RANCANG BANGUN PROTOTIPE AUTOMATED GUIDED VEHICLE BERBASIS MIKROKONTROLER

Sandy Bhawana Mulia[1)], Wahyu Adhie Candra[2)*], Mohammad Faisal[3)]
Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika, Politeknik Manufaktur Bandung
Email: sandy@ae.polman-bandung.ac.id[1)], wahyu@ae.polman-bandung.ac.id[2)], mohfaisal.id@gmail.com[3)]

Abstrak
Autonomatic guided vehicle (AGV) merupakan salah satu jenis robot pengangkut barang yang memiliki roda dan dapat berpindah tempat dengan panduan sensor (Abdurrahman et al., 2020). Beragam bentuk lintasan yang akan dilalui oleh robot akan mempengaruhi kecepatannya. Tujuan pembuatan prototipe ini adalah untuk mengetahui AGV yang dirancang dapat mengikuti jalur yang ditentukan oleh user. Selain itu, pada penelitian ini prototipe menggunakan mikrokontroler robotdyn dan mengunakan sistem kendali PID untuk mengatur kecepatan dua buah motor dc yang berdampak pada posisi robot agar selalu mengikuti jalur dimana umpan balik yang digunakan yaitu sensor IR 5 *channel* sebagai pembaca jalur. Digunakan juga RFID untuk mengidentifikasi sektor a dan sektor b. Dari hasil pengujian ini, AGV dapat berfungsi dengan baik dan dapat mengikuti jalur yang telah ditentukan, serta dapat berhenti di tiap stasiun untuk proses pemindahan material dan juga dapat memenuhi faktor keamanan seperti berhenti ketika terdapat halangan didepannya.

Kata Kunci: AGV, Robotdyn, IR 5 *Channel*, RFID

Abstract
Autonomatic guided vehicle (AGV) is a type of cargo transporting robot that has wheels and can move with sensor guidance (Abdurrahman et al., 2020). *Various forms of trajectories that will be traversed by the robot will affect its speed. The purpose of making this prototype is to find out which AGV is designed to follow the path specified by the user. In addition, in this research the prototype uses a robotdyn microcontroller and uses a PID control system to regulate the speed of two dc motors which have an impact on the position of the robot so that it always follows the path where the feedback is used, namely the 5 channel IR sensor as a path reader. RFID is also used to identify sector a and sector b. From the results of this test, AGV can function properly and can follow a predetermined path, and can stop at each station for the material transfer process and can also fulfill safety factors such as stopping when there is an obstacle in front of it.*

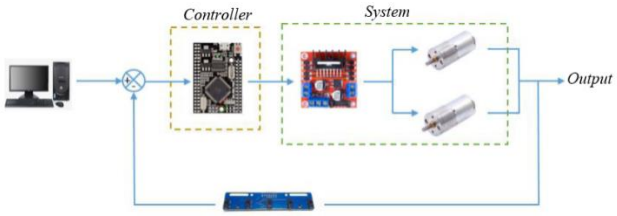
Keywords: *AGV, Robotdyn, IR 5 Channel, RFID*

I. PENDAHULUAN

AGV (Automated Guided Vehicle), adalah robot beroda yang dapat berjalan berdasarkan jalur yang telah ditentukan (Susilo, 2019). Dan pada umumnya AGV ini digunakan di industri manufaktur serta difungsikan sebagai robot pemindah barang menggantikan *forklift* (Irsyadi et al., 2021). Dimana tujuan akhirnya pengunaan AGV ini yaitu meminimalisir *human error* sehingga dapat memaksimalkan produksi (Riandini et al., 2019).

AGV merupakan suatu kendaraan yang dapat dikendalikan secara manual maupun otomatis menggunakan sistem navigasi dengan pengendalian pola gerakan menuju tempat yang dituju serta dapat akurasi posisi yang lebih tinggi, operasi lebih lama, pengurangan biaya operasi dan perawatan, dan meningkatkan keamanan (Justiadi et al., 2018). Sistem navigasi menjadi bagian terpenting agar AGV dapat bergerak secara mandiri.

Sistem navigasi AGV pada prototipe yang dirancang ini menggunakan sensor IR 5 *channel* dan perangkat pembaca RFID. Dapat dilihat pada Gambar 1. dibawah bahwa sistem AGV akan menggunakan Arduino sebagai *Controller*-nya dan motor DC sebagai sistem penggeraknya.



Gambar 1. Gambaran Umum Sistem

(sumber gambar: dokumen pribadi)

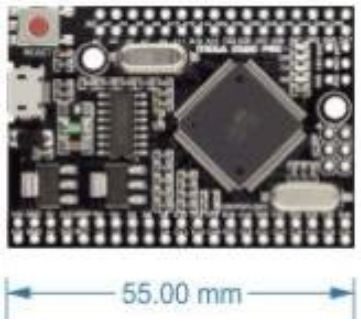
Berdasarkan pemaparan di atas, penelitian ini bertujuan untuk merancang bangun prototipe AGV menggunakan 2 penggerak yang dipasang dikedua rodanya serta dilengkapi 1 roda pasif (*caster wheels*) (Irsyadi et al., 2021). Garis hitam di lantai sebagai jalur dan AGV dilengkapi modul sensor IR 5 *channel* dan RFID yang memandu AGV untuk melakukan handling terhadap benda kerja. Selain itu, AGV menggunakan kendali PID dalam mengikuti garis sehingga dapat mengurangi *error* dalam menentukan jalurnya.

II. LANDASAN TEORI

2.1 Robotdyn Mega 2560 Pro

Robotdyn Mega 2560 Pro merupakan board Mikrokontroler berbasis ATmega2560. Board ini

sama dengan Arduino mega 2560 tetapi memilki bentuk yang ringkas berdimensi 38x55 mm. sehingga ini merupakan solusi yang bagus untuk proyek berbasis ATmega2560. Meskipun secara dimensi lebih kecil tetapi sama kokoh nya seperti Arduino Mega 2560.



Gambar 2. Board Robotdyn ATmega2560

(sumber gambar: https://robotdyn.com/mega-2560-pro-embed-ch340g-atmega2560-16au.html)

Robotdyn ATmega 2560 memiliki 54 pin digital input/output, dimana 15 pin dapat digunakan sebagai output PWM, 16 pin digunakan sebagai output analog, dan 4 pin sebagai UART(port serial hardware), 16Mhz kristal osilator, koneksi USB, headerICSP, dan tombol reset (Maulana Majid, 2016).

2.2 Sensor IR 5 *Channel* (TCRT500)

Sensor garis TCRT5000 adalah sensor gabungan dari sensor inframerah (pemancar) dan foto transistor (penerima) yang terintegrasi didalam modul tersebut. Fototransistor merupakan jenis transistor yang menggunakan kaki primer seperti fotokonduktor, yang dapat mengatur kinerja kaki primer yang selaras dengan intensitas penerimaan cahaya oleh Fotokonduktif (Pitriyanti et al., 2022). Prinsip operasinya, ketika fototransistor tidak menerima cahaya, fototransistor tidak beroperasi, sehingga arus (I) tidak mengalir dari kolektor (C) ke emitor (E) dan Vout naik (Indriyanto et al., 2020).

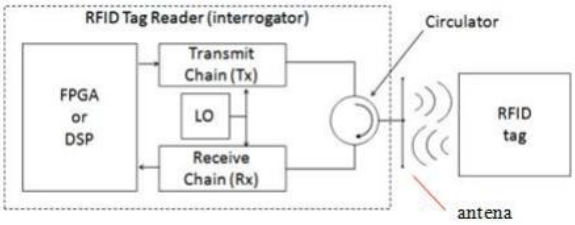


Gambar 3. Sensor IR 5 *Channel* (TCRT500)

(sumber gambar: https://www.circuits-diy.com/tcrt5000-ir-infrared-reflective-switch-line-track-sensor/)

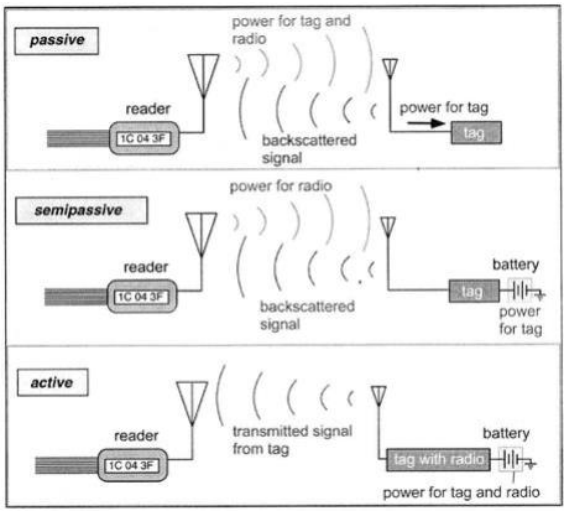
2.3 RFID

Pembagian tipe teknologi RFID didasarkan pada jenis frekuensi yang digunakan dan kemampuan untuk mengirim sinyal. Klasifikasi berdasarkan frekuensi kerja, tergolong menjadi tiga, yaitu, pada pita frekuensi, *low-frequency* (LF), *high-frequency* (HF), dan *ultra-high frequency* (UHF) (Djamal, 2014). Sementara klasifikasi berdasarkan kemampuan untuk mengirim sinyal dapat dibedakan menjadi sistem RFID aktif dan sistem RFID pasif. Secara diagram blok, sistem RFID aktif digambarkan pada Gambar 4 dibawah.



Gambar 4. Diagram blok sistem RFID (Djamal, 2014)

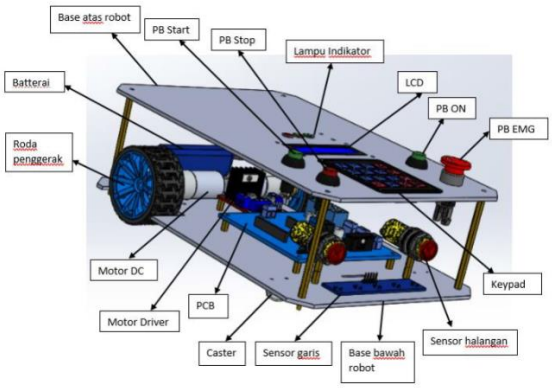
Sistem RFID terdiri dari dua bagian, yaitu RFID tag yang biasa juga disebut sebagai transponder, dan RFID *tag reader* atau *interrogator*. RFID *tag* yang berisi data, dilekatkan pada obyek, sedang RFID *tag reader* sebagai unit pemindai data. Kedua bagian sistem RFID tersebut berkomunikasi melalui udara yang sering disebut sebagai *air-interface*. Pada Gambar 4. digambarkan agak rinci bagian RFID *reader*-nya, yaitu adanya pemancar dan penerima serta circulator yang berfungsi untuk mengarahkan sinyal pancar dan sinyal terima ke dan dari RFID *tag*.



Gambar 5. Mekanisme pengambilan data sistem RFID (Djamal, 2014)

Melalui antena masing-masing, satu set perintah dikirim dan diterima diantara keduanya. Siklus tersebut dinamakan *inventory round*, dimana RFID *reader* mengidentifikasi kode elektronik satu produk (EPC, *electronic product code*) pada satu RFID *tag*. Untuk *tag* yang bersifat pasif (dibahas berikut ini), ide dasarnya adalah, *interrogator* memulai mengirim sinyal inisiasi yang berbentuk perintah 'bangun' (memberikan daya kecil pada kumparan rangkaian) kepada RFID *tag*. Sinyal tersebut ditanggapi RFID tag dengan mengirimkan informasi, yaitu berisi data yang termuat pada tag. Sinyal tersebut diolah oleh Blok FPGA (*field-programmable gate array*). Secara diagram blok, mekanisme identifikasi data kedua jenis *tag* tersebut ditunjukkan pada Gambar 5.

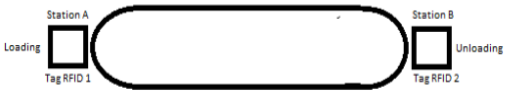
III. METODE PENELITIAN



Gambar 6. Prototipe AGV

(sumber gambar: dokumen pribadi)

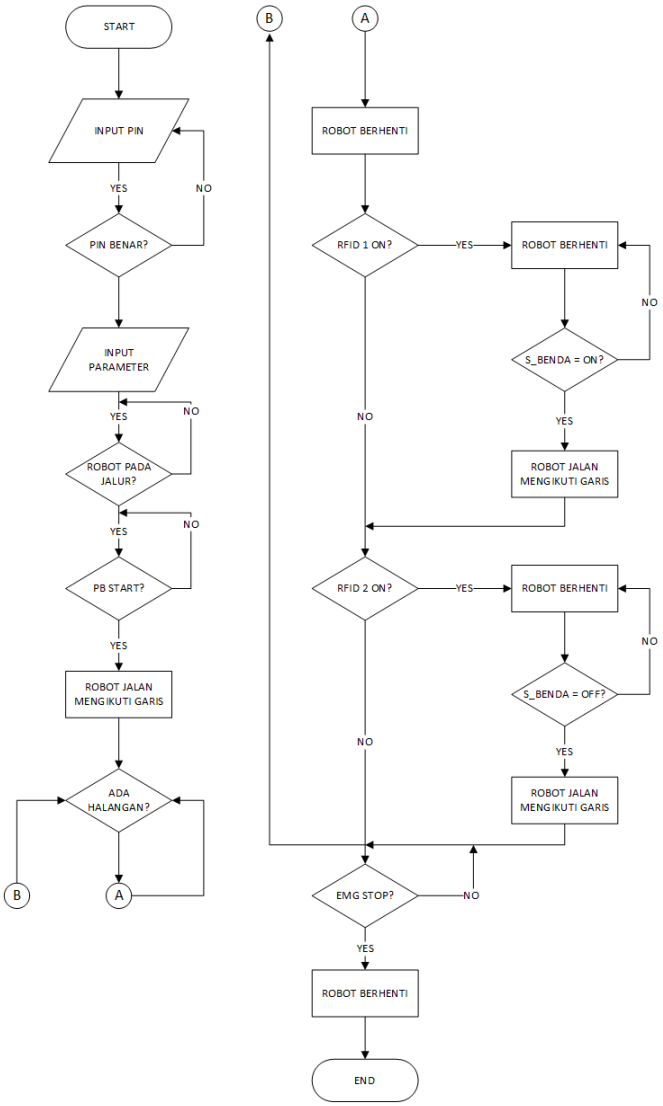
Berdasarkan Gambar 6. Di atas AGV ini akan membawa *pallet* yang menampung kotak berisi part *assembly* yang diibaratkan dengan benda kerja, dimana benda kerja tersebut di pindahkan dari stasiun A ke stasiun B. Seperti pada Gambar 7. stasiun A merupakan tempat loading benda kerja sedangkan stasiun B untuk tempat *unloading* benda kerja. Ketika proses pemindahan benda kerja terdapat sensor benda kerja yang terpasang di pallet yang terhubung ke pengendali AGV untuk mendeteksi ada nya benda kerja benda. Proses pemberentian di tiap stasiun menggunakan sistem RFID. Tiap stasiun memiliki tag RFID dengan ID yang berbeda.



Gambar 7. Layout Jalur AGV

(sumber gambar: dokumen pribadi)

A. Flowchart



Gambar 8. Flowchart Sistem

(sumber gambar: dokumen pribadi)

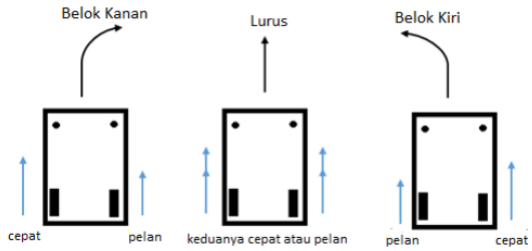
Berdasarkan Gambar 8. di atas menjelaskan bahwa sistem pada AGV dimulai dengan menghidupkan daya robot, kemudian untuk dapat mengoperasikan AGV user harus memasukkan PIN atau *password*. Jika PIN benar lalu memasukkan parameter seperti kecepatan, jika parameter sudah dengan yang dinginkan maka AGV bisa dijalankan dengan menekan tombol start dengan syarat robot harus berada pada jalur yang ditandai dengan lampu indikator hijau menyala atau status AGV pada LCD menampilkan *inline*.

Robot akan jalan mengikuti jalur yang telah ditentukan. Ketika AGV membaca tag RFID 1 maka AGV berhenti dan melakukan proses *loading* barang. Setelah material masuk yang ditandai dengan sensor barang aktif maka robot jalan lagi mengikuti jalur yang telah ditentukan menuju stasiun b. Saat di stasiun b robot akan membaca tag RFID yang ke 2 lalu robot akan berhenti dan melakukan proses *unloading* benda kerja. Setelah benda kerja selesai

dipindahkan yang ditandai dengan sensor barang tidak aktif maka robot jalan kembali ke stasiun a untuk mengambil benda kerja lagi.

B. Perancangan Model Penggerak

Model penggerak yang digunakan dalam sistem ini yaitu model Two Differential Drives as Steering. Untuk berbelok ke kiri, putaran roda kanan dibuat lebih cepat. Sebaliknya untuk berbelok ke kanan, putaran roda kiri dibuat lebih cepat. AGV ini menggunakan 2 buah roda sebagai penggerak yang terpasang pada Motor DC, serta 2 buah roda bantuan sebagai roda penyangga untuk membantu agar AGV dapat berdiri sejajar dan dapat berbelok. AGV ini hanya dapat bergerak 1 arah yaitu maju. Gambar 9. merupakan ilustrasi pergerakan dengan menggunakan 2 buah roda penggerak.

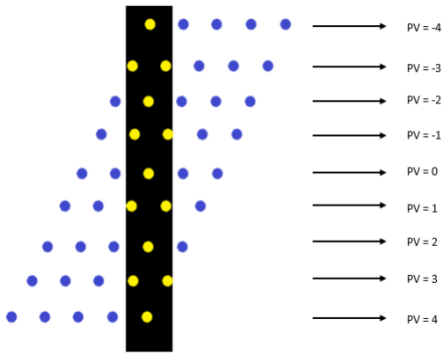


Gambar 9. Model Penggerak

(sumber gambar: dokumen pribadi)

C. Sistem Kendali

Sistem navigasi pada AGV ini menggunakan pengontrol PID. PID digunakan untuk mengontrol gerakan AGV dalam mengikuti garis, dengan menggunakan PID bertujuan juga untuk membuat pergerakan robot lebih halus dibandingkan menggunakan algoritma *control on off*. Sistem kendali yang dipakai termasuk dalam sistem kendali *loop* tertutup. Umpan balik pada kendali ini dihasilkan dari nilai pembacaan sensor garis. Nilai pembacaan sensor garis ditentukan dengan proses pemetaan sensor IR terhadap garis, berikut merupakan hasil pemetaan sensor terhadap garis.



Gambar 10. Pemetaan Nilai Sensor

(sumber gambar: dokumen pribadi)

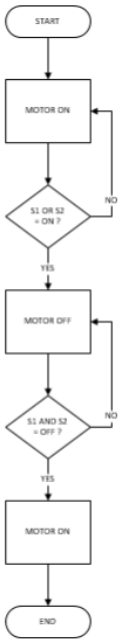
Berdasarkan Gambar 10. posisi robot di jaga agar berjalan lurus pada kondisi nilai PV = 0 Jika PV tidak sama dengan 0 berarti robot tidak berada pada kondisi ideal dan artinya ada error, nilai error tersebut diolah dengan formula PID. Lalu nilai perhitungan PID tersebut dijumlahkan dengan PWM untuk dijadikan sebagai nilai aktual PWM motor dari robot, berikut formula perhitungan nilai PWM kiri dan kanan.

PWM (kanan)= PWM+Nilai PID
PWM (kiri)=PWM-Nilai PID

Dengan mengetahui nilai PID, mikrokontroller dapat memberikan nilai PWM motor kiri dan kanan yang sesuai agar dapat menuju ke posisi ideal (PV = 0).

D. Sistem Deteksi Halangan

Terdapat 2 buah sensor IR digital yang ditempatkan di depan robot untuk mendeteksi adanya benda. Ketika salah satu atau kedua sensor aktif maka robot berhenti. Untuk membuat robot jalan kembali, kedua sensor harus tidak aktif. Gambar 11. berikut merupakan diagram alir perancangan sistem deteksi halangan.

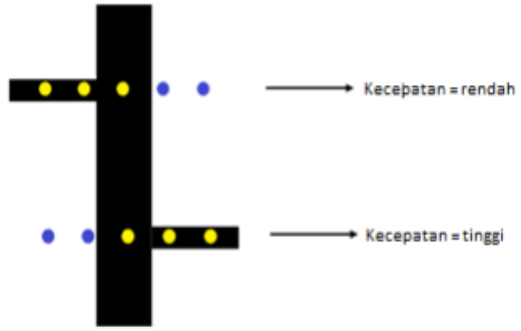


Gambar 11. Flowchart Sistem Deteksi Halangan

(sumber gambar: dokumen pribadi)

E. Sistem Perubahan Kecepatan

AGV ini memiliki 2 kecepatan yang berbeda. terdapat kecepatan rendah dan kecepatan tinggi, ketika memasuki tempat pemberhentian atau jalur belok maka robot berjalan pelan lalu ketika sudah meninggalkan tempat pemberhentian atau pada saat jalur lurus maka robot berjalan cepat.



Gambar 12. Sistem Perubahan Kecepatan

(sumber gambar: dokumen pribadi)

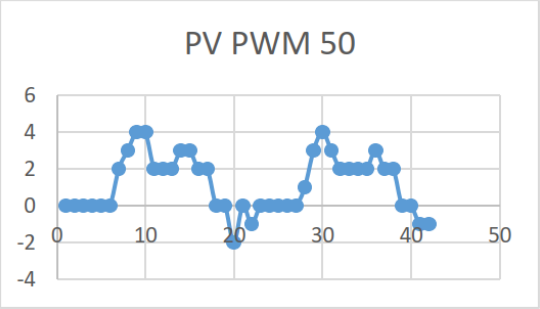
Untuk mengubah kecepatan robot maka dibuat tanda pada jalur agar sensor garis dapat mendeteksi kapan harus berjalan dengan kecepatan rendah atau kecepatan tinggi.

Jika di prototipe AGV akan dipasang 3 buah sensor di kiri dan membaca garis maka pada perhitungan output PWM akan berubah menjadi PWM dengan kecepatan rendah. Lalu jika 3 buah sensor di kanan membaca garis maka PWM berubah lagi menjadi PWM dengan kecepatan tinggi.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Sistem Kendali

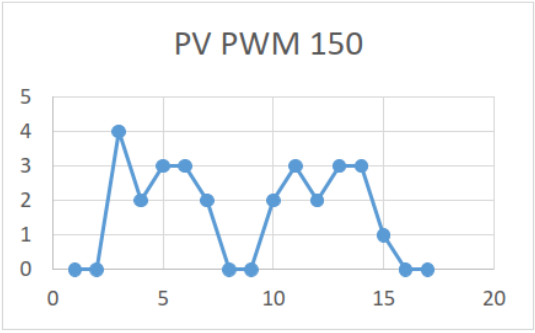
Setelah melakukan trial error didapat konstanta PID agar robot dapat berjalan mengikuti jalur yang telah ditentukan. Terdapat perbedaan pada saat kecepatan tinggi dan rendah. Dimana kecepatan tinggi diatur di PWM 150 dan kecepatan rendah di atur di PWM 50. Untuk kecepatan tinggi didapat Kp = 30, Kd = 0, Ki = 0 sedangkan pada kecepatan rendah didapat Kp = 5, Kd = 0, Ki = 0. Grafik dibawah merupakan hasil pembacaan nilai sensor ketika robot diuji di jalur.



Gambar 13. Grafik pembacaan sensor kecepatan rendah

(sumber gambar: dokumen pribadi)

Berdasarkan Gambar 13. Di atas ketika di jalur lurus hasil pembacaan sensor di angka 0 dan terdapat error dikarenakan robot melalui jalur belokan tetapi selalu memperbaiki posisi nya ke nilai set point 0 sehingga robot selalu dalam jalurnya. Sedangkan pada Gambar 14. di bawah ketika robot berjalan di trek lurus robot sempat menyimpang lalu kembali lagi menuju *set point*.



Gambar 14. Grafik pembacaan sensor kecepatan rendah

(sumber gambar: dokumen pribadi)

B. Pengujian Perubahan Kecepatan

Pengujian ini di lakukan untuk mengetahui nilai PWM kedua motor dari nilai pembacaan sensor dan juga menguji perubahan kecepatan ketika sensor membaca tanda perubahan kecepatan pada jalur.

Tabel 1. Perubahan PWM kecepatan rendah

Sensor Mendeteksi Tanda Sebelah Kiri				
PV	**PWMR**	**PWML**	**RPMR**	**RPML**
0	50	50	51.4	53.5
1	45	55	46.9	59.1
2	40	60	39.3	63.0
3	35	65	31.9	68.7
4	30	70	23.1	71.6
-1	55	45	56.9	48.0
-2	60	40	64	41.3
-3	65	35	66.8	33.0
-4	70	30	69.2	23.7

Tabel 2. Perubahan PWM kecepatan tinggi

Sensor Mendeteksi Tanda Sebelah Kiri				
PV	**PWMR**	**PWML**	**RPMR**	**RPML**
0	150	150	94.0	93.2
1	120	180	88.5	94.5
2	90	210	81.1	96.9
3	60	240	80.2	94.0
4	30	255	64.1	98.6
-1	180	120	97.5	88.2
-2	210	90	99.3	80.5
-3	240	60	99.7	66.4
-4	255	30	101.6	24.9

Pada Tabel 1. Dan 2. di atas didapatkan bahwa nilai PWM masing-masing motor pada tiap posisi pembacaan sensor. Dapat diperhatikan bahwa ketika robot mendeteksi tanda pada jalur sebelah kiri maka ketika PV bernilai 0 nilai PWM motor kanan dan motor kiri sama dan ketika pada saat nilai PV tidak sama dengan 0 maka nilai PWM motor kanan dan motor kiri memiliki nilai PWM yang berbeda sesuai dengan besarnya perubahan nilai PV. Semakin besar nilai perubahan PV maka semakin berkurang nilai PWM salah satu motor yang menyebabkan robot

dapat berbelok mengikuti jalur. Lalu dapat dilihat juga dari dua tabel diatas terdapat perbedaan PWM ketika robot mendeteksi tanda pada jalur sebelah kiri maka ketika PV bernilai 0 nilai PWM motor kanan dan motor kiri menjadi 50 yang membuat robot bergerak pelan Sedangkan ketika motor membaca tanda pada jalur sebaelah kanan maka ketika PV bernilai 0 nilai PWM motor berubah menjadi 150 yang membuat robot bergerak cepat.

Dari data diatas ketika kecepatan tinggi maupun kecepatan rendah, terdapat perbedaan RPM kedua motor ketika diberi PWM yang sama. akan tetapi karena perbedaanya tidak terlalu jauh maka robot masih bisa berjalan lurus.

C. Pengujian Sistem Halangan

Pengujian ini dilakukan dengan mengatur jarak pembacaan kedua sensor depan robot terlebih dahulu dengan cara mengatur potensiometer yang terdapat pada sensor. Jarak pembacaan kedua sensor di atur pada saat robot dalam keadaan diam dengan jarak yang sama yaitu 16 cm dari depan robot. Dari pengujian ini didapat data sebagai berikut.

Tabel 3. Pengujian Sistem Halangan

Percobaan	Kecepatan	Keadaan Robot	Jarak (cm)	Error (%)
1	Rendah	Berhenti	15.8	1.25
2	Rendah	Berhenti	15.0	6.25
3	Rendah	Berhenti	15.4	3.75
4	Rendah	Berhenti	15.6	2.50
5	Rendah	Berhenti	15.2	5.00
6	Tinggi	Berhenti	12.2	23.75
7	Tinggi	Berhenti	12.5	21.88
8	Tinggi	Berhenti	12.7	20.63
9	Tinggi	Berhenti	12.0	25.00
10	Tinggi	Berhenti	12.4	22.50

Berdasarkan Tabel 3. di atas bahwa 10 kali percobaan dengan kecepatan yang berbeda robot berhasil berhenti ketika terdapat halangan di depan nya ketika kecepatan kencang maupun pelan akan tetapi terdapat hal ini dikarenakan robot masih mempunyai momentum yang lebih besar dari gaya gesek statik yang menyebabkan posisi robot tidak sama dengan keaadaan ketika diam. Semakin besar kecepatan robot semakin besar momentum.

D. Pengujian Sistem Loading Unloading Barang

Pengujian ini dilakukan untuk mengatahui proses loading *unloading* AGV. Langkah pengujian dilakukan dengan menaruh benda kerja secara manual di atas palet pada bagian atas AGV.

Tabel 4. Pengujian Sistem *Loading Unloading* Barang

Percobaan	Kondisi Palet	Stasiun	Kondisi Robot
1	Tanpa Benda	A	Berhenti
2	Ada Benda	A	Jalan
3	Tanpa Benda	B	Jalan
4	Ada Benda	B	Berhenti

Pada tabel pengujian loading *unloading* benda kerja terlihat bahwa dari keempat percobaan dengan kondisi yang berbeda-beda. AGV berhasil melakukan proses *loading* dan *unloading* di tiap stasiun sesuai dengan yang direncanakan.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Untuk kerja dari Rancang Bangun Prototipe Automated Guided Vehicle Berbasis Mikrokontroler dapat dilaksanakan dan berfungsi dengan baik. Berdasarkan pengujian kendali PID mampu mengkoreksi nilai *error*, dimana nilai *error* tersebut diolah dengan perhitungan PID untuk dijadikan sinyal kendali yang diteruskan ke motor sehingga kecepatan motor dapat berubah-ubah sesuai dengan nilai pembacaan sensor sehingga nilai pembacaan sensor selalu mendekati nilai *set point* yang membuat robot dapat berjalan mengikuti garis yang telah ditentukan. Selain itu, AGV ini berhasil berhenti jika terdapat halangan didepannya serta berhasil memindahkan benda kerja dari stasiun A ke stasiun B.

5.2 Saran

Demi perbaikan atas kekurangan yang ada pada penelitian ini, maka untuk pengembangan AGV yang lebih baik penulis menyarankan beberapa hal seperti berikut ini:

1. Menambah encoder pada kedua motor agar kecepatan kedua motor dapat di kontrol sehingga pergerakan robot lebih baik lagi.
2. Mengganti bahan material pembuatan robot AGV dengan material yang lebih kuat seperti menggunakan plat baja.
3. Mengganti elemen transmisi menjadi menggunakan rantai dan sproket agar meminimalisir terjadinya patah pada as motor karena beban yang berat.

VI. DAFTAR PUSTAKA

Abdurrahman, R., Setiawan, B., & Siradjuddin, I. (2020). Sistem kontrol kecepatan robot automatic guided vehicle (AGV) dengan metode fuzzy logic. *ELTEK* , *18*(1), 85–93. http://eltek.polinema.ac.id/index.php/eltek

Djamal, H. (2014). Radio Frequency Identification (RFID) Dan Aplikasinya. *TESLA*, *16*(1), 45–55.

Indriyanto, S., Widadi, R., & Pamukti, L. (2020). Pemilah dan Penghitung Uang Logam Berdasarkan Diameter Menggunakan Sensor TCRT5000. *Journal of Telecommunication, Electronics, and Control Engineering (JTECE)*, *2*(1), 08–15. https://doi.org/10.20895/jtece.v2i1.111

Irsyadi, F., Pratomo, N., Julianto, S., Shofuwan Anwar, M., Aruga, A., & Barus, P. (2021). DESAIN DAN IMPLEMENTASI SISTEM NAVIGASI PADA AUTOMATED GUIDED

VEHICLE (AGV). *Jurnal Listrik, Instrumentasi Dan Elektronika Terapan*, *2*(1), 21–25.

Justiadi, Hair, J., & Yusdianto. (2018). Automated Guided Vehicle (AGV) Pengikut Garis Menggunakan Roda Mecanum Dengan Kendali PID Adaptif Terinterpolasi. *Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol Dan Otomasi (SNIKO)*.

Maulana Majid. (2016). *Implementasi Arduino Mega 2560 Untuk Kontrol Miniatur Elevator Barang Otomatis*.

Pitriyanti, L., Saragih, Y., Latifa, U., Elektro, T., Teknik, F., Singaperbangsa Karawang, U., Ronggo Waluyo, J. H., Telukjambe Timur, kec, Karawang, K., & Barat, J. (2022). Implementasi Modul Infrared Pada Rancang Bangun Smart Detection For Queue Otomatic Berbasis IoT. *Jurnal POLEKTRO: Jurnal Power Elektronik*, *11*(2), 188–193.

Riandini, Angga Aji Bagus Pangestu, M., & Yasmin, G. (2019). Pengisian Muatan Baterai Automated Guided Vehicle (AGV) Otomatis Berbasis Arduino Mega 2560. *JURNAL MATRIX*, *9*(2), 47–53.

Susilo, I. H. (2019). Algoritma Koordinasi untuk Prototipe Automated Guided Vehicle. *Jurnal Teknik Elektro*, *12*(2), 39–44. https://doi.org/10.9744/jte.11.2.37-40