

Perancangan *Automated Guided Vehicle* Menggunakan Metode *PID Zeigler Nichols*

Annisa Ayu Wardani^{1*}, Zendi Iklima²

¹PT. GMF Aero Asia, Tbk.

²Teknik Elektro, Universitas Mercu Buana, Jakarta

*nmswardani@gmail.com

Abstrak—*Automated Guided Vehicle* (AGV) merupakan sebuah alat yang berfungsi untuk mendistribusikan barang dari suatu tempat ke tempat lain. Penghubung antar *station* menggunakan jalur garis berwarna hitam. Robot AGV terdiri atas sensor infra merah sebagai umpan balik PID, mikrokontroler sebagai pengolah data serta menjalankan algoritma PID dan motor DC sebagai aktuator. Robot ini bisa diaktifkan menggunakan *smartphone* yang memanfaatkan sinyal *bluetooth*. Untuk dapat membuat AGV bergerak stabil, dengan cara penerapan kontrol PID salah satunya dengan mengimplementasikan metode Ziegler Nichols pada pencarian parameter PID robot AGV. Proses *tuning* diawali dengan pemberian parameter $K_p = 0$, kemudian ditingkatkan secara bertahap hingga didapat grafik respon PID yang berkesinambungan. Dari grafik respon yang diberikan, dapat menentukan besar nilai *critical gain* K_{cr} dan *critical periode* P_{cr} . Nilai K_{cr} dan P_{cr} digunakan untuk mendapatkan nilai parameter K_p , K_i dan K_d sesuai dengan aturan yang terdapat dalam metode Ziegler Nichols. Hasil pengujian *tuning* parameter PID menggunakan metode Ziegler-Nichols didapatkan nilai $K_p = 7$, $K_i = 1,5$ dan $K_d = 1$. Dengan menggunakan parameter tersebut respon robot menjadi lebih baik dan mendekati set point.

Kata kunci : *Automated Guided Vehicle, Kontrol PID, Metode Ziegler-Nichols, Robot, Smartphone*

DOI: 10.22441/jte.2022.v13i1.002

I. PENDAHULUAN

Hadirnya teknologi industri 4.0 menunjang kebutuhan sistem yang memiliki kecerdasan buatan, sehingga sistem yang menggunakan operator mulai dikembangkan menjadi teknologi yang *self-operated*. Teknologi yang dimaksud disini adalah robot yang diharapkan mampu meningkatkan proses produksi dalam perusahaan. Pada sistem distribusi suatu industri, dibutuhkan teknologi berupa robot yang dapat melakukan proses pendistribusian barang, dan robot AGV (*Automated Guided Vehicle*) adalah salah satu jawabannya. Robot AGV merupakan sebuah alat yang berfungsi untuk mendistribusikan barang dari suatu tempat ke tempat lain. Dalam proses *material handling* umumnya dilakukan secara manual atau menggunakan konveyor, robot tangan, *forklift*, dan *Automated Guided Vehicles* (AGV). Akan tetapi, AGV lebih unggul dibandingkan yang lain dalam hal kecepatan dan kemudahan yang dimilikinya [1]. 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 [2].

Untuk dapat membuat robot yang bergerak stabil, salah satu caranya yaitu dengan penerapan kontrol PID. Kelebihan dari penggunaan kontrol PID adalah mudah untuk diterapkan pada mikrokontroler PLC karena rumusnya yang sederhana. Namun PID juga memiliki kelemahan yaitu kita harus mencari nilai parameter K_p , K_d , dan K_i yang sesuai agar sistem kontrol dapat bekerja dengan baik. Selama ini cara yang sering digunakan untuk mencari nilai K_p , K_i dan K_d adalah dengan metode *Trial and Error*. Tentu saja metode ini sangat memerlukan banyak waktu dan tenaga karena perlu mencoba memasukan banyak nilai sampai didapatkan hasil yang terbaik dan mencapai kondisi pergerakan yang stabil [3]. Pada tugas akhir ini akan dicoba mengimplementasikan metode Ziegler Nichols pada pencarian parameter PID robot AGV. Dalam proses menentukan parameter kendali PID untuk plant yang tidak diketahui model matematisnya dapat menggunakan salah satu cara yaitu metode Ziegler-Nichols [4]. Metode ini mempersingkat waktu pencarian parameter karena menggunakan rumus-rumus sederhana dan proses *Trial and Error* hanya pada pencarian parameter K_p . Proses *tuning* diawali dengan pemberian parameter $K_p = 0$, kemudian ditingkatkan secara bertahap hingga didapat grafik respon PID yang berkesinambungan (periode dan amplitudonya sama). Dari grafik respon tersebut dapat ditentukan besar nilai *critical gain* K_{cr} dan *critical periode* P_{cr} . Nilai K_{cr} dan P_{cr} digunakan untuk mendapatkan nilai parameter K_p , K_i dan K_d sesuai dengan aturan yang terdapat dalam metode Ziegler Nichols.

Maka dari itu perlu dibuatlah suatu rancangan robot yang dapat melakukan pekerjaan pengiriman barang. Dimana, sistem robot berupa rancang bangun yang dijalankan dengan roda dan dikontrol oleh mikrokontroler untuk menuju lokasi tujuan. Robot ini menggunakan sensor pendeteksi warna dan sensor ultrasonik. Rencananya, robot ini bisa diaktifkan menggunakan komputer yang memanfaatkan sinyal *bluetooth*. Selain itu jika ingin pengaturan secara manual, disediakan *switch* pada badan robot. Pada rancangan ini, robot akan berjalan mengikuti garis jalur menuju titik daerah yang ditentukan. Robot akan mengikuti jalur atau *wire* yang diletakkan di lantai menggunakan sensor. Kemudian sensor akan memberi masukan kepada motor DC, sehingga motor DC bisa bergerak sesuai pembacaan sensor. Pergerakan robot juga akan dikendalikan dengan kontrol PID menggunakan metode Ziegler Nichols. Dan untuk mendapatkan gerakan robot yang stabil maka dibutuhkan nilai parameter K_p , K_i , dan K_d yang sesuai.

II. PENELITIAN TERKAIT

Das (2016) yang berjudul “*Increase In Efficiency Using Pid Kontrol Of An Automated Guided Vehicle For Product Ware House*” membahas tentang robot AGV dengan menerapkan kontrol PID [5].

Justiadi, Hair, dan Yusdianto (2018) yang berjudul “*Automated Guided Vehicle (AGV) Pengikut Garis Menggunakan Roda Mecanum Dengan Kendali PID Adaptif Terinterpolasi*”. Tujuan dari penelitian Robot AGV menggunakan 4 roda mecanum dan penerapannya menggunakan kontrol PID [6].

Moshayedi, Roy, Liao (2020) yang berjudul “*PID Tuning Method on AGV (Automated Guided Vehicle) Industrial Robot*”, yang pada jurnalnya membahas tentang pembuatan AGV yang mengaplikasikan kontrol PID dengan membandingkan metode *Ziegler Nichols* dan *Cohen Coon* [7].

Pratiwi, Riyanto (2017) yang berjudul “*Sistem Penentuan Lokasi dan Penyimpanan Barang Menggunakan LabVIEW dan Sensor Ultrasonik*”. Pada jurnal ini dilakukan pengujian robot pengikut garis yang diintegrasikan dengan LabVIEW untuk menerapkan sensor ultrasonik sebagai radar yang menentukan lokasi kosong [8].

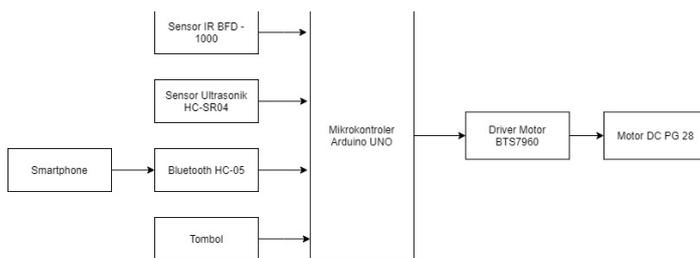
Parikh, Vasani, dan Sheth, (2016) yang berjudul “*Velocity Analysis of a DC Brushed Encoder Motor using Ziegler-Nichols Algorithm: A Case of an Automated Guided Vehicle*”. Pada jurnal ini membahas mengenai robot AGV yang menggunakan motor DC *brushed / brushless* dengan enkoder menggubakan pengontrol PID metode *Ziegler Nichols* serta menghubungkan pengontrol dengan MATLAB sebagai aplikasi untuk memonitor gerakan robot [9].

III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini, dijelaskan tentang diagram blok sistem, perancangan mekanik, perancangan elektrik, perancangan perangkat lunak, dan flowchart.

A. Diagram Blok

Diagram Blok Sebelum membuat perancangan alat, terlebih dahulu dilakukan perancangan diagram blok yang akan menjadi kerangka gambaran dalam pembuatan alat sesuai dengan yang diinginkan. Diagram blok ditunjukkan pada Gambar 1 sebagai berikut :



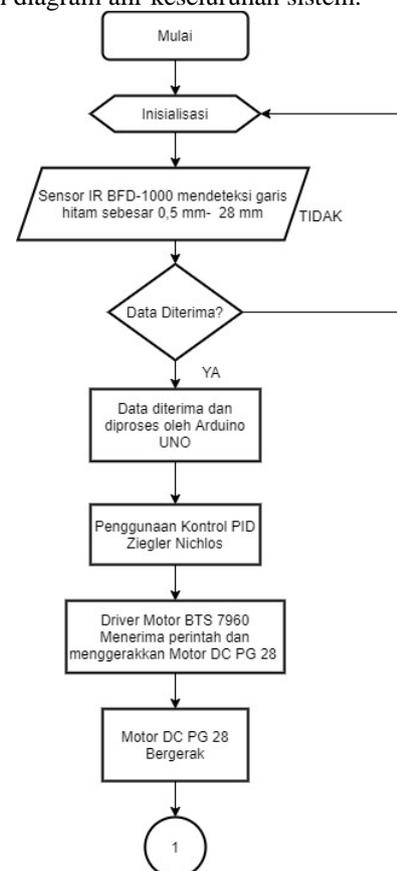
Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Dari Gambar 1 dapat diketahui bahwa robot yang dibuat, menggunakan mikrokontroler Arduino UNO sebagai mikrokontroler utamanya. Secara keseluruhan sistem robot

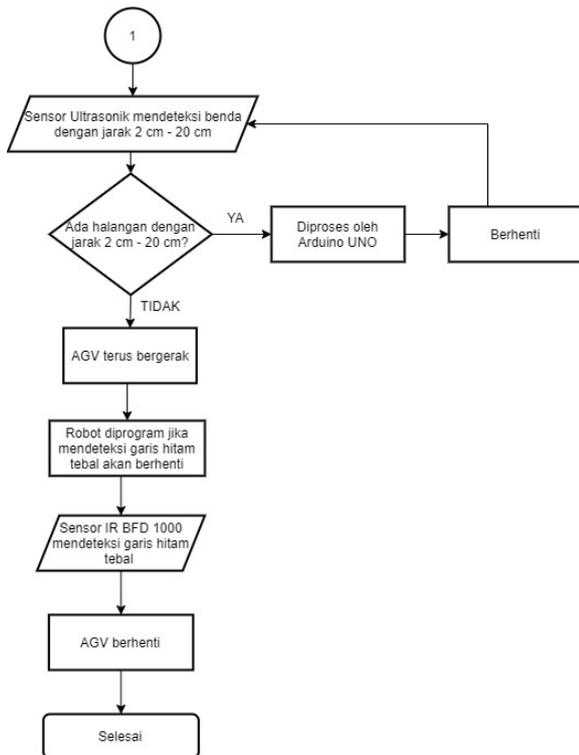
AGV ini mempunyai beberapa masukan dan keluaran. Untuk masukannya terdiri dari beberapa komponen diantaranya, *smartphone* yang berfungsi sebagai *interface* untuk mengaktifkan robot AGV. Dalam pengaktifan robot AGV menggunakan *smartphone*, dimanfaatkan Bluetooth sebagai jaringan nirkabel. Robot ini bergerak menggunakan sensor IR BFD 1000 berfungsi untuk membaca garis sebagai jalur atau lintasan robot menuju ke tempat yang dituju dan Sensor Ultrasonik HC – SR04 berfungsi untuk menghindari adanya halangan. Keluaran dari beberapa masukan akan diproses oleh mikrokontroler Arduino UNO, yang berfungsi sebagai pengendali robot, dimana rangkaian ini dapat mengatur *driver motor* untuk menggerakkan motor DC, membaca data dari sensor, dan menerima data dari *interface*. *Driver Motor* BTS 7960 berfungsi sebagai pengendali arah dan kecepatan putaran motor DC. Dan motor DC yang digunakan adalah Motor DC PG 28 yang berfungsi sebagai penggerak robot untuk mengantar barang. Adanya tombol (*switch*) berguna untuk menyalakan robot, dan membuat robot dalam kondisi stand by.

B. Diagram Alir

Diagram alir digunakan sebagai dasar acuan dalam membuat program untuk kinerja alat yang akan dibuat. Berikut gambar adalah diagram alir keseluruhan sistem.



Gambar 2. Diagram Alir Robot AGV bagian 1

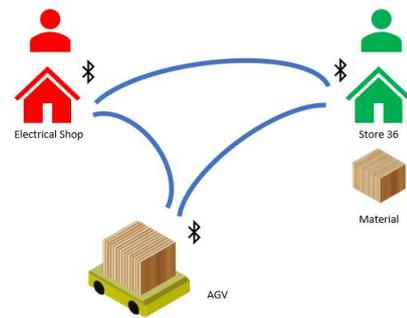


Gambar 3. Diaram Alir Robot AGV bagian 2

Dari diagram alir diatas, dapat dilihat sistem kerja dari robot AGV. Diawali dengan robot AGV akan diaktifkan dari komputer atau smartphone. Setelah robot AGV diaktifkan, maka robot AGV akan mendeteksi warna garis yang sudah dibuat sebelumnya. Ketika warna sudah dideteksi, maka Arduino UNO akan mendapatkan input data dan mengolahnya. Arduino juga akan memproses data PID yang telah diatur yang menyebabkan robot bergerak lebih stabil. Setelah itu Arduino UNO akan mengirimkan perintah ke driver motor dan diolah datanya hingga mampu menggerakkan motor DC yang membuat robot AGV bergerak. Robot AGV ini juga dilengkapi dengan sensor ultrasonik yang berfungsi untuk mendeteksi benda (halangan) yang jika terdeteksi benda secara otomatis robot AGV akan berhenti untuk menghindari tabrakan dan kerusakan robot AGV. Saat robot AGV mendeteksi adanya halangan maka, sensor ultrasonik akan mengirimkan data ke arduino UNO. Arduino mega akan mengolah data yang membaca, apabila ada halangan, maka robot AGV akan otomatis berhenti. Jika tidak terdapat halangan maka robot AGV akan terus bergerak. Setelah halangan sudah tidak ada, maka robot AGV akan kembali bergerak. Robot AGV akan terus bergerak selama terdapat garis warna pada jalur yang dilalui. Ketika Robot menemui garis warna hitam tebal, secara otomatis robot AGV akan berhenti.

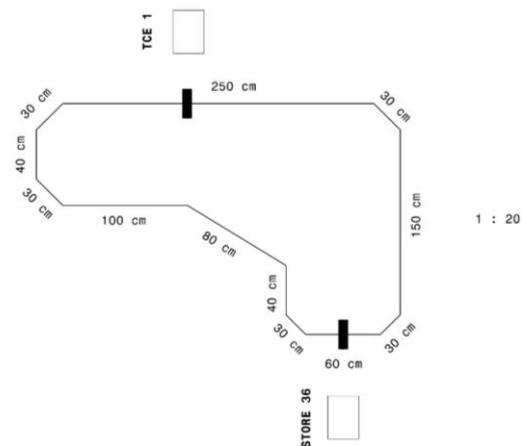
C. Perancangan Mekanik

Penelitian ini merupakan penelitian yang menghasilkan AGV dan dirancang untuk berfungsi sebagai pengantar barang dari gudang pusat ketempat produksi atau sebaliknya. Penghubung antar *station* menggunakan jalur garis berwarna hitam, seperti bisa dilihat pada gambar 4 berikut :



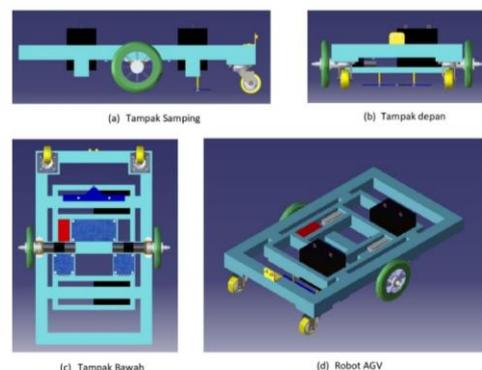
Gambar 4. Perancangan Sistem

Untuk jalur yang kita gunakan pada penelitian ini berupa simulasi. Dan bentuk jalur yang dipakai sesuai dengan bentuk jalur yang akan direalisasikan pada ruangan kantor. Dan disini digunakan perbandingan 1 : 20 dari ukuran actual. Gambar 5 jalur untuk robot AGV bisa dilihat dibawah ini :



Gambar 5. Perancangan Jalur Robot

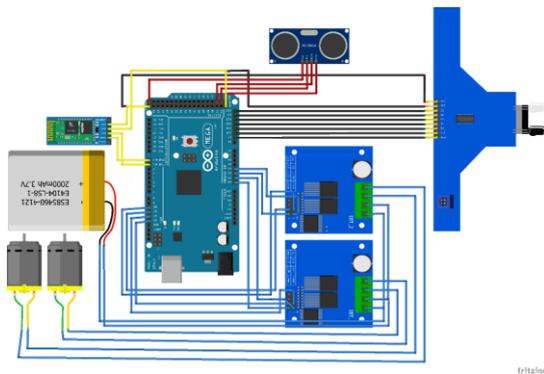
Rencananya AGV akan dirancang dengan ukuran 390 mm x 290 mm x 100 mm. Menggunakan 2 buah roda dan 2 buah caster. Rangka utama AGV menggunakan bahan dari aluminium. AGV ini dirancang untuk mampu menahan beban maksimal 5 kg. Berikut gambar perancangan mekanik dari robot AGV yang akan dibuat :



Gambar 6. Perancangan Mekanik

D. Perancangan Elektrik

Rancangan elektrikal sistem dapat dilihat pada Gambar 9 sebagai berikut :



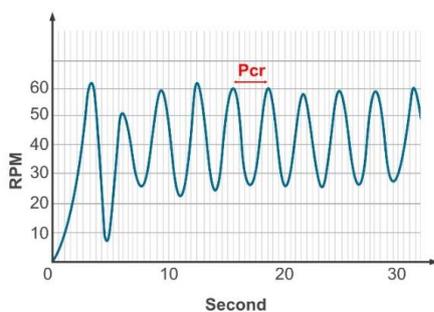
Gambar 7. Rangkaian Elektrikal

Gambar rancangan elektrikal di atas terdiri dari beberapa komponen yang saling berinteraksi dengan Arduino Nano untuk membentuk suatu sistem elektrikal agar sistem kerja yang diinginkan tercapai.

E. Penggunaan Kontrol PID Ziegler Nichols

Pada proses tuning kontrol PID [10] [11] dengan menggunakan metode osilasi *Ziegler-Nichols* dimulai dengan memberikan nilai 0 pada parameter T_i dan T_d . Sedangkan nilai K_p dinaikkan sedikit demi sedikit hingga didapatkan grafik posisi tracer yang berkesinambungan. Kesenambungan yang dimaksud adalah saat grafik memiliki amplitudo yang sama pada setiap periodenya. Setelah didapatkan grafik yang berkesinambungan langkah selanjutnya adalah menghitung nilai K_{cr} dan P_{cr} . K_{cr} adalah nilai K_p saat terjadi osilasi berkesinambungan sedangkan P_{cr} adalah periode kesinambungan dari grafik. Setelah didapatkan K_{cr} dan P_{cr} langkah selanjutnya adalah menghitung nilai K_p , T_i dan T_d sesuai dengan aturan dari Ziegler-Nichols.

Bisa dilihat contoh gambar 10 proses tuning yang merubah nilai K_p dari 1-10. Grafik respon kecepatan motor yang mempunyai osilasi berkesinambungan didapat saat nilai kontroler proporsional 6 atau bisa ditulis $K_{cr} = 6$. Respon sistem menampilkan data setiap 1 s sehingga nilai K_{cr} dan P_{cr} dapat dihitung



Gambar 8. Grafik Respon $K_{cr} = 6$

IV. HASIL DAN ANALISA

Adapun hasil perancangan ditunjukkan pada Gambar 9 sebagai berikut :



Gambar 9. Hasil Perancangan Mekanik

Pengujian Alat

Untuk mendapatkan hasil yang maksimal, maka dilakukan pengujian alat pada setiap komponen dan pengujian alat secara keseluruhan. Berikut beberapa pengujian yang akan dilakukan antara lain :

A. Pengujian Motor DC

Pada pengujian motor DC terdiri dari pengujian PWM dan pengujian arah putaran motor. Pada pengujian PWM ini akan diperlihatkan pengaruh sinyal PWM terhadap perubahan kecepatan motor DC. Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali, dengan $V_{IN FULL}$ 12V, duty cycle mulai dari PWM 50, 100, 155, 200, dan 255. Hasil dari pengujian PWM sebagai pengatur kecepatan motor DC bisa dilihat pada Tabel 1 dibawah ini :

Tabel 1. Pengujian PWM Sebagai Pengatur Kecepatan Motor

Pengujian ke-	$V_{IN FULL}$ (Volt)	Duty Cycle PWM	V_{OUT} (Volt)
1	12	50	3
2	12	100	6,2
3	12	155	8,3
4	12	200	10
5	12	255	11,5

Pada hasil yang ditunjukkan pada Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai dari PWM yang dimasukkan mempengaruhi tegangan keluaran dari motor DC, semakin besar nilai PWM maka semakin besar pula tegangan keluaran yang dihasilkan, begitu juga sebaliknya.

Pengujian selanjutnya adalah pengujian arah putaran motor DC. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah *driver motor* yang telah dirancang mampu meneruskan perintah dari mikrokontroler untuk mengendalikan arah putaran motor. Untuk hasil dari pengujian motor DC bisa dilihat pada tabel 2 berikut ini :

Tabel 2. Hasil Pengujian Arah Putaran Motor DC

Sensor	Gerakan Motor Kanan	Gerakan Motor Kiri
Belok Kiri	CW	STOP
Belok Kanan	STOP	CCW
Jalan Lurus	CW	CCW

B. Pengujian Sensor Garis

Pengujian sensor garis terdiri atas pengujian tenggangan sensor infra merah, pengujian akurasi gerakan robot, dan pengujian sensor pada jalur. Pengujian sensor garis dilakukan dengan cara melihat pada *serial monitor* di *software IDE arduino* ketika sensor terkena garis berwarna hitam dan ketika sensor tidak terkena garis berwarna hitam. Hasil dari pengujian rangkaian sensor garis dapat dilihat pada tabel 3 berikut :

Tabel 3. Pengujian Tegangan Sensor Garis

Perangkat Input	Pembacaan Arduino	Kondisi Perangkat Input	Nilai Tegangan	Hasil Pengujian
Sensor 1	Low	Terkena pantulan warna hitam	0 V	√
	High	Terkena pantulan warna putih	3,7 V	√
Sensor 2	Low	Terkena pantulan warna hitam	0 V	√
	Low	Terkena pantulan warna putih	3,7 V	√
Sensor 3	Low	Terkena pantulan warna hitam	0 V	√
	High	Terkena pantulan warna putih	3,7 V	√
Sensor 4	Low	Terkena pantulan warna hitam	0 V	√
	High	Terkena pantulan warna putih	3,7 V	√
Sensor 5	Low	Terkena pantulan warna hitam	0 V	√
	High	Terkena pantulan warna putih	3,7 V	√

Sifat pemantulan cahaya yang berbeda dari berbagai macam warna digunakan dalam hal ini. Ketika LED memancarkan cahaya ke bidang berwarna putih, cahaya akan dipantulkan hampir semuanya oleh bidang berwarna putih tersebut. Dan disini tegangan yang terbaca saat dipantulkan warna putih adalah 3,7 V. Sebaliknya, ketika LED memancarkan cahaya ke bidang berwarna gelap atau hitam, maka cahaya akan banyak diserap oleh bidang gelap tersebut, sehingga cahaya yang sampai ke sensor sedikit. Dan dalam pengujian ini nilai tegangan yang terbaca adalah 0 V.

Jalur yang digunakan pada pengujian robot kali ini merupakan jalur simulasi yang memiliki perbandingan 1 : 20 dari ukuran asli. Lebar garis pada jalur menggunakan ukuran 28 mm. dan terdapat dua titik yang memiliki garis hitam tebal yang diatur sebagai tempat pemberhentian antar tempat pengantaran. Untuk bentuk dan ukuran jalur lintasan robot secara detail bisa dilihat pada gambar 10 berikut ini :



Gambar 10. Jalur Lintasan Robot AGV

Pengujian selanjutnya menggunakan serial monitor ini dilakukan untuk mengetahui terlebih dahulu apakah komponen sensor garis yang digunakan berfungsi dengan baik atau tidak. Pengujian ini menampilkan nilai biner sebagai akurasi gerakan robot. Karena sensor yang digunakan adalah sensor IR BFD 1000 yang terdiri 5 sensor, maka menggunakan 5 nilai biner. Hasil pengujian bisa dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4. Pengujian Akurasi Gerakan Robot

No.	Gerakan Robot	Nilai Biner
1.	Belok Kanan	00001
2.	Belok Kanan	00011
3.	Belok Kanan	00010
4.	Belok Kanan	00110
5.	Motor Maju	00100
6.	Belok Kiri	01100
7.	Belok Kiri	01000
8.	Belok Kiri	11000
9.	Belok Kiri	10000
10.	Motor Berhenti	11111
11.	Motor Berhenti	00000

Memiliki 5 sensor, memungkinkan generasi variabel error yang akan membantu mengontrol posisi robot di saat mengenai garis jalur, seperti yang ditunjukkan pada tabel diatas. Dapat di asumsikan bahwa kondisi optimal adalah ketika robot berada di tengah, memiliki garis tepat di bawah tepatnya pada posisi sensor tengah yang diasumsikan sebagai sensor 2. Maka nilai keluaran biner akan menjadi 0 0 1 0 0 dan dalam situasi ini, nilai error akan menjadi nol. Jika robot mulai bergerak ke kiri atau bisa dianggap garis seakan bergerak kanan, maka nilai error harus meningkat dengan tanda positif, dan berlaku sebaliknya.

C. Pengujian Sensor Ultrasonik

Pengujian sensor ultrasonik bertujuan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam mendeteksi jarak objek atau halangan dan untuk mengetahui tingkat ketelitian (*accuracy*) dari sensor ultrasonik yang digunakan untuk mengukur posisi jarak robot terhadap halangan yang ada didepannya. Dilakukan perbandingan dalam pengukuran rangkaian sensor ultrasonik dengan mistar 40 cm. Disini juga akan dihitung persen *error* dari setiap jarak yang terbaca yang berbeda dengan jarak seharusnya Hasil dari perbandingan dalam pengukuran rangkaian sensor ultrasonik dengan mistar 40 cm dan perhitungan *error* pada masing – masing jarak dari jarak 5 *centimeter* hingga 40 *centimeter* dapat kita lihat pada tabel 5 dibawah ini :

Tabel 5. Pengujian Sensor Ultrasonik

No.	Pengukuran dengan mistar (cm)	Waktu (microsecond)	Pengukuran dengan Sensor ultrasonik (cm)	Persen error (%)
1.	5	110	5	0
2.	10	303	10	0
3.	15,3	254	15,5	1,30
4.	20,1	587	20,5	1,99
5.	25,2	698	25,5	1,19
6.	30,4	863	30,5	0,32
7.	35	910	35	0
8.	40	1210	40	0

Pada tabel 5 dapat dilihat jika pada jarak yang diatur dengan angka yang bulat, tidak terdapat perbedaan antara jarak yang sesungguhnya dengan jarak yang terbaca pada *software* Arduino IDE, sedangkan untuk jarak yang diatur dengan nilai satu angka dibelakang koma, secara otomatis terbaca pada *software* dibulatkan nilainya menjadi 0,5. Sehingga sedikit ada perbedaan antara nilai pengukuran mistar dengan data yang terbaca pada *software* IDE, hal ini dikarenakan setiap sensor memiliki jarak aman untuk dibaca atau dapat dikatakan memiliki error.

D. Pengujian Bluetooth

Pengujian *bluetooth* terdiri dari pengujian status *bluetooth* dan pengujian transmisi *bluetooth*. Pengujian status *bluetooth* ini dilakukan untuk mengetahui apakah *bluetooth* sudah terkoneksi dengan benar atau belum. Yang kedua adalah pengujian transmisi *bluetooth*, yang dilakukan untuk melihat seberapa kemampuan jarak dan waktu yang diperlukan modul

bluetooth HC-05 dapat mengirim perintah dari *smartphone* pada Arduino untuk mengaktifkan robot.

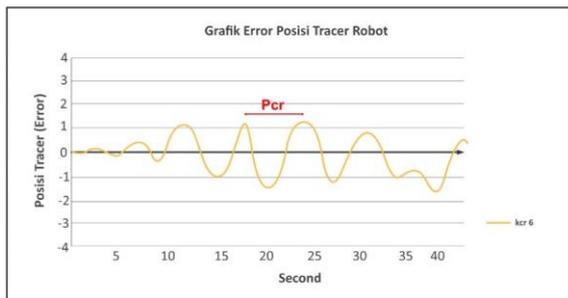
Tabel 6. Pengujian *Bluetooth* HC-05

No.	Status <i>Bluetooth</i>			Jarak (meter)	Pairing Time (detik)
	Data Dikirim dari HP	Data Diterima oleh Software IDE	Status		
1.	Test <i>Bluetooth</i>	Test <i>Bluetooth</i>	Sesuai	1	1,76
2.	Test <i>Bluetooth</i>	Test <i>Bluetooth</i>	Sesuai	2	3,41
3.	Test <i>Bluetooth</i>	Test <i>Bluetooth</i>	Sesuai	3	5,28
4.	Test <i>Bluetooth</i>	Test <i>Bluetooth</i>	Sesuai	4	6,83
5.	Test <i>Bluetooth</i>	Test <i>Bluetooth</i>	Sesuai	5	8,15
6.	Test <i>Bluetooth</i>	Test <i>Bluetooth</i>	Sesuai	6	9,57
7.	Test <i>Bluetooth</i>	Test <i>Bluetooth</i>	Sesuai	7	10,38
8.	Test <i>Bluetooth</i>	Test <i>Bluetooth</i>	Sesuai	8	11,21
9.	Test <i>Bluetooth</i>	Test <i>Bluetooth</i>	Sesuai	9	12,87
10.	Test <i>Bluetooth</i>	Test <i>Bluetooth</i>	Sesuai	10	14,50
11.	Test <i>Bluetooth</i>	Test <i>Bluetooth</i>	Tidak Terhubung	11	-

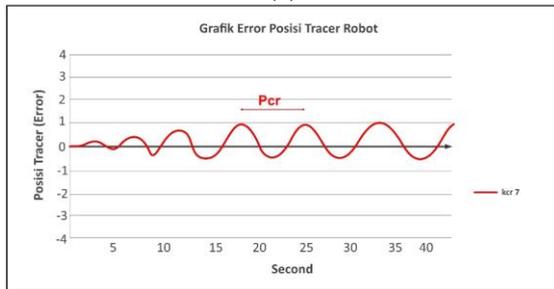
Dengan melihat hasil pengujian diatas, dapat dilihat bahwa *bluetooth* sudah terkoneksi dengan benar. Karena seperti yang bisa dilihat data yang dikirim dari *smartphone* sesuai dengan data yang diterima oleh *software* IDE Arduino. Jika dilihat dari hasil pengujian diatas semakin jauh jarak antara *smartphone* dengan AGV maka semakin lama jugak waktu yang dibutuhkan untuk tersambung ke modul *bluetooth* HC-05.

E. Pengujian Kontrol PID Metode Ziegler - Nichols

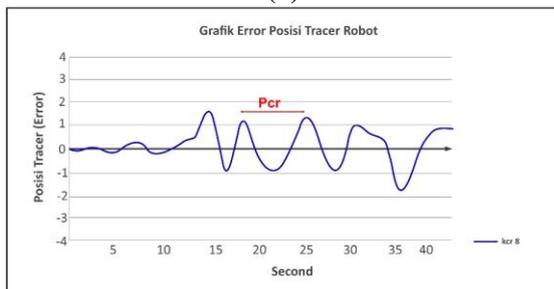
Pengujian kontrol PID diawali dengan proses tuning yang merubah nilai K_p dari 1-10. Akan ditampilkan 3 buah grafik hasil dari pengujian penggunaan 3 nilai K_p , yaitu saat diberikan nilai $K_p = 6$; $K_p = 7$ dan $K_p = 8$. Untuk grafik respon gerakan motor bisa dilihat pada gambar 11 berikut ini :



(a)



(b)



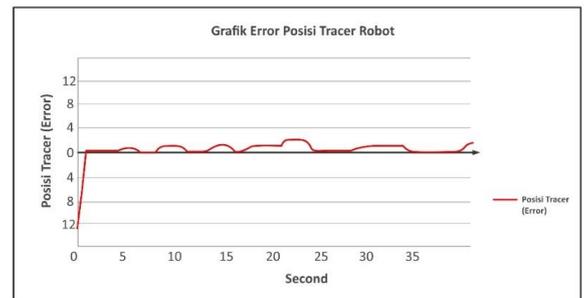
(c)

Gambar 11. Grafik Respon Pergerakan Robot dengan (a) $K_p = 6$; (b) $K_p = 7$ dan (c) $K_p = 8$

Pada gambar 13 grafik respon kecepatan Robot, dari ketiga respon yang diberikan pada nilai $K_p = 7$, $K_i = 0$, $K_d = 0$ menunjukkan bahwa pada saat kontroler proporsional dapat diketahui bahwa grafik dengan nilai $K_p = 7$ memberikan respon grafik yang stabil. Jadi dengan memberikan nilai $K_p = 7$, mampu menghasilkan grafik osilasi berkesinambungan atau bisa dikatakan nilai $K_{cr} = 7$. Respon sistem menampilkan data setiap 6 s sehingga nilai K_{cr} dan P_{cr} dapat dihitung. Nilai K_i dan K_d dapat diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 K_{cr} &= 7 \\
 P_{cr} &= 6 \text{ second} \\
 K_p &= 0,6 \times K_{cr} = 0,6 \times 7 = 4,2 \\
 T_i &= 0,5 \times P_{cr} = 0,5 \times 6 = 3 \\
 K_i &= K_p / T_i = 4,2 / 3 = 1,4 \\
 T_d &= 0,125 \times P_{cr} = 0,125 \times 6 = 0,75 \\
 K_d &= K_p \times T_d = 4,2 \times 0,75 = 3,15
 \end{aligned}$$

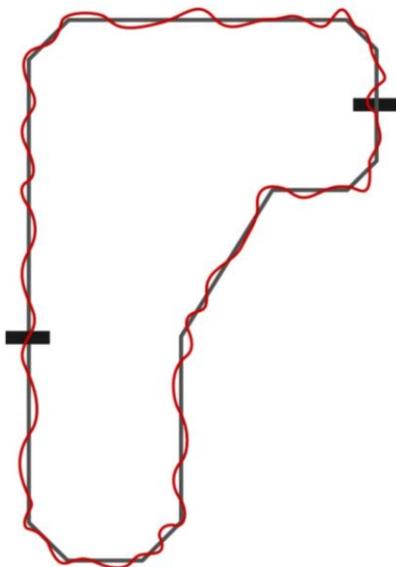
Dari hasil perhitungan diatas menggunakan metode kontrol *PID Ziegler Nichols 2*, didapatkan nilai parameter $K_p = 4,2$; $K_i = 1,4$ dan $K_d = 3,15$.



Gambar 12. Grafik Respon setelah Pengaplikasian Kontrol PID

Dari hasil pengujian pada gambar 14 terlihat bahwa dengan menggunakan kontroler PID, robot AGV dapat bergerak dengan lebih stabil. Terbukti dari grafik respon gerakan robot, posisinya yang selalu mendekati set point atau error 0. Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa metode osilasi Ziegler-Nichols dapat diterapkan pada proses tuning parameter PID robot AGV. Sehingga, proses tuning parameter PID bisa dilakukan lebih singkat tanpa perlu trial and error parameter K_i dan K_d .

Dengan melihat hasil respon grafik sesudah dan sebelum diberikan pengontrol PID maka bisa dilakukan pengujian gerakan pada robot AGV pada jalur yang telah dibuat sebelumnya. Untuk hasil pengujian robot pada jalur sebelum dan sesudah menggunakan pengontrol PID, bisa dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 13. Gerakan Robot sebelum Penggunaan Kontrol PID

