

# Prototipe Robot *Automatic Guided Vehicle (AGV) Line Follower* Dengan Metode Kendali *Proportional Integral Derivative (PID)*

M. Rizki Noviardi<sup>1,2</sup>, Triyanto Pangaribowo<sup>1\*</sup>, Yuliza<sup>1</sup>, Fina Supegina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Elektro, Universitas Mercu Buana, Jakarta

<sup>2</sup>PT. Panasonic, Jakarta

\*triyanto.pangaribowo@mercubuana.ac.id

**Abstrak**— Era Revolusi Industri 4.0 telah semakin pesat, ditunjukkan dengan semakin banyak dan maraknya teknologi yang telah diciptakan dalam berbagai aspek kehidupan. Salah satu bentuk implementasi yang saat ini sedang dikembangkan di era revolusi industri 4.0 yaitu untuk mengganti beberapa peran manusia dengan menggunakan robot. Salah satu robot yang sudah mulai digunakan di beberapa perusahaan khususnya di negara maju adalah robot jenis AGV (*Automatic Guided Vehicle*). Robot AGV adalah robot yang digunakan untuk mengangkut barang dari suatu titik tempat awal menuju titik tujuan secara otomatis tanpa dikendalikan oleh operator. Kemampuan robot yang dapat dioperasikan tanpa operator ini juga dapat mengurangi tingkat kecelakaan kerja yang disebabkan dari kelalaian pekerja. Perancangan sistem alat yang dibuat pada penelitian ini yaitu berupa prototipe robot AGV dengan menggunakan 2 buah motor DC untuk menggerakkan 2 buah roda yang dikendalikan oleh driver motor L298N. Mikorokontroler yang digunakan adalah Arduino nano dan untuk sensor yang digunakan adalah sensor cahaya yang digunakan untuk mendeteksi garis lintasan robot. Selain 1 buah robot AGV, pada perancangan alat yang dibuat juga akan dibuat sebuah sistem yang digunakan pada area produksi dan *warehouse*, yang masing-masing terdiri dari mikrokontroler Arduino nano, modul *wireless* NRF24L01 dan ada tambahan sensor IRE18-D50NK pada *warehouse* dan push button pada area produksi. Berdasarkan data percobaan 10 kali pengujian yang dilakukan diperoleh persentase tingkat keberhasilan sebesar 90%. Terdapat 1 kali kegagalan, dimana robot tidak berhasil kembali ke home. Hal tersebut dikarenakan sensor yang gagal mendeteksi persimpangan.

**Kata Kunci**—AGV; Arduino; Line Follower; PID; Robot.

DOI: 10.22441/jitkom.v7i2.001

## Article History:

Received: June 2, 2022

Revised: July 4, 2023

Accepted: July 8, 2023

Published: July 15, 2023

## I. PENDAHULUAN

Era Revolusi Industri 4.0 telah semakin pesat, ditunjukkan dengan semakin banyak dan maraknya teknologi yang telah diciptakan dalam berbagai aspek kehidupan. Fasilitas yang dahulunya dioperasikan secara manual, kini telah banyak yang dioperasikan berbasis sistem otomatis. Tingginya tingkat efisiensi inilah yang banyak menarik minat perusahaan-perusahaan untuk mencapai Revolusi Industri 4.0. Adapun salah satu bentuk implementasi yang saat ini sedang dikembangkan yaitu untuk mengganti beberapa peran manusia dengan menggunakan robot.

Penelitian yang dilakukan oleh [1] dengan judul penelitian Prototype Mesin Pengantar Barang Otomatis Menggunakan Load Cell Berbasis Line follower. Dalam penelitian ini, prototipe yang dibuat fokus pada sensor load cell sebagai alat ukur beban dan akurasi sensor garis dalam mendeteksi garis. Sehingga belum dibuat suatu sistem robot pengantar barang yang dapat berkomunikasi dengan sistem warehouse dan sistem produksi secara otomatis.

Penelitian yang dilakukan oleh [2] dengan judul penelitian Rancang Bangun Prototype Robot Pengantar Barang Cargo Berbasis Arduino Mega dengan IoT. Dalam penelitian ini, konsep yang dibuat adalah sebuah robot yang dapat dikendalikan melalui android dengan komunikasi menggunakan modul Bluetooth. Dalam konsep robot yang dibuat juga belum dibuat suatu konsep komunikasi antara robot, sistem produksi, dan sistem warehouse secara otomatis.

Berdasarkan permasalahan yang ditemukan, maka penulis berinisiatif membuat suatu rancang bangun prototipe robot AGV Line follower dengan menggunakan kendali PID yang dapat memberikan gambaran ke perusahaan yang masih menggunakan teknologi manual untuk sistem material handling secara otomatis berbasis komunikasi wireless

## II. LITERATURE REVIEW

Pada penelitian sebelumnya, [3] melakukan Merancang robot pelayan restoran otomatis dengan mikrokontroler ATmega16 dengan menggunakan kendali PID untuk memperhalus proses navigasi. Kemudian [4] Merancang robot

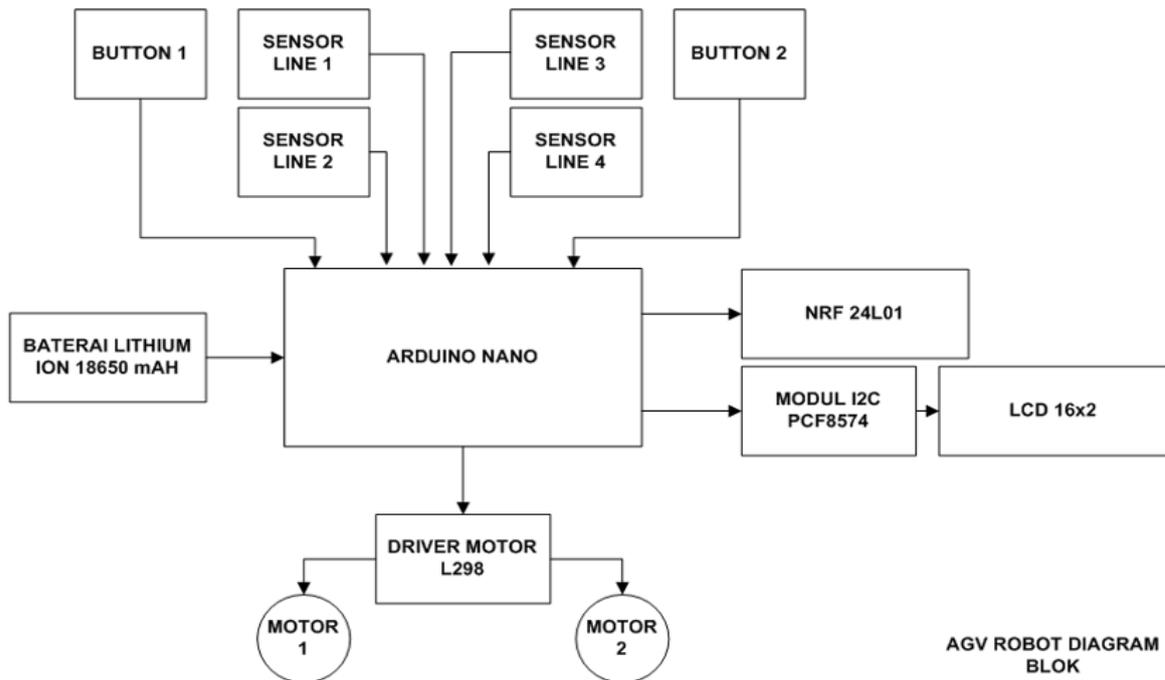
line follower untuk memindahkan objek warna dengan menggunakan kendali Arduino Mega2560. Lalu [5] Merancang sebuah robot AGV dengan Fuzzy [6] Logic Control berdasarkan path planning. Kemudian [7] Merancang sebuah robot line follower dengan kendali PID [8] [9], terakhir [10] Merancang robot line follower pemindah barang dengan menggunakan IC AT89S52.

### III. METODOLOGI PENELITIAN

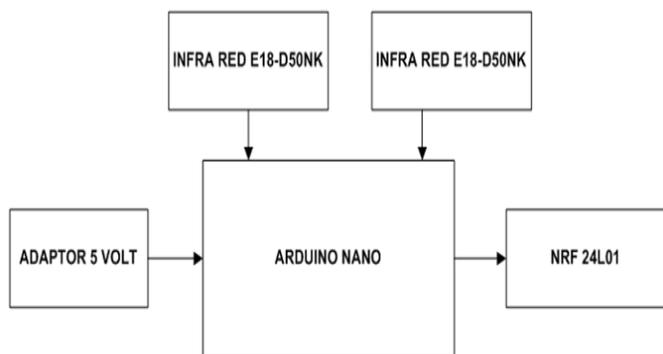
#### A. Blok Diagram

robot AGV terdiri dari 5 buah blok utama yang di dalamnya terdapat sub-sub sistem pendukung. Di bagian blok catu daya terdapat baterai Lithium Ion 18650 mAH yang digunakan

untuk mengaktifkan sistem robot secara keseluruhan. Bagian blok proses terdapat rangkaian Arduino Nano yang digunakan untuk mengendalikan seluruh input dan output rangkaian, Bagian blok input terdapat rangkaian sensor garis sebanyak 4 buah rangkaian dan 2 buah push button untuk menjalankan robot dan melakukan reset. Bagian blok output terdapat rangkaian modul NRF24L01 yang digunakan untuk komunikasi *wireless* dengan rangkaian pada area blok *warehouses* dan produksi. Rangkaian kedua di bagian output terdapat rangkaian penampil LCD 16x2 yang terkonfigurasi dengan modul I2C PCF8574. Rangkaian ketiga di bagian output terdapat rangkaian driver motor L298 yang digunakan untuk mengendalikan 2 buah motor DC.



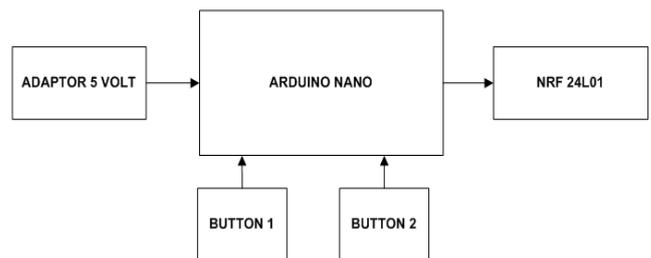
Gambar 1. Diagram Blok Robot AGV



Gambar 2. Diagram Blok Warehouse

Diagram blok sistem area *warehouse* terdiri dari 4 buah blok utama yaitu blok catu daya yang terdiri dari adaptor 5v untuk memberikan supply ke seluruh rangkaian pada blok *warehouse*. Bagian blok proses terdapat rangkaian Arduino Nano yang digunakan sebagai pusat kendali sistem di bagian

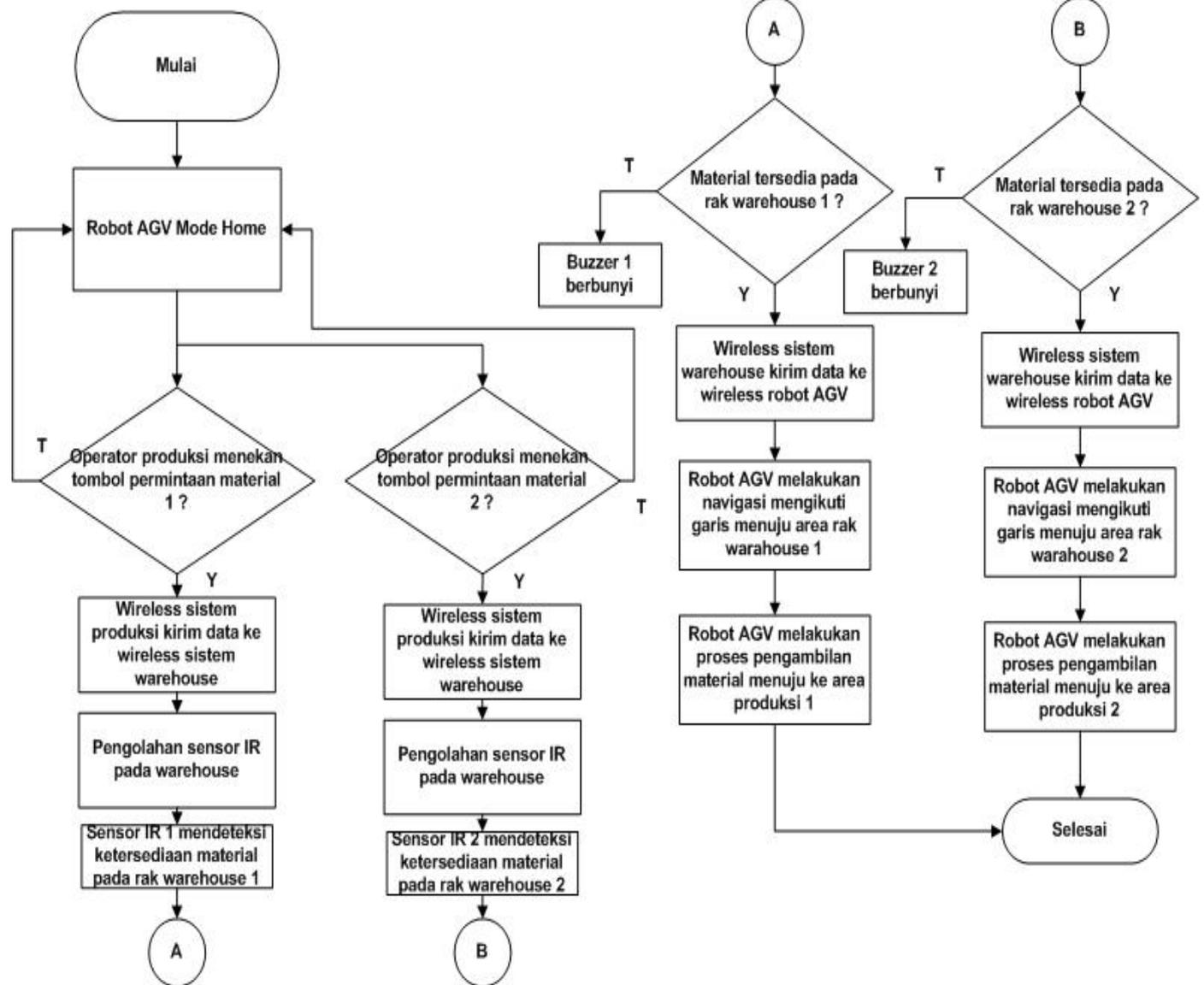
area *warehouse*. Blok input terdiri dari 2 buah sensor *infrared* E18-D50NK yang digunakan untuk mengecek ketersediaan barang pada *warehouse*. Sedangkan di bagian blok output terdapat rangkaian modul NRF24L01 yang digunakan untuk berkomunikasi dengan robot dan operator produksi.



Gambar 3. Diagram Blok Produksi

B. Diagram Alir

Berikut merupakan diagram alir pada penelitian ini dijelaskan pada Gambar 4.



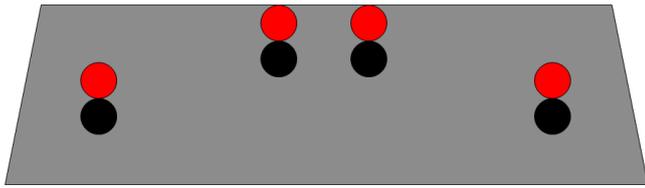
Gambar 4. Diagram alir cara kerja system keseluruhan

Ketika operator produksi 1 menekan tombol permintaan material, maka rangkaian modul NRF24L01 [11] akan mengirimkan data ke sistem *warehouse*. Saat modul NRF24L01 pada *warehouse* menerima data dari modul NRF24L01 bagian produksi, sistem *warehouse* akan mengolah sensor *infrared* E18-D50NK untuk mendeteksi ketersediaan material pada rak *warehouse 1*. Jika sensor *infrared* E18-D50NK mendeteksi adanya material, maka sistem *warehouse* akan mengirimkan data ke robot AGV melalui komunikasi *wireless* NRF24L01, sehingga robot AGV mulai melakukan navigasi mengikuti jalur garis menuju area rak *warehouse 1* untuk mengambil material yang kemudian diantara menuju area produksi 1. Namun jika sensor *infrared* E18-D50NK tidak mendeteksi adanya material maka buzzer 1 akan berbunyi untuk memberikan notifikasi ke area produksi jika material dalam kondisi kosong atau telah habis.

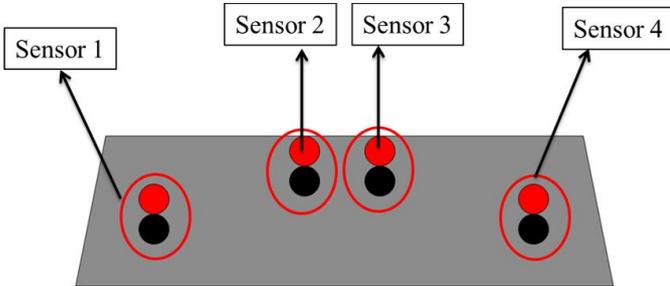
Ketika operator produksi 2 menekan tombol permintaan material, maka rangkaian modul NRF24L01 akan mengirimkan data ke sistem *warehouse*. Saat modul NRF24L01 pada *warehouse* menerima data dari modul NRF24L01 bagian produksi, sistem *warehouse* akan mengolah sensor *infrared* E18-D50NK untuk mendeteksi ketersediaan material pada rak *warehouse 2*. Jika sensor *infrared* E18-D50NK mendeteksi adanya material, maka sistem *warehouse* akan mengirimkan data ke robot AGV melalui komunikasi *wireless* NRF24L01, sehingga robot AGV mulai melakukan navigasi mengikuti jalur garis menuju area rak *warehouse 2* untuk mengambil material yang kemudian diantara menuju area produksi 2. Namun jika sensor *infrared* E18-D50NK tidak mendeteksi adanya material maka buzzer 2 akan berbunyi untuk memberikan notifikasi ke area produksi jika material dalam kondisi kosong atau telah habis.

C. Desain Robot

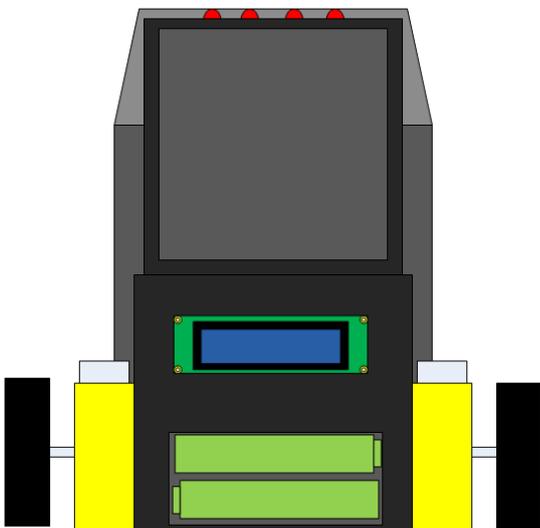
Pada Gambar 5 dapat dilihat tata letak 4 buah sensor yang digunakan sebagai penentu gerak jalan robot. Adapun keterangan dari tata letak sensor dijelaskan pada Gambar 6. Tahap berikutnya adalah merancang body robot dari tampak atas, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 7. Selanjutnya untuk desain arena uji coba robot yang akan digunakan pada saat proses uji coba, ditunjukkan oleh Gambar 8. Desain arena uji navigasi robot didesain berdasarkan diagram alir cara kerja sistem alat secara keseluruhan. Masing-masing terdiri 1 area home robot, 2 area *warehouse*, dan 2 area produksi. Pada area *warehouse* dan produksi juga akan terdapat sistem alat yang digunakan untuk berkomunikasi satu sama lain dengan robot AGV.



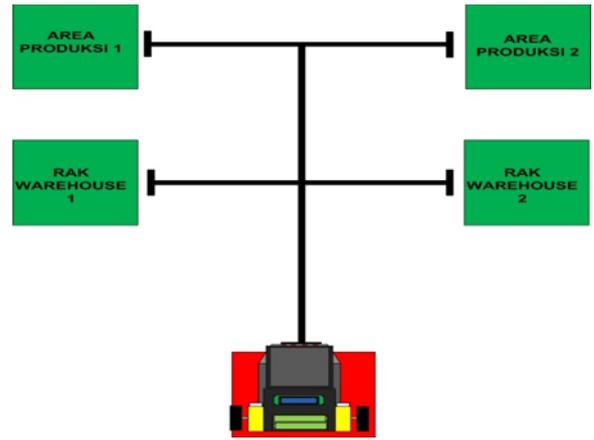
Gambar 5. Tata Letak Sensor Garis



Gambar 6. Tata Letak Sensor Garis



Gambar 7. Desain Robot Tampak Atas



Gambar 8. Desain Arena Uji Navigasi Robot

IV. HASIL DAN ANALISA

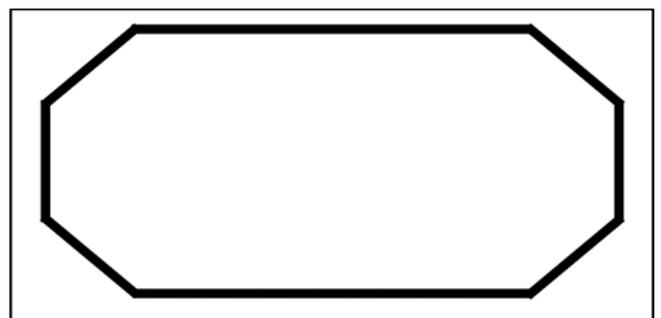
Hasil penelitian disajikan sebagai berikut,

A. Pengujian Kendali Proporsional (P) pada Manuver Robot AGV

Pengujian ini merupakan pengujian yang dilakukan guna menguji kemampuan manuver robot dalam mengikuti garis lintasan dengan menggunakan kendali Proporsional. Dalam perhitungan, kondisi ideal robot AGV adalah bergerak maju lurus mengikuti garis, dengan kondisi sensor 0110 yang memiliki nilai PV (Present Value) sama dengan 0. Hal tersebut dikarenakan untuk nilai set point atau nilai yang diharapkan adalah 0. PV merupakan nilai sensor yang terbaca oleh robot. Kondisi menyimpangnya robot dari garis disebut dengan *error*. Apabila besar nilai *error* diketahui, maka mikrokontroler dapat mengirimkan nilai PWM pada motor kanan dan motor kiri yang sesuai agar robot dapat menemukan posisi ideal yaitu (SP=0). Proses penguatan yang diberikan kontrol Proporsional (P) sebanding dengan besarnya *error*.

Tunning dengan nilai  $Kp=1$

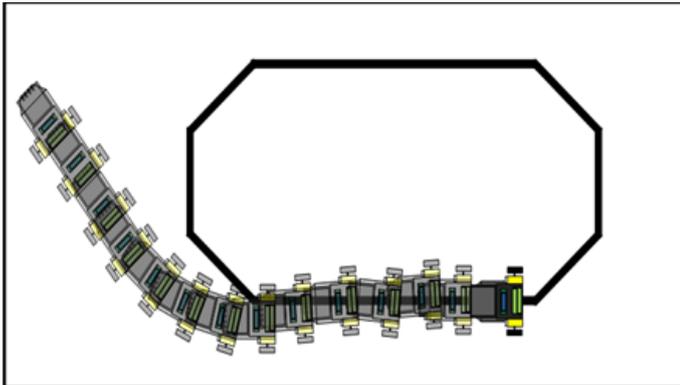
Dalam pengujian ini, dilakukan proses *tunning* untuk parameter Proporsional dengan memberikan nilai input  $Kp$  bernilai sama dengan 1. Pengujian dilakukan dengan menggunakan track dasar seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 9.



Gambar 9. Track Uji Coba Kendali PID

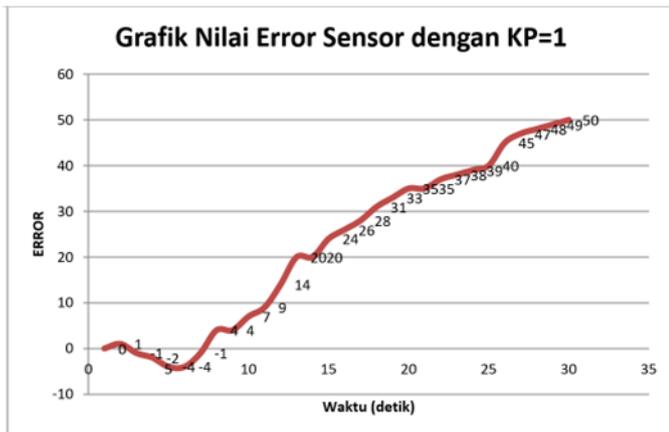
Setelah dilakukan proses pengujian dengan melakukan *tunning* nilai  $Kp$  bernilai sama dengan 1, maka diperoleh hasil

manuver robot dengan ilustrasi yang ditunjukkan oleh Gambar 10.



Gambar 10. Perilaku Manuver Robot dengan *Tunning*  $K_p=1$

Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan berupa ilustrasi pada Gambar 10 maka diperoleh perilaku manuver robot AGV yang bergerak tidak stabil. Sejak pertama kali dijalankan robot AGV mulai menunjukkan perilaku yang tidak stabil, dikarenakan kurangnya daya cengkram robot dalam mengikuti garis. Dengan kurangnya daya cengkram robot menyebabkan kondisi sensor memperoleh nilai *error* yang besar, sehingga menyebabkan robot keluar dari lintasan. Bentuk grafik pengujian respon sistem terhadap nilai *error* sensor ditunjukkan oleh Gambar 11.



Gambar 11. Grafik Nilai *Error* Sensor Berdasarkan Perilaku Manuver Robot dengan Parameter  $KP=1$

Pada pengujian ini, untuk kecepatan yang digunakan adalah PWM 120. Grafik nilai *error* diambil secara sampling berdasarkan perilaku robot saat melakukan manuver pada garis lintasan. Dari bentuk grafik yang ditunjukkan oleh Gambar 11, osilasi secara jelas terjadi dari detik kelima dimana robot mulai menemui belokan dengan sudut  $135^\circ$ . Ketika robot menemui tikungan  $135^\circ$ , kondisi sensor robot lepas dari garis. Dikarenakan nilai  $K_p$  yang rendah yaitu sama dengan 1, maka pergerakan robot untuk kembali menemui garis sangat sulit yang mengakibatkan robot keluar dari garis. Dari hasil proses pengujian yang dilakukan dengan parameter  $KP=1$ , maka diperoleh nilai PWM motor kiri dan kanan pada setiap kondisi sensor pada tabel 1 sebagai berikut.

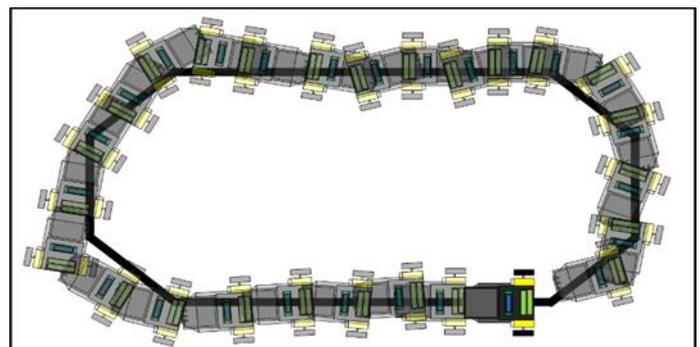
Tabel 1. Nilai PWM Motor Berdasarkan Kondisi Sensor dengan *Tunning*  $KP=1$

Kondisi sensor	PV	Tunning PID			Parameter Kecepatan	PWM Motor	
		P	I	D		Kiri	Kanan
0 0 0 1	-7	1	0	0	120	113	127
0 0 1 1	-3	1	0	0	120	117	123
0 0 1 0	-1	1	0	0	120	119	121
0 1 1 0	0	1	0	0	120	120	120
0 1 0 0	1	1	0	0	120	121	119
1 1 0 0	3	1	0	0	120	123	117
1 0 0 0	7	1	0	0	120	127	113

*Tunning dengan nilai  $K_p=3$*

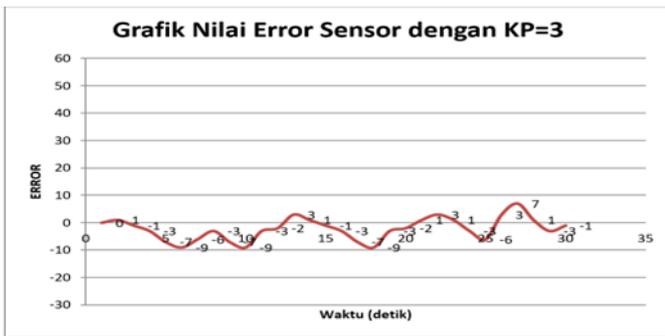
Dalam pengujian ini, dilakukan proses *tunning* untuk parameter Proporsional dengan memberikan nilai input  $K_p$  bernilai sama dengan 3. Setelah sebelumnya dilakukan pengujian dengan *tunning*  $K_p$  bernilai sama dengan 1, maka pada pengujian kali ini nilai *tunning* akan dinaikkan menjadi 3.

Setelah dilakukan proses pengujian dengan melakukan *tunning* nilai  $K_p$  bernilai sama dengan 3, maka diperoleh hasil manuver robot dengan ilustrasi yang ditunjukkan oleh Gambar 12.



Gambar 13. Perilaku Manuver Robot dengan *Tunning*  $K_p=3$

Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan berupa ilustrasi pada Gambar 13, maka diperoleh perilaku manuver robot AGV yang dapat mengikuti garis dengan sedikit bergelombang. Pergerakan robot mulai terlihat bergelombang ketika menemukan belokan  $135^\circ$  pertama. Saat robot mulai keluar dari lintasan respon motor kiri bergerak lebih kencang dari motor kanan sehingga robot mampu kembali ke jalur lintasan. Dari 1 kali putaran uji coba lintasan, diperoleh simpulan yaitu pergerakan robot mulai tidak stabil ketika menemui belokan sudut  $135^\circ$ . Adapun untuk bentuk grafik pengujian respon sistem terhadap nilai *error* sensor ditunjukkan oleh Gambar 14.



Gambar 14. Grafik Nilai *Error Sensor* Berdasarkan Perilaku Manuver Robot dengan Parameter  $KP=3$

Dalam pengujian ini, untuk kecepatan yang digunakan adalah PWM 120. Grafik nilai *error* diambil secara sampling berdasarkan perilaku robot saat melakukan manuver pada garis lintasan. Dari bentuk grafik yang ditunjukkan oleh Gambar 14, nilai *error* yang diperoleh lebih baik dibandingkan dengan saat pengujian dengan kondisi parameter  $Kp$  bernilai sama dengan 1. Hal tersebut dikarenakan pada pengujian ini nilai *error* yang dihasilkan dari pergerakan robot tidak keluar jauh dari nilai Set Point (SP), yang menyebabkan robot masih dapat melakukan manuver untuk mengikuti lintasan. Adapun *error* terbesar adalah 7 untuk bagian sensor dengan PV positif dan -9 untuk bagian sensor dengan PV negatif. Dari hasil proses pengujian yang dilakukan dengan parameter  $KP=3$ , maka diperoleh nilai PWM motor kiri dan kanan pada setiap kondisi sensor pada tabel 2 sebagai berikut.

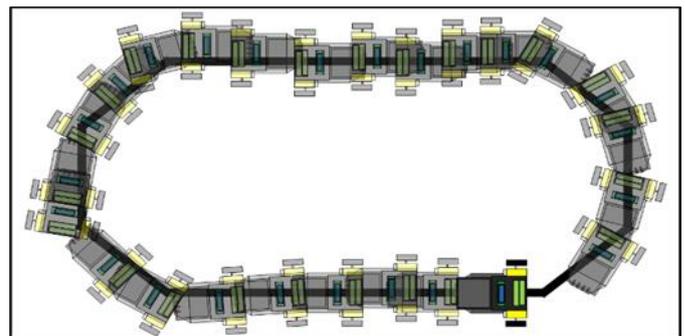
Tabel 2. Nilai PWM Motor Berdasarkan Kondisi Sensor

Kondisi sensor	PV	Tunning PID			Parameter Kecepatan	PWM Motor	
		P	I	D		Kiri	Kanan
0 0 1	-7	3	0	0	120	99	141
0 0 1 1	-3	3	0	0	120	111	129
0 0 1 0	-1	3	0	0	120	117	123
0 1 1 0	0	3	0	0	120	120	120
0 1 0 0	1	3	0	0	120	123	117
1 1 0 0	3	3	0	0	120	129	111
1 0 0 0	7	3	0	0	120	141	99

*Tunning dengan nilai  $Kp=5$*

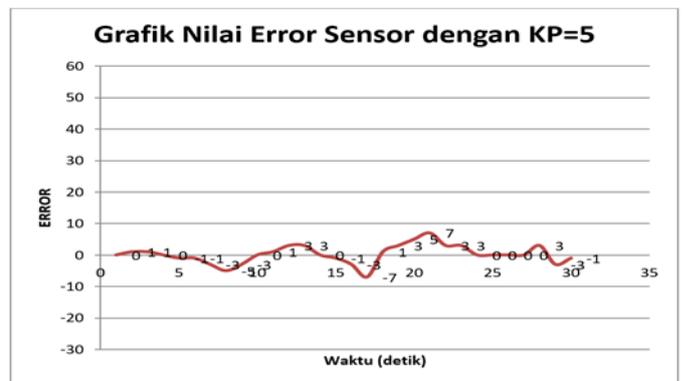
Dalam pengujian ini, dilakukan proses *tunning* untuk parameter Proporsional dengan memberikan nilai input  $Kp$  bernilai sama dengan 5. Setelah sebelumnya dilakukan pengujian dengan *tunning*  $Kp$  bernilai sama dengan 1 dan 3, maka pada pengujian kali ini nilai *tunning* akan dinaikkan menjadi 5.

Setelah dilakukan proses pengujian dengan melakukan *tunning* nilai  $Kp$  bernilai sama dengan 5, maka diperoleh hasil manuver robot dengan ilustrasi yang ditunjukkan oleh Gambar 15.



Gambar 15. Perilaku Manuver Robot dengan *Tunning*  $Kp=5$

Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada Gambar 15, maka diperoleh perilaku manuver robot AGV yang dapat mengikuti garis lebih baik dari dua pengujian sebelumnya. Dengan parameter  $Kp$  yang diatur menjadi 5, robot mampu melewati tikungan sudut  $135^\circ$  yang berjumlah 4 tikungan dengan baik. Adapun untuk bentuk grafik pengujian respon sistem terhadap nilai *error* sensor ditunjukkan oleh Gambar 16.



Gambar 16. Grafik Nilai *Error Sensor* Berdasarkan Perilaku Manuver Robot dengan Parameter  $KP=5$

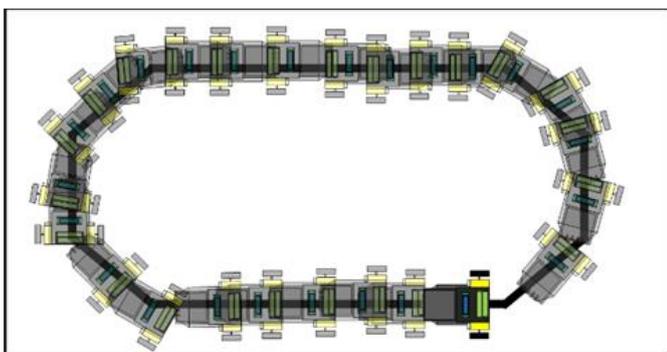
Dalam pengujian ini, untuk kecepatan yang digunakan adalah PWM 120. Grafik nilai *error* diambil secara sampling berdasarkan perilaku robot saat melakukan manuver pada garis lintasan. Dari bentuk grafik yang ditunjukkan oleh Gambar 16, nilai *error* yang diperoleh lebih baik dibandingkan dengan saat pengujian dengan kondisi parameter  $Kp$  bernilai sama dengan 1 dan 3. Osilasi *error* terbesar untuk area sensor dengan PV positif adalah -7 dan sensor dengan PV negatif adalah -7. Selain itu manuver robot dalam meraih kondisi ideal (Set Point) juga lebih sering terjadi, sehingga robot dapat melakukan manuver jauh lebih baik dari 2 pengujian sebelumnya. Dari hasil proses pengujian yang dilakukan dengan parameter  $KP=5$ , maka diperoleh nilai PWM motor kiri dan kanan pada setiap kondisi sensor pada tabel 3 sebagai berikut.

Tabel 3. Nilai PWM Motor Berdasarkan Kondisi Sensor dengan *Tunning* KP=5

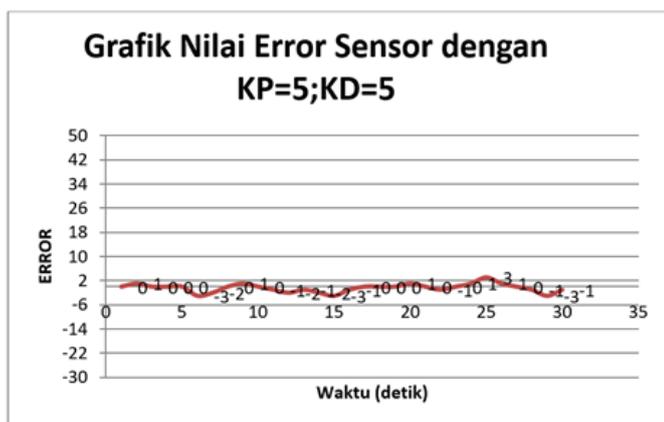
Kondisi sensor	PV	Tunning PID			Parameter Kecepatan	PWM Motor	
		P	I	D		Kiri	Kanan
0 0 0 1	-7	5	0	0	120	85	155
0 0 1 1	-3	5	0	0	120	105	135
0 0 1 0	-1	5	0	0	120	115	125
0 1 1 0	0	5	0	0	120	120	120
0 1 0 0	1	5	0	0	120	125	115
1 1 0 0	3	5	0	0	120	135	105
1 0 0 0	7	5	0	0	120	155	85

**B. Pengujian Kendali Proporsional-Derivatif (PD) pada Manuver Robot AGV**

Pengujian ini merupakan pengujian yang dilakukan guna menguji kemampuan manuver robot dalam mengikuti garis lintasan dengan menggunakan kendali Proporsional-Derivatif. Setelah sebelumnya telah dilakukan pengujian manuver robot dengan kendali Proporsional, maka dalam pengujian ini akan dilakukan pengujian dengan mengkombinasikan 2 kendali yaitu proporsional dan derivatif. Penggunaan kendali Proporsional (P) secara sendiri masih mengakibatkan pergerakan manuver robot yang bergelombang. Penyebab hal tersebut dikarenakan sifat dari kendali Proporsional (P) yang cepat menanggapi respon tetapi masih sering terjadi overshoot. Untuk mengurangi pergerakan robot yang masih bergelombang, maka akan ditambahkan kendali Derivatif dalam proses manuver robot.



Gambar 17. Perilaku Manuver Robot dengan *Tunning* Kp=5; KD=5



Gambar 18. Grafik Nilai *Error* Sensor Berdasarkan Perilaku Manuver Robot dengan Parameter KP=5; KD=5

Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan berupa ilustrasi pada Gambar 17, maka diperoleh perilaku manuver robot AGV. Adapun untuk bentuk grafik pengujian respon sistem terhadap nilai *error* sensor ditunjukkan oleh Gambar 18.

Berdasarkan bentuk grafik nilai *error* sensor yang dilihat dari perilaku manuver robot saat mengikuti garis pada lintasan, diperoleh hasil yang lebih baik dibandingkan dengan pengujian manuver saat hanya menggunakan kendali Proporsional saja. Dengan adanya kendali derivatif pada sistem, maka overshoot yang dihasilkan dari kendali proporsional dapat diredam sehingga manuver robot hampir mendekati smooth. Apabila diamati dari bentuk grafik pada Gambar 18, nilai *error* tertinggi pada sensor dengan PV negatif adalah -3 dan *error* tertinggi pada sensor dengan PV positif adalah 3. Dari hasil proses pengujian yang dilakukan dengan parameter KP=5 dan KD=5, maka diperoleh nilai PWM motor kiri dan kanan pada setiap kondisi sensor pada tabel 4 sebagai berikut.

Tabel 4. Nilai PWM Motor Berdasarkan Kondisi Sensor dengan *Tunning* KP=5;KD=5

Kondisi sensor	PV	Tunning PID			Parameter Kecepatan	PWM Motor	
		P	I	D		Kiri	Kanan
0 0 0 1	-7	5	0	5	120	65	175
0 0 1 1	-3	5	0	5	120	95	145
0 0 1 0	-1	5	0	5	120	110	130
0 1 1 0	0	5	0	5	120	120	120
0 1 0 0	1	5	0	5	120	130	110
1 1 0 0	3	5	0	5	120	145	95
1 0 0 0	7	5	0	5	120	175	65

**V. KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil pengujian kendali proporsional, dengan 3 nilai parameter yang diujikan, nilai *error* terkecil diperoleh saat menggunakan nilai Kp = 5. Meskipun hasil manuver masih terdapat overshoot namun nilai Kp=5 cukup baik, oleh karena itu ditambahkan control derivatif (Kd) untuk mengurangi efek overshoot. Pengujian manuver gerak robot dengan kendali proporsional dan kendali derivatif, gerak robot menjadi lebih smooth. Robot lebih sering mencapai nilai set poin saat bermanuver mengikuti garis

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] D. E. Susilo, H. Wibawanto, and A. Mulwinda, "Prototype Mesin Pengantar Barang Otomatis Menggunakan Load Cell Berbasis Robot Line Follower," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 10, no. 1, pp. 23–29, Jun. 2018, doi: <https://doi.org/10.15294/jte.v10i1.12277>.
- [2] Suyatno, C. I. Cahyadi, Syafril, R. Khair, and I. Idris, "Rancang Bangun Prototipe Robot Pengantar Barang Cargo Berbasis Arduino Mega Dengan IOT," *Jurnal Sistem Komputer dan Informasi*, vol. 1, no. 3, pp. 215–215, May 2020, doi: <https://doi.org/10.30865/json.v1i3.2186>.
- [3] V. Eriyani, "Rancang Bangun Robot Pelayan Restoran Otomatis Berbasis Mikrokontroler Atmega16 Dengan Navigasi Line Follower," *Coding Jurnal Komputer dan Aplikasi*, vol. 6, no. 3, 2018, doi: <https://doi.org/10.26418/coding.v6i3.27442>.
- [4] P. Dewantoro and I. Riyanto, "Rancang Bangun Robot Line Follower Pemindah Objek Warna," *MAESTRO*, vol. 2, no. 2, pp. 465–473, 2019.
- [5] K. Wu, C.-H. Chen, J.-M. Ko, and J.-D. Lee, "Path planning and prototype design of an AGV," *Mathematical and Computer Modelling*, vol. 30, no. 7–8, pp. 147–167, Oct. 1999, doi: [https://doi.org/10.1016/s0895-7177\(99\)00171-5](https://doi.org/10.1016/s0895-7177(99)00171-5).
- [6] A. Adriansyah, N. Ferdana, S. Budiyo, and J. Andika, "Design of Telemedicine Robot using Behavior-based Control Architecture with Two-Step Fuzzy Logic Optimization," *Journal of Computer Science*,

- vol. 15, no. 11, pp. 1617–1626, Nov. 2019, doi: <https://doi.org/10.3844/jcssp.2019.1617.1626>.
- [7] M. N. Riandana, I. N. Budiastra, and C. G. I. Partha, “Aplikasi Sensor Cahaya Sebagai Sensor Garis Pada Robot Berbasis Kontrol PID Dengan Pengaturan Kepekaan Cahaya Otomatis,” *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 16, no. 3, Dec. 2017, doi: <https://doi.org/10.24843/mite.2017.v16i03p10>.
- [8] A. S. Wardani and Z. Iklima, “Rancang Bangun Automated Guided Vehicle Menggunakan Metode PID Zeigler Nichols,” *Jurnal Teknologi Elektro*, vol. 13, no. 1, pp. 6–6, Feb. 2022, doi: <https://doi.org/10.22441/jte.2022.v13i1.002>.
- [9] R. S. Widagdo, B. Hariadi, and K. Setyadjit, “Modelling and Analysis of Ziegler-Nichols and Chien-Hrones-Reswick Tuning PID on DC Motor Speed Control,” *Jurnal Teknologi Elektro*, vol. 14, no. 1, pp. 23–23, Feb. 2023, doi: <https://doi.org/10.22441/jte.2023.v14i1.005>.
- [10] H. E. Havitz, M. P. Lestari, and A. Sofwan, “Rancang Bangun Gerak Robot Pemindah Barang Berdasarkan Jalur Garis Hitam Dengan Basis Mikrokontroler AT89S52,” *Prosiding Seminar Nasional Teknoin*, pp. 31–38, 2023.
- [11] I. A. Muzar and Yuliza, “Pemantauan Cairan Infus Menggunakan Metode Komunikasi Wireless,” *Jurnal Teknologi Elektro*, vol. 10, no. 2, pp. 111–111, Dec. 2019, doi: <https://doi.org/10.22441/jte.v10i2.005>.