularly used in modern industry, such as, high precision, secure, low operation cost and low maintenance cost. This research aims to build mechanical and navigation system for AGV. The navigation system consists of line sensor, RFID reader and rotary encoder. The testing result show that mechanical and electrical system of AGV robot was successfully finished. Each part of navigation system works well according to the design. Line sensor can be used for path detection with a given threshold values. Rotary encoder can be used to measure the speed of AGV with maximum of error is less than 2,5%. This result shows that every part of AGV is ready to run localization and navigation algorithm, even though, it needs to do some improvement on driving parts and RFID reading mechanism.*

Keywords : *automated guided vehicle, industrial robot, autonomous robot, navigation system*

Intisari – *Automated Guided Vehicle (AGV) merupakan sebuah robot otonom yang secara luas digunakan di industri moderen. AGV seringkali digunakan sebagai robot pemindah barang menggantikan forklift. Tingkat akurasi dan keamanan yang tinggi serta biaya operasional dan perawatan yang rendah merupakan beberapa alasan penggunaan robot AGV di Industri. Penelitian ini bertujuan untuk membangun sistem mekanik dan merancang sistem navigasi pada AGV. Sistem navigasi terdiri dari sensor garis, perangkat pembaca RFID dan rotary encoder. Proses pengujian sistem dilakukan dengan menguji fungsionalitas dari setiap komponen penyusun AGV secara terpisah. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mekanik dan elektronik AGV berhasil dibangun. Setiap perangkat pada sistem navigasi bekerja sesuai dengan rancangan. Sensor garis dapat mendeteksi garis lintasan dengan nilai *threshold* yang diberikan. RFID reader dapat mendeteksi kartu RFID yang dipasang pada jalur lintasan. Rotary encoder dapat digunakan untuk menghitung kecepatan roda AGV dengan tingkat kesalahan kurang dari sebesar 2,5%. Hasil ini menunjukkan bahwa seluruh komponen penyusun AGV siap digunakan dan diintegrasikan untuk menjalankan algoritma lokalisasi dan navigasi meskipun perlu dilakukan perbaikan pada mekanik penggerak maupun mekanisme pembacaan RFID.*

Kata kunci : *automated guided vehicle, robot industri, robot otonom, sistem navigasi*

I. PENDAHULUAN

Industri terus berevolusi guna menghasilkan peningkatan efisiensi proses produksi serta hasil dan kualitas produksi. Sejarah mencatatkan bahwa revolusi industri bermula pada tahun 1784 dimana ditemukannya mesin uap sebagai penggerak mesin industri. Revolusi industri kedua, pada tahun 1870, ditandai dengan penggunaan mesin-mesin listrik yang memungkinkan untuk melakukan produksi massal. Tahun 1970, merupakan awal revolusi industri ketiga yang ditandai penggunaan sistem komputerisasi dan PLC untuk menciptakan otomasi industri. Saat ini merupakan era industri 4.0 dimana penggunaan *internet of things* (IoT) memungkinkan untuk terhubungnya sistem fisik dengan sistem teknologi informasi, *cyber physical system* (CPS), yang berdampak pada optimalisasi proses industri [1]. Salah satu pilar dari industri 4.0 adalah *autonomous robot*. *Automated Guided Vehicle* (AGV) merupakan salah satu contoh *autonomous robot* yang ada di industri. AGV sering digunakan pada proses *material handling* khususnya pada industri manufaktur [2]. AGV menggantikan sistem konvensional yang sebelumnya dilakukan secara manual pada industri modern. Dibandingkan dengan penggunaan *forklift*, dalam kegiatan *material handling*, AGV mempunyai keunggulan antara lain tingkat akurasi posisi tinggi, waktu operasi yang lebih lama, biaya

operasional dan perawatan yang rendah, serta tingkat keamanan yang tinggi [3]. AGV merupakan sebuah robot yang bekerja secara *autonomous*, yaitu dapat berpindah dan melakukan beberapa macam pekerjaan tanpa adanya intervensi dari manusia [4]. Pergerakan AGV dikendalikan oleh sistem navigasi yang memproses informasi serta pengetahuan yang didapat dari hasil pembacaan sensor.

AGV melakukan beberapa urutan langkah untuk dapat melakukan pergerakan. Pertama, robot mengesktraksi informasi lingkungan dari pembacaan sensor (*perception*). Selanjutnya, informasi yang didapat, pada proses *perception*, digunakan sebagai masukan algoritma untuk mengidentifikasi lokasi robot (*localization*). Setelah estimasi lokasi terkini robot diketahui, selanjutnya dibandingkan dengan dengan target lokasi untuk menentukan aksi selanjutnya. Robot mengeksekusi pergerakan dan melakukan navigasi menuju ke lokasi akhir (*movement control*) [5].

Penelitian ini bertujuan untuk membangun sistem mekanik dan elektronik AGV serta merancang sistem navigasi pada AGV yang nantinya akan digunakan sebagai media pembelajaran dan penelitian di Laboratorium Otomasi Industri, Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Sekolah Vokasi UGM. Tujuannya adalah dapat mendukung program *link and match* Ditjen Vokasi melalui penyediaan lingkungan pembelajaran dan laboratorium yang representatif dengan kondisi industri.

Sistem AGV terdiri dari sistem penggerak AGV (motor DC dan *gearbox*) dan sistem elektronik. Salah satu bagian dari sistem elektronik AGV adalah sistem navigasi. Sistem navigasi terdiri dari beberapa perangkat yaitu, sensor garis, perangkat pembaca RFID dan *rotary encoder*. Sensor garis tersusun dari sejumlah LED dan sensor photodiode yang dapat digunakan untuk mendeteksi garis pada lintasan robot dan menghitung nilai *error* posisi sebagai masukan untuk algoritma susur garis [6]. Perangkat pembaca RFID dipasang untuk membaca kartu RFID yang diletakkan pada dasar lintasan untuk mendapatkan informasi lokasi [5]. Sedangkan *rotary encoder* dapat digunakan untuk menghitung kecepatan serta jarak tempuh (*odometry*) AGV [7]. Seluruh proses pengembangan dan pengujian dilakukan di laboratorium. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian fungsionalitas setiap komponen penyusun AGV. Hasil pengujian diharapkan dapat melihat kesesuaian fungsi setiap komponen dan potensi sistem AGV untuk digunakan pada implementasi berbagai algoritma pengendalian dan navigasi.

II. METODE PENELITIAN

Bagian ini akan menjelaskan mengenai komponen utama penyusun sistem mekanik dan navigasi yang dibuat pada penelitian ini. Sistem navigasi yang dibuat berupa sensor garis sebagai penunjuk robot saat berjalan menyusuri garis lintasan dan RFID *reader* sebagai perangkat identifikasi lokasi robot. Pada penelitian ini juga akan dirancang sensor kecepatan robot dengan memanfaatkan hasil pembacaan *rotary encoder* yang telah terpasang pada motor penggerak robot.

A. Differential Drive Mobile Robot

Robot dengan penggerak diferensial (*differential drive*) adalah robot yang menggunakan 2 penggerak yang dipasang pada kedua rodanya dan bergerak secara *independent* [8]. Tipe robot ini dilengkapi dengan 1 atau 2 roda pasif (*caster wheels*) yang bertujuan untuk mempertahankan keseimbangan robot.

Setiap roda dapat diatur untuk bergerak dengan kecepatan dan arah putar yang berbeda, sehingga memungkinkan robot untuk dapat bergerak lurus maupun melingkar. Jika robot pergerakan melingkar, robot harus berputar mengilingi suatu titik yang berada sejajar dengan sumbu kedua rodanya, yang disebut sebagai *Instantaneous Center of Curvature (ICC)*. Perubahan kecepatan setiap roda akan merubah lintasan robot. Kecepatan sudut robot (terhadap ICC) harus sama untuk kedua roda, sehingga dapat berlaku beberapa persamaan (1) dan (2) sebagai berikut. [9]

$$\omega \left(R + \frac{l}{2} \right) = v_r \quad (1)$$

$$\omega \left(R - \frac{l}{2} \right) = v_l \quad (2)$$

dimana

l : Jarak antara kedua roda.

v_r : Kecepatan roda kanan terhadap tanah.

v_l : Kecepatan roda kiri terhadap tanah.

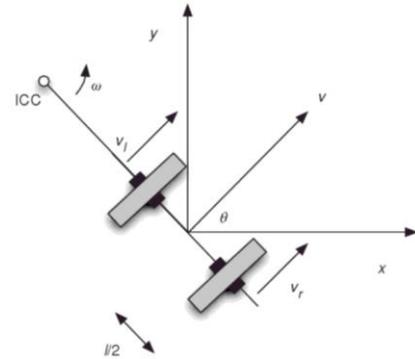
R : Jarak titik tengah robot dengan titik pusat rotasi.

Nilai kecepatan sudut robot terhadap titik pusat rotasi (ω) dapat dicari dengan mengurangkan persamaan (1) dan (2) sehingga didapat persamaan (3) sebagai berikut.

$$\omega = \frac{v_r - v_l}{l} \quad (3)$$

Kecepatan sudut robot (ω) merepresentasikan kecepatan robot saat berubah orientasi.

Gambar 1 menunjukkan representasi variabel pada robot dengan penggerak diferensial.



Gambar 1. Representasi robot dengan penggerak diferensial [9]

Nilai jarak pusat robot dengan sumbu rotasi (R) dapat dicari dengan menjumlahkan persamaan (1) dan (2) sehingga didapat persamaan (4) sebagai berikut.

$$R = \frac{v_r + v_l}{v_r - v_l} \quad (4)$$

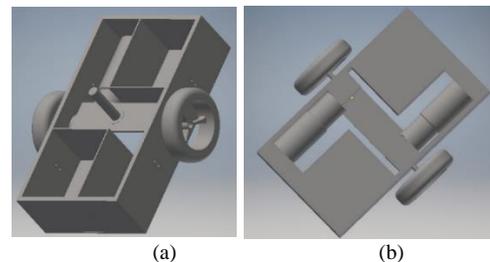
Persamaan (3) dan (4) menunjukkan beberapa jenis pergerakan yang dapat dilakukan oleh robot yaitu:

- Jika $v_r = v_l$, robot bergerak lurus karena nilai R tak hingga dan $\omega = 0$ atau tidak ada perputaran.
- Jika $v_l = -v_r$, robot berputar di tempat atau berputar dengan titik pusat perputaran berada pada titik pusat robot ($R = 0$).
- Jika $v_l = 0$ dan $v_r \neq 0$, robot akan berputar berlawanan arah jarum jam dengan pusat rotasi berada pada roda kiri ($R = \frac{l}{2}$) dan berlaku sebaliknya.

Robot AGV yang dirancang pada penelitian ini menggunakan mekanisme penggerak diferensial dengan 2 *caster wheel* yang dipasang pada sisi depan dan belakang robot.

B. Automated Guided Vehicle (AGV)

Perancangan awal mekanik AGV dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak 3D *modeling*. Gambar 2 menunjukkan rancangan awal AGV yang akan dibangun.

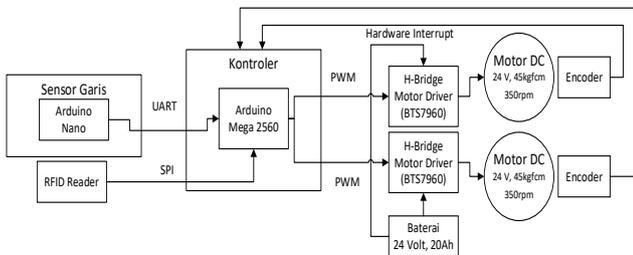


Gambar 2. (a) Rancangan mekanik AGV tampak atas; (b) Rancangan mekanik AGV tampak bawah

Gambar 2 menunjukkan rancangan dan ide awal mekanik AGV yang akan dibuat. Terdapat tiang pada bagian tengah AGV sebagai pengait ketika nantinya AGV digunakan untuk memindahkan barang menggunakan *trolley*. Selanjutnya

rancangan awal difinalisasi bersama dengan tim dari mitra (bengkel mekanik) terkait perancangan transmisi penggerak, penambahan *caster wheel* dan dilanjutkan dilakukan dengan realisasi pembuatan mekanik AGV.

Gambar 3 menunjukkan diagram blok kelistrikan dari AGV yang telah dibuat. Pada sistem ini, Arduino Mega 2560 digunakan sebagai kontroler utama dari AGV. Arduino Mega 2560 dipilih karena ketersediaan pin I/O, jalur komunikasi serial serta pin *Hardware interrupt* yang cukup atau sesuai dengan kebutuhan sistem. Terdapat Arduino Nano yang dipasang pada sensor garis. Penempatan mikrokontroler pada sensor garis bertujuan untuk mengurangi beban komputasi pada kontroler utama. Arduino Nano membaca nilai setiap sensor dan mengkonversikannya menjadi nilai *Pulse Width Modulation* (PWM) melalui algoritma penyusur garis. Arduino Nano memiliki 8bit PWM, dengan *range* nilai PWM (0-255). Selanjutnya nilai PWM dikirimkan ke kontroler untuk digunakan pada mengendalikan kecepatan setiap motor/roda robot melalui driver motor. Pada sistem ini juga terdapat perangkat pembaca RFID yang datanya diambil oleh kontroler melalui komunikasi data SPI. Motor DC 24 volt, 45kgfcm, digunakan sebagai motor penggerak robot AGV.

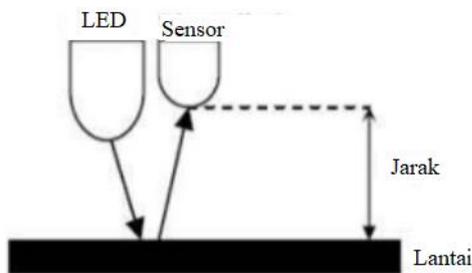


Gambar 3. Diagram blok sistem

Motor DC yang digunakan mempunyai internal *rotary encoder* yang nantinya digunakan sebagai sensor kecepatan dan odometer.

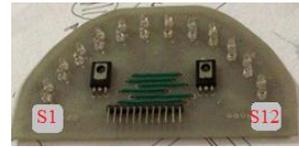
C. Mekanisme Pembacaan Sensor Garis

Pada sistem yang dirancang, pembacaan garis lintasan menggunakan kombinasi antara beberapa LED dan sensor photodiode. Pada dasarnya, akan terjadi perubahan nilai resistansi pada sensor photodiode jika terkena pantulan cahaya. Ilustrasi prinsip kerja sensor garis ditunjukkan pada gambar 4 sebagai berikut.



Gambar 4. Prinsip kerja sensor garis

Apabila cahaya pantul yang diterima banyak, maka nilai resistansinya akan mengecil dan apabila cahaya pantul sedikit, maka nilai resistansinya menjadi besar. Selanjutnya hasil pembacaan sensor diubah menjadi tegangan dan akan dibaca oleh pin ADC mikrokontroler [10]. Gambar 5(a) menunjukkan sensor garis yang digunakan pada AGV.



(a)



(b)

Gambar 5. (a) Sensor garis; (b) Rotary encoder

Sensor garis menggunakan 12 pasang LED dan sensor photodiode yang tersusun secara melengkung. Hal ini bertujuan untuk mengatasi lintasan dengan belokan tajam. Terdapat 2 buah transistor yang berfungsi untuk mengaktifkan sensor dan LED sisi kanan (S1-S4) dan kiri (S5-S12) secara bergantian. Metode *switching* digunakan untuk mengatasi keterbatasan pin ADC dari Arduino Nano.



Gambar 6. Pemasangan sensor garis dan pembaca RFID;

Proses pembacaan sensor garis dilakukan secara khusus oleh Arduino Nano termasuk mekanisme *switching* sehingga tidak mempengaruhi performansi pembacaan sensor. Selanjutnya hasil pembacaan sensor dikonversi menjadi nilai diskrit yang dapat digunakan sebagai masukan algoritma sensor garis.

D. Mekanisme Perhitungan Kecepatan

Perhitungan kecepatan putar dilakukan dengan menghitung jumlah pulsa *rotary encoder* secara periodik. Perputaran motor menghasilkan pulsa *encoder* yang selanjutnya dideteksi oleh kontroler melalui mekanisme *hardware interrupt*.

Hasil percobaan menunjukkan *rotary encoder* yang digunakan, seperti yang terlihat pada gambar 5(b), mempunyai jumlah 339 pulsa setiap putaran. Sehingga kecepatan roda dapat dihitung dengan persamaan (5) sebagai berikut.

$$rpm = \frac{\text{Jumlah pulsa}/339}{\text{Time sampling}} \times 60 \tag{5}$$

E. Mekanisme Identifikasi Lokasi

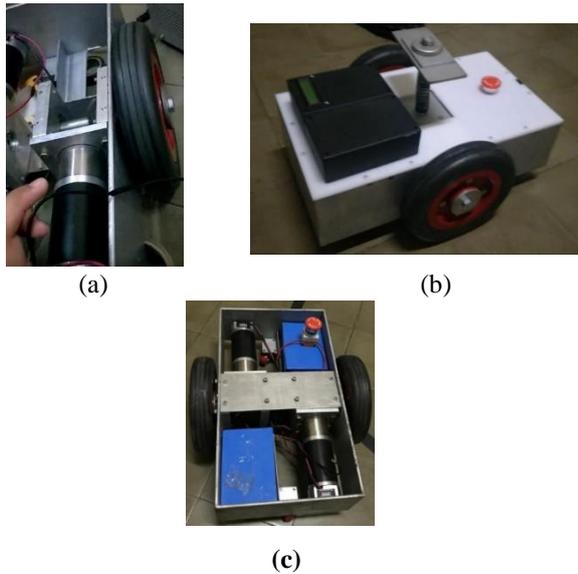
Identifikasi lokasi robot dilakukan dengan cara melakukan pembacaan kartu RFID yang dipasang di jalur lintasan pada setiap lokasi *check point*. Sistem yang dirancang menggunakan perangkat RFID MFRC522. Data kartu RFID dibaca oleh kontroler melalui komunikasi data SPI.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Realisasi Sistem AGV

Secara garis besar, sistem mekanik AGV tersusun dari bagian kerangka dan penggerak. Pada penelitian ini, rangka AGV terbuat dari plat besi. Penggerak AGV tersusun dari *gearbox* jenis *bevel gear* untuk menghubungkan motor DC

dengan Roda berdiameter 20 cm. Gambar 7 menunjukkan sistem mekanik yang telah dibangun pada penelitian ini.



Gambar 7. (a) Penggerak AGV; (b) AGV; (c) Rangka AGV

B. Pengujian dan Pembahasan Hasil

Bagian ini akan menjelaskan mengenai mekanisme pengujian, pengambilan data serta pembahasan dan analisis data percobaan yang didapat. Pengambilan seluruh data dilakukan dengan menggunakan pemantauan dan pencatatan pada serial monitor yang terhubung dengan kontroler. Proses pengujian dan kalibrasi yang dilakukan pada penelitian ini meliputi pengujian fungsionalitas penggerak AGV, pembacaan garis, pembacaan *Radio Frequency Identification* (RFID) serta pembacaan dan kalibrasi sensor kecepatan.

a. Pengujian Fungsionalitas Penggerak AGV

Pengujian fungsionalitas penggerak dilakukan dengan memberikan variasi input PWM serta arah putar motor. Pengaturan kecepatan dan arah putar motor dilakukan dengan pemberian kombinasi nilai PWM pada kedua input driver motor. Pengaturan arah putar motor dilakukan dengan memberikan nilai PWM pada salah satu pin (PWML atau PWMR) dan memberikan nilai 5 volt pada pin PWM rangkaian *driver* motor. Putaran motor akan menggerakkan robot maju apabila PWMR diberikan suatu nilai PWM dan PWML bernilai nol dan begitupun sebaliknya. Kecepatan putar motor akan semakin cepat seiring dengan kenaikan nilai PWM yang diberikan. Pada penelitian ini pin PWM (8 bit) yang digunakan adalah pin 12 dan 11 untuk motor kanan serta pin 10 dan 9 untuk motor kiri dan motor mulai bergerak ketika diberikan input PWM 40. Hal menjadi satu keuntungan pada proses pengendalian robot karena range sinyal kendali yang dapat direspon motor lebar. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa timbul suara yang keras ketika motor dijalankan. Hal ini disebabkan karena sistem *gearbox* (*bevel gear*) pada penggerak robot tidak presisi sehingga sistem *gear* tidak dapat bertaut dengan baik.

b. Pengujian Pembacaan Garis

Pengujian sensor garis dilakukan dengan membaca garis (lakban) hitam yang ditempelkan pada permukaan putih. Pengujian dilakukan dengan mengubah posisi sensor terhadap garis secara manual. Hasil pembacaan sensor menunjukkan bahwa nilai sensor (nilai ADC) akan besar jika mengenai garis hitam. Pemilihan jarak sensor dengan garis saat pengujian

didasarkan atas kemungkinan jarak antara sensor dengan garis/permukaan lantai saat dipasangkan pada robot AGV. Tabel 1 menunjukkan data hasil pengujian sensor garis pada 2 variasi jarak sensor terhadap permukaan lintasan. Proses kuantisasi hasil pembacaan sensor dilakukan dengan memberikan *threshhold* pada setiap data pembacaan sensor. Nilai *threshhold* yang diberikan untuk setiap hasil pembacaan sensor photodiode adalah:

“*resh*[12]={200,300,200,200,200,200,200,150,200,200,200,200};”

Kombinasi nilai *threshhold* yang diberikan akan menyebabkan sensor akan bernilai 1 apabila terkena garis hitam dan akan tetap nol apabila terkena permukaan putih pada jarak pemasangan sensor 1cm terhadap permukaan.

Tabel 1. Hasil pengujian sensor garis

Sensor	Jarak 1 cm		Jarak 1,5 cm	
	Putih	Hitam	Putih	Hitam
S1	50	754	67	834
S2	61	840	90	846
S3	42	594	47	712
S4	47	782	48	707
S5	45	629	48	699
S6	45	729	48	740
S7	45	692	48	776
S8	124	934	246	916
S9	58	905	109	887
S10	39	654	43	644
S11	47	793	54	800
S12	53	864	191	899

Nilai *threshhold* tersebut tidak sepenuhnya berlaku untuk kasus pemasangan dengan jarak lain. Sehingga penentuan nilai *threshhold* didasarkan, salah satunya, dengan mempertimbangkan jarak antara sensor dengan garis lintasan/permukaan lantai.

c. Kalibrasi Pembacaan Kecepatan

Selanjutnya akan dilakukan pembacaan dan kalibrasi sensor kecepatan pada roda kanan dan roda kiri. Pengamatan dan pencatatan dilakukan dengan menggunakan serial monitor yang dikirimkan oleh kontroler. Kalibrasi kecepatan dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor dengan rpm meter. Pengukuran kecepatan dilakukan pada tegangan baterai 28,8 volt (tegangan maksimum 29,4 volt) sebelum masuk ke *buck converter* dan motor berputar pada arah yang menyebabkan robot bergerak maju. Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian. Data pengamatan dari sensor dipilih dari data yang sering muncul dikarenakan terdapat sedikit variasi nilai pada data pembacaan sensor.

Tabel 2. Hasil pengukuran dan kalibrasi sensor kecepatan

PWM	Kecepatan Roda Kiri (rpm)		Kecepatan Roda Kanan (rpm)	
	Sensor	Rpm meter	Sensor	Rpm meter
50	40,7	41,5	42,48	43,4
80	67,26	68,3	70,8	71,0
110	79,65	79,4	81,42	82,5
140	84,96	85	88,5	88,3
170	107,96	107,6	111,5	112,6
200	164,6	165	173,45	173,9
230	200	201,3	210,6	211,6

Hasil pengukurannya menunjukkan bahwa nilai pembacaan sensor *valid* dengan perbedaan nilai pembacaan maksimum sangat kecil, kurang dari 2,5%. Dari hasil pengukuran pula terlihat bahwa adanya perbedaan kecepatan antara motor kanan dan kiri saat diberikan nilai PWM yang sama. Hal ini nantinya dapat dijadikan catatan khusus sebelum dilakukan perancangan kendali pada robot AGV.

d. Pengujian Pembacaan RFID

Pada dasarnya pembacaan RFID dilakukan mengambil data dari komunikasi SPI pada perangkat pembaca RFID. Algoritma serta *listing code* yang digunakan pada pembacaan RFID menggunakan *library* (MFRC522.h) yang telah disebarluaskan secara *open source* pada [11]. Perangkat pembaca RFID telah terpasang pada AGV dan dapat membaca kartu RFID dengan jarak pembacaan hingga 2 cm. Proses pembacaan RFID dilakukan secara terus menerus sehingga berpotensi untuk mengganggu kinerja sistem. Selanjutnya fitur *interrupt* pada perangkat pembaca RFID dapat digunakan untuk mengatasi masalah ini. Perangkat pembaca RFID hanya akan membaca ketika terdeteksi kartu didalam area pembacaannya. Sehingga proses pembacaan kartu RFID tidak mengganggu kinerja sistem.

V. KESIMPULAN

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mekanik dan elektronik robot AGV berhasil dibangun. Setiap perangkat pada sistem navigasi bekerja sesuai dengan rancangan. Sensor garis dapat mendeteksi garis lintasan dengan pemberian nilai *threshold* yang diberikan. RFID *reader* dapat mendeteksi kartu RFID yang dipasang pada jalur lintasan, serta *rotary encoder* dapat digunakan untuk menghitung kecepatan roda AGV dengan tingkat kesalahan kurang dari 2,5%. Hasil ini menunjukkan bahwa seluruh perangkat pada AGV siap digunakan dan diintegrasikan untuk menjalankan algoritma sesuai dengan misi yang diberikan meskipun perlu dilakukan perbaikan pada sisi mekanik penggerak AGV maupun mekanisme pembacaan RFID.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dapat berjalan dengan pendanaan dari Hibah Dana Masyarakat (Dammas) Sekolah Vokasi UGM tahun anggaran 2020. Penulis juga ingin berterimakasih kepada tim teknis yang telah terlibat pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Vaidya, P. Ambad, and S. Bhosle, "Industry 4.0 - A Glimpse," in *Procedia Manufacturing*, 2018, vol. 20, pp. 233–238.
- [2] Wicaksono H, and Nilkhahang I, "Global Controller-based Formation Control Strategy for Flexible Material Handling," in *IEEE International Conference of the Society of Instrument and Control Engineers (SICE)*, 2017, pp. 787–792.
- [3] Draganjac I., et al., "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] P. K. Mohanty, A. K. Sah, V. Kumar and S. Kundu, "Application of Deep Q-Learning for Wheel Mobile Robot Navigation," 2017 3rd International Conference on Computational Intelligence and Networks (CINE), Odisha, India, 2017, pp. 88-93, doi: 10.1109/CINE.2017.11.
- [5] F. A. X. Da Mota, M. X. Rocha, J. J. P. C. Rodrigues, V. H. C. De Albuquerque, and A. R. De Alexandria, "Localization and navigation for autonomous mobile robots using petri nets in indoor environments," in *IEEE Access*, 2018, vol. 6, pp. 31665–31676.
- [6] K. Joni, M. Ulum, and Z. Abidin, "Robot Line Follower Berbasis Kendali Proportional-Integral-Derivative (PID) Untuk Lintasan Dengan Sudut Ekstrim," *J. Infotel*, vol. 8, no. 2, pp. 138–142, 2016.
- [7] Hakan Temeltas, "a Real-Time Localization Method for Agvs in Smart Factories," vol. 50, no. 2, pp. 45–50, 2018.
- [8] T. Bräunl, "Driving Robots," in *Driving Robots. In: Embedded Robotics*, 3rd ed., Springer, Berlin, Heidelberg, 2008, pp. 131–135.
- [9] G. Dudek and M. Jenkin, *Computational Principles of Mobile Robotics*, 2nd ed. New York: Cambridge University Press, 2010.
- [10] D. B. Susilo, H. Wibawanto, and A. Mulwinda, "Prototype Mesin Pengantar Barang Otomatis Menggunakan Load Cell Berbasis Robot Line Follower," *J. Tek. Elektro*, vol. 10, no. 1, pp. 23–29, 2018.
- [11] Rotzbua, Arduino library for MFRC522 and other RFID RC522 based modules. (2020). Retrieved from <https://github.com/miguelbalboa/rfid>