

## Sistem Kendali Robot Beroda *Wall-Follower* pada Tembok Lurus dan Berbelok menggunakan Metode PID

Haryanto Sihombing<sup>1</sup>, Eko Setiawan<sup>2</sup>, Sabriansyah Rizqika Akbar<sup>3</sup>

Program Studi Teknik Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya  
Email: <sup>1</sup>sihombing@student.ub.ac.id, <sup>2</sup>ekosetiawan@ub.ac.id, <sup>3</sup>sabrian@ub.ac.id

### Abstrak

Navigasi wall following adalah salah satu sistem navigasi yang digunakan dalam perlombaan contohnya Kontes Robot Cerdas Indonesia (KRCI) dimana tugas robot tersebut mengikuti kontur dinding-dinding yang membentuk lorong dan ruangan atau disebut dengan robot wall follower. Metode yang digunakan pada robot wall follower ini yaitu metode PID, suatu metode yang mampu memperbaiki pergerakan suatu sistem dengan lebih stabil dan dapat memiliki koreksi error yang bagus. Kontroler PID digunakan agar kecepatan motor dapat bertahan pada nilai yang diinginkan dan menavigasikan robot wall follower. Dalam pembuatan sistem robot ini digunakan mikrokontroler Arduino Uno R3, sensor ultrasonik, motor driver L298N. Pada skripsi ini penentuan hasil parameter kontroler PID ini didapatkan dengan menggunakan metode kedua Ziegler-Nichols. Metode ini dipilih untuk mengantisipasi perubahan jarak yang mengakibatkan osilasi pada sensor ultrasonik. Penggabungan PID dan Ziegler-Nichols akan mempercepat proses penentuan parameter kontroler PID tanpa harus melewati proses tuning trial dan error. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan dengan bantuan kontroler PID, robot wall follower telah mampu keputusan gerakan yang harus dilakukan dalam mengikuti sisi dinding. Hasil parameter PID yang dicapai dari penelitian tugas akhir ini diperoleh nilai  $K_p = 6$ ,  $K_i = 17.1$  dan  $K_d = 0.525$ .

**Kata kunci:** Mikrokontroler, Arduino Uno, Metode PID, navigasi wall following, sensor ultrasonik

### Abstract

*Wall following navigation is one of the navigation systems used in competitions, for example, in the Indonesian Intelligent Robot Contest (KRCI), where the robot's task is to follow the contours of the walls that form hallways and rooms or is called a wall follower robot. The method used in this wall follower robot is PID method, can make system movement more stable and capable to do an effective error correction. PID controller can hold motor speed at required fixed value and navigate the wall follower. Arduino Uno R3 microcontroller, ultrasonic sensor, and L298N motor driver are used in making this robot system. The determination of the PID controller parameters was obtained using the Ziegler-Nichols second method. This method was chosen to anticipate changes in distance that cause oscillations in the ultrasonic sensor. The combination of PID and Ziegler-Nichols second method will speed up the process of determining PID controller parameters without having to go through a trial-and-error tuning process. The results of the tests showed that with the help of the PID controller, the wall follower robot has been able to make decisions about the movements that must be carried out to follow the side of the wall. The results of the PID parameters achieved from this final project research obtained values of  $K_p = 6$ ,  $K_i = 17.1$ , and  $K_d = 0.525$ .*

**Keywords:** Microcontroller, Arduino Uno, PID method, wall navigation following, ultrasonic sensor

## 1. PENDAHULUAN

Robot memiliki berbagai macam desain, diantaranya adalah: robot mobile (mobile robot) yang bisa melakukan perpindahan tempat dari posisi awal hingga posisi yang berbeda, robot

manipulator (tangan) yang bekerja seperti lengan manusia, flying robot mirip seperti model pesawat yang mampu terbang, robot humanoid yang penampilannya mirip dengan keseluruhan bentuk tubuh manusia, robot jaringan dan robot berkaki. Bidang mobile robot adalah salah satu

bidang robot yang memiliki manfaat dalam mendukung kehidupan manusia sehari-hari. Mobile robot merupakan robot yang dapat melakukan mobilitas dari posisi awal menuju titik lain dengan kemampuan yang bervariasi tergantung pada jenis dan ditingkat yang dibutuhkan seperti: otomatis melakukan perjalanan dengan mengangkut barang, atau sebagai alat hiburan (Aripin, Subagio, & Martha, 2018). Mobile robot memiliki fungsi antara lain seperti mobile robot wall follower (pengikut dinding), pengikut cahaya dan line follower (pengikut garis) (Khairunnas, 2021).

Kontes Robot Cerdas Indonesia (KRCI) pada divisi beroda memiliki spesifikasi yang dibutuhkan untuk merancang mobile robot (Bastari, 2020). Permasalahan yang muncul adalah bagaimana merancang mobile robot dengan menentukan metode mobilitas mobile robot, sehingga robot mampu melintasi medan seperti labirin dan robot mampu beradaptasi dengan kondisi arena pertandingan. Dalam proses menelusuri arena labirin, robot dirancang agar dapat mengikuti kontur dinding dan garis penuntun sebagai arahan bagi robot (Hartono dan Jaenudin, 2017).

Robot dapat mengetahui kontur dinding dan garis penuntun pada arena dengan sensor ultrasonik. Sistem bekerja dengan menggunakan sensor ultrasonik untuk mengatur jarak antara dinding dengan robot dan mengikuti kontur dinding pembatas pada lintasan. Pada saat sensor ultrasonik bergerak maju atau berbelok, sensor akan memberikan input sebagai pengukur. Cara kerja sensor ultrasonik yaitu dengan mentransmisikan gelombang suara dan memantulkannya ketika mengenai objek di depannya (Budi, 2022).

Sistem memerlukan metode yang dapat menyelesaikan masalah pada sistem saat pergerakan menyusuri lintasan. Wall following adalah salah satu algoritma yang digunakan untuk memberikan arahan navigasi bagi robot untuk menyusuri dinding (Gumelar, 2018). Robot dapat mengetahui dinding di depannya melalui sensor yang dimiliki oleh robot itu sendiri.

Selain bernavigasi dengan baik, robot wall follower masih sering bergerak tidak stabil dalam mengikuti lintasan. Oleh karena itu, sistem memerlukan pengendali yang cocok untuk kestabilan mobilitas robot saat menyusuri arena lintasan dan membuat pergerakan dalam jarak yang diinginkan. Dengan menggunakan sistem kendali, robot dapat memperbaiki error

dengan baik dan bergerak lebih stabil. Sistem kendali digunakan untuk stabilitas pergerakan robot melewati lintasan arena. Sistem kendali robot merupakan sistem kendali proporsional dengan Pulse Width Modulation (PWM) untuk mengendalikan motor DC (Yulianto, 2014).

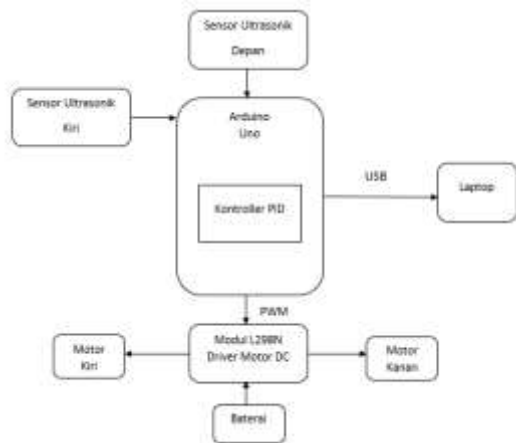
Pada penelitian ini sistem kendali menggunakan metode tuning PID dengan Ziegler-Nichols 2 atau disebut metode osilasi. Metode ini dipilih untuk mengantisipasi perubahan jarak yang mengakibatkan osilasi pada sensor ultrasonik. Metode ini digunakan lebih cepat menentukan parameter kontroler PID untuk memenuhi kinerja sistem. Unit sistem kontrol yang digunakan robot wall follower disebut mikrokontroler. Sistem mikrokontroler beroperasi dengan menjalankan program yang telah tersimpan.

Mikrokontroler adalah tipe dari komputer kecil di antaranya terintegrasi sebagai unit sistem terdesain di antaranya termasuk mikroprosesor, penyimpanan data, dan komponen elektronik sehingga mengakses input dan keluaran data (Pratiwi, 2019). Contoh mikrokontroler yang dirancang untuk sistem tanam dengan bahasa pemrograman C adalah Arduino. Arduino adalah nama produk dari mikrokontroler yang telah dilengkapi dengan komponen tambahan, sehingga untuk memudahkan proses perancangan suatu proyek.

Berdasarkan masalah di atas akan dibuat robot wall follower menelusuri arena lintasan dengan acuan dinding sebelah kiri menggunakan kontroler PID berbasis mikrokontroler, kemudian kestabilan robot di tuning menggunakan metode Ziegler-Nichols 2 supaya robot bergerak dengan aman, lancar, responsif, dan cepat saat menelusuri lintasan. Maka diambil tema dengan judul "Sistem Kendali Robot Beroda Wall-Follower Pada Tembok Lurus Dan Berbelok Menggunakan Metode PID".

## 2. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM

Perancangan sistem kendali robot beroda *wall follower* pada tembok lurus dan berbelok pada perangkat keras maupun perangkat lunak serta implementasi terdiri dari implementasi hasil perancangan ke dalam bentuk kode program dengan perangkat lunak dan alat perangkat keras. Dapat dilihat Gambar 1 merupakan diagram blok dari sistem.



Gambar 1 Diagram Blok Sistem

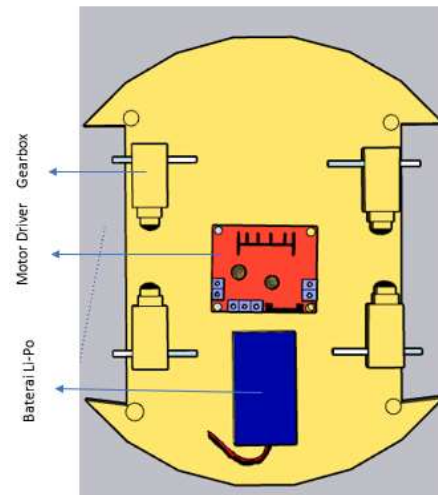
Diagram blok sistem keseluruhan merupakan bentuk umum mengenai rancangan sistem yang dibuat, dapat dilihat pada gambar 1. Rancangan sistem tersebut tergolong tiga bagian berupa masukan, proses dan keluaran. Bagian masukan memiliki 2 buah sensor ultrasonik dan baterai. Bagian keluaran terdapat Laptop untuk menampilkan hasil data. Keluaran menggunakan modul pengendali L298N *driver Motor DC* kiri dan kanan. Bagian masukan dan keluaran sistem memakai kontroler PID dalam proses sistem.

### 2.1 Perancangan Perangkat Keras

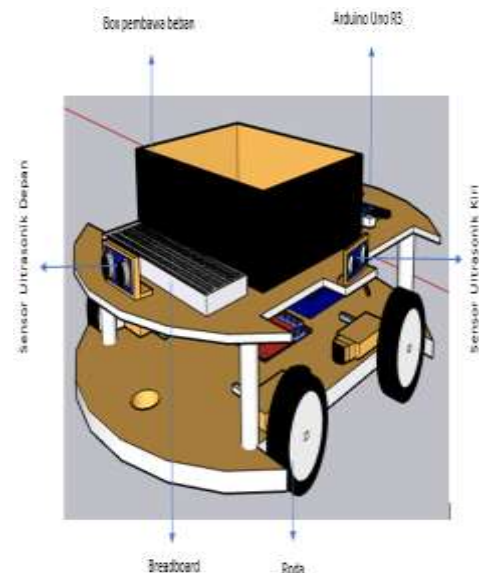
Robot *wall follower* menggunakan rangka dengan ukuran robot yaitu:

- Panjang Maksimal : 26 cm
- Lebar Maksimal : 17 cm
- Tinggi Maksimal : 10 cm

Desain robot terdapat pada Gambar 2 dan Gambar 3. Struktur mekanik dapat berfungsi dengan baik merupakan salah satu aspek penting dalam desain tugas akhir. Sistem mekanik membantu gerakan robot agar semakin baik. Sebuah desain mencakup seluruh bagian mekanis yaitu *modul driver*, *bodi robot*, *gearbox*, *ban depan robot*, *ban belakang robot*, dll.



Gambar 2 Desain Robot Bagian Bawah

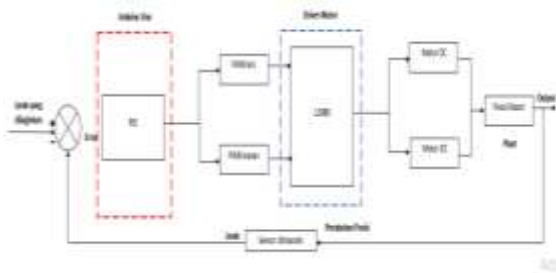


Gambar 3 Desain Mekanik Robot *Wall follower*

### 2.2 Perancangan Sistem Kontrol PID

Navigasi *wall following* dalam lintasan memerlukan aksi untuk mengatur sistem kontrol sebagai berikut:

1. Navigasi *wall following* dapat memperbaiki posisi dan tanpa menyentuh dinding lintasan arena.
2. Sistem mengikuti sisi samping dinding acuan sebelah kiri dengan error yang kecil.
3. Mengenali belokan di depannya dan mengambil keputusan arah selanjutnya.
4. Mengambil arah dan mengikuti sisi dinding bagian kiri.



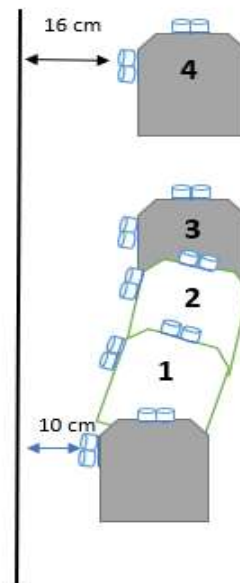
Gambar 4 Blok Diagram Sistem Kontrol PID

Gambar 4 menunjukkan diagram blok aplikasi sistem kontrol PID pada robot *wall-follower*. Diagram blok terdiri dari komponen sebagai berikut:

- 1) *Feedback* : Sensor ultrasonik
- 2) *Keluaran* : Perubahan posisi
- 3) *Penggerak* : *Motor Driver*
- 4) *Set point* : 16 cm dari dinding
- 5) *Plant* : Posisi robot
- 6) *Kontroler* : Mikrokontroler

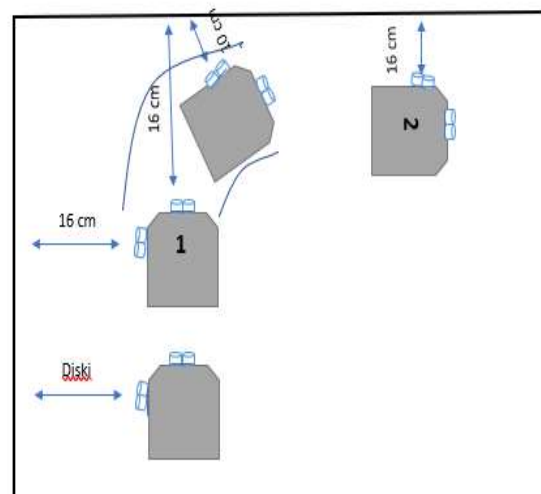
Saat pembacaan sensor ultrasonik membandingkan jarak setpoint dengan jarak robot terlebih dahulu. Perbandingan ini memberikan nilai kesalahan. Variabel input untuk sistem navigasi mengikuti dinding ini adalah jarak dari pembacaan sensor ultrasonik dan variabel keluarannya adalah jenis gerakan maju dan berbelok yang dipilih dan diulang untuk memenuhi nilai kesalahan yang meningkat. Penentuan limit fungsi input dilakukan dengan mempertimbangkan jarak yang terbaca oleh sensor ultrasonik saat robot berada di tengah lintasan.

Fungsi input sensor ultrasonik di sebelah kiri adalah *set point* untuk proses tuning dikendalikan PID. Sensor ultrasonik menentukan limit fungsi pada masukan pada bagian kiri dilakukan pembacaan sensor saat robot berada ditengah-tengah lintasan. Saat posisi robot tidak berada pada jarak *set point*, jarak terbaca pada sensor ultrasonik samping kiri adalah 10 cm. Sedangkan jarak dari *set point* yaitu 16 cm maka robot harus melakukan beberapa kali perulangan gerakan belok ke kanan agar dapat mencapai jarak *set point* yang diinginkan. Ilustrasi pergerakan robot pada sisi samping dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Ilustrasi Posisi Robot dalam Lintasan

Fungsi input dari sisi sensor ultrasonik bagian depan juga digunakan untuk pendeteksian adanya belokan. Fungsi input sensor depan digunakan untuk menggerakkan robot berbelok ke kanan. Pada gambar 6 ilustrasi posisi robot untuk menentukan batas-batas fungsi masukan dalam mengikuti sisi dinding kiri. Saat robot berada di posisi 1, sensor ultrasonik depan membaca jarak sebesar 16 cm, sehingga robot berbelok ke kanan ke arah sisi dinding dan berlanjut hingga robot berada di posisi 2.



Gambar 6 Ilustrasi robot ketika mengikuti dinding kiri

Perancangan Sistem Kontroler PID dengan tuning menggunakan metode osilasi Ziegler-Nichols dilakukan untuk menentukan nilai  $K_p$  terlebih dahulu sampai didapatkan osilasi konstan pada sensor ultrasonik dengan nilai  $K_i$

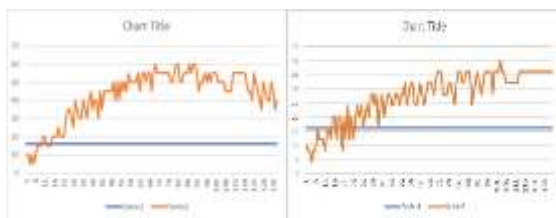
dan Kd adalah 0. Dari nilai Kp saat terjadi osilasi berkesinambungan tersebut dapat ditentukan Pcr dan Kcr. Dari nilai Pcr dan Kcr dapat menghitung nilai Kp, Ti dan Td.

Nilai jarak robot dan dinding yang diinginkan (*set point*) yang akan dipakai harus ditentukan terlebih dahulu. Metode kedua Ziegler-Nichols digunakan untuk merancang kontroler PID pada robot *wall-follower* untuk menentukan besar nilai Kp, Ki dan Kd.

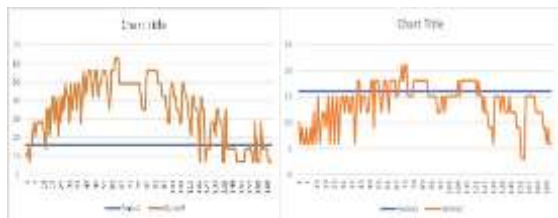
Langkah metode tersebut adalah sebagai berikut:

1. Mengatur jarak dinding dengan sensor ultrasonik. Dalam percobaan ini sistem disetting sebesar 10 cm.
2. Menggunakan tindakan kontrol proporsional, Kp dinaikkan dari 1 hingga nilai kritis (Kcr) dan menghasilkan keluaran yang memiliki osilasi berkesinambungan.
3. Memberikan nilai Ki dan Kd bernilai 0 untuk melepaskan nilai kontroler integral dan diferensial.
4. Dari keluaran osilasi yang berkesinambungan dapat ditentukan nilai penguatan kritis Kcr dan periode Pcr.
5. Menghitung nilai Kp, Ti dan Td didapatkan dengan menggunakan aturan Ziegler-Nichols pada tabel 2.1.
6. Nilai dari Ki dan Kd didapatkan dengan perhitungan antara lain:

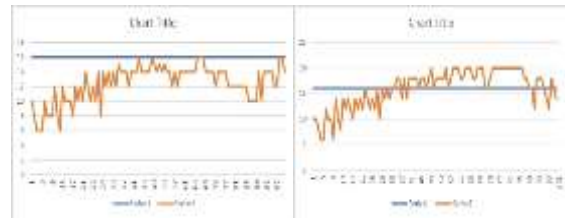
$$Ki = \frac{Kp}{Ti} \text{ dan } Kd = Kp \times Td$$



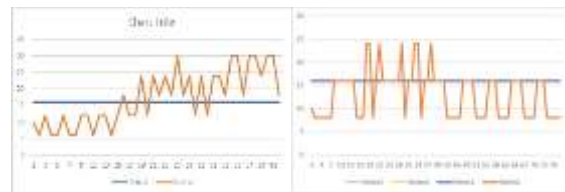
Gambar 7 Kp= 1 dan Kp= 2 dari grafik respon ultrasonik bagian kiri 0



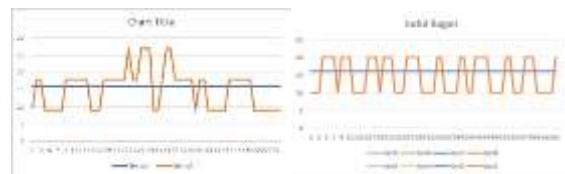
Gambar 8 Kp= 3 dan Kp= 4 dari grafik respon ultrasonik bagian kiri 0



Gambar 9 Kp= 5 dan Kp= 6 dari grafik respon ultrasonik bagian kiri 0



Gambar 10 Kp= 7 dan Kp= 8 dari grafik respon ultrasonik bagian kiri 0



Gambar 11 Kp= 9 dan Kp= 10 dari grafik respon ultrasonik bagian kiri 0

Pada Gambar 7 dan Gambar 8 respon robot masih lambat dan berosilasi. Pada Gambar 9 dan Gambar 10 respon robot sudah mulai cepat namun masih berosilasi. Pada Gambar 11 dengan Kp=9 respon robot sudah cepat dan mulai membentuk osilasi yang berkesinambungan. Grafik respon sensor ultrasonik yang mempunyai osilasi konstan didapat saat nilai kontroler proporsional 10 atau disebut dengan Kcr. Hasil pengujian sensor ultrasonik dengan menggunakan kontroler proporsional dengan nilai Kcr yaitu 10 dapat dilihat pada Gambar 11. Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa nilai MSE paling kecil pada Kp 6, tetapi nilai kp 6 aksi robot masih kurang responsif.

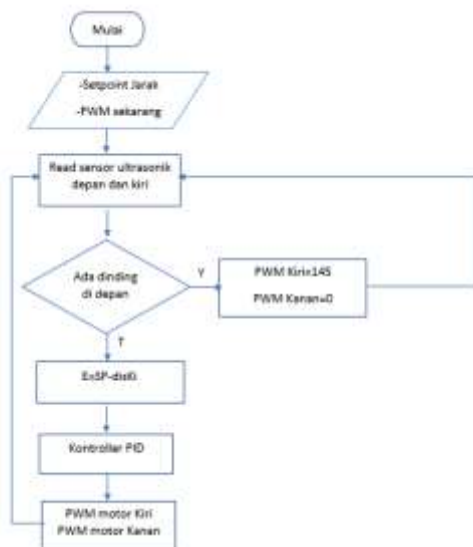
Tabel 1 Tabel *Mean Square Error* (MSE) untuk nilai Kp

Kp	MSE
1	902.47
2	199.41
3	596.09
4	20.84
5	18.88

6	13.64
7	67.619
8	34.10
9	33.48
10	24.46

### 2.3 Perancangan Perangkat Lunak

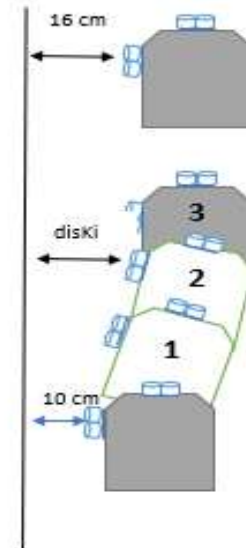
Pada bagian perancangan perangkat lunak dijelaskan mengenai diagram aliran atau flowchart dari sistem untuk memudahkan dalam memahami alur proses. Perancangan perangkat lunak sistem terbagi menjadi 2 bagian yaitu pemrograman kontroler PID pada robot *Wall follower* menggunakan software Arduino uno dan tuning parameter.



Gambar 12 Flowchart program utama

Pada Gambar 12 menjelaskan komputer digunakan untuk menjalankan program kontroler PID pada mikrokontroler. Proses PID sensor dalam robot *wall follower* ini yaitu sensor ultrasonik. Data nilai pembacaan sensor ultrasonik diolah dengan menggunakan kontroler PID sesuai dengan blok diagram kontrol PID. Pada saat sensor membaca ada dinding di depan, robot akan berbelok dengan PWM sebesar 145. Terdapat nilai *set point* berupa data jarak terhadap dinding sehingga nilai error didapatkan ketika nilai pembacaan sensor ultrasonik (*disKi*) tidak sesuai dengan masukan *set point* yang diinginkan. Sedangkan jika robot membaca tidak ada halangan proses PID akan berjalan. Suatu parameter nilai acuan

atau nilai yang diinginkan diebut dengan SP (*set point*). Ilustrasi kontroler PID ditunjukkan pada robot dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13 Ilustrasi kontroler PID pada robot

Persamaan kontroler nilai parameter ditunjukkan sebagai berikut:

$$Error = SP - disKi \quad (1)$$

$$\mu(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t)dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2)$$

$$PWM \text{ motor Kiri} = Base \text{ PWM} + u(t) \quad (3)$$

$$PWM \text{ motor Kanan} = Base \text{ PWM} - u(t) \quad (4)$$

Dimana:

- Konstanta *proportional* ( $K_p$ )
- Konstanta *integral* ( $K_i$ )
- Konstanta *diferensial* ( $K_d$ )
- $Error(e(t))$  adalah nilai kesalahan
- $disKi$  adalah nilai sensor ultrasonik saat itu.
- $u$  adalah nilai pid.

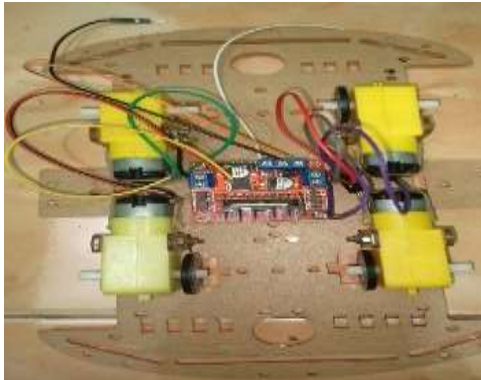
### 2.4 Implementasi Perangkat Keras

Penyusunan dan rangkaian komponen perangkat keras yang dirancang untuk membangun sistem robot *wall follower* dijelaskan pada tahap implementasi perangkat keras. Implementasi perangkat keras dibuat dan direalisasikan berdasarkan hasil perancangan perangkat keras yang telah dilakukan dan memastikan bahwa perangkat yang digunakan pada sistem dapat bekerja dengan baik. Pada

Gambar 14 dapat dilihat bagian atas robot terdapat Arduino Uno, sensor ultrasonik bagian depan, sensor ultrasonik bagian kiri dan 4 roda. Gambar 15 menunjukkan komponen terhubung menjadi sebuah sistem kendali robot beroda *wall-follower*.



Gambar 14 Bagian Atas Robot



Gambar 15 Implementasi Hardware Bagian Dalam

### 2.5 Implementasi Perangkat Keras

Gambar 16 merupakan implementasi *software* pada Data Streamer di excel untuk menampilkan data yang di program dari *software* Arduino IDE. Data yang didapatkan dari Data Streamer kemudian data tersebut diolah pada Excel untuk menampilkan data yang berupa grafik.



Gambar 16 Implementasi pada software Data Streamer

### 3. PENGUJIAN DAN ANALISIS

Hasil dari pengujian ini akan digunakan untuk melakukan analisis yang bertujuan agar didapatkan kesimpulan dari penelitian yang telah dilaksanakan. Berikut ini adalah pengujian yang dilakukan:

1. Pengujian sensor ultrasonik dan arah putar Motor.
2. Pengujian *tuning* PID untuk mengetahui nilai parameter PID yang tepat.
3. Pengujian sistem dalam bernavigasi mengikuti dinding.

#### 3.1. Pengujian Pembacaan Data Sensor Ultrasonik

Untuk mengetahui bagaimana pengaruh kombinasi nilai jarak sensor ultrasonik depan dan kiri. Lalu, mengetahui kesalahan pengukuran dari pembacaan sensor ultrasonik.

Pengujian ini dilakukan dengan 2 sensor ultrasonik yang terdapat di depan dan sebelah kiri dari robot. Pengujian dijalankan sebanyak 10 kali untuk mendapatkan pembacaan dari sensor ultrasonik. Kesalahan pembacaan muncul berupa hasil pengukuran pada bilangan desimal dua di belakang koma. Kesalahan ini tidak mempengaruhi kinerja sistem yang dirancang. Dengan percobaan 10 kali dapat disimpulkan sensor yang digunakan untuk kedua sensor bekerja dengan baik. Dapat dilihat lebih lengkap pada Tabel 2 *Mean Squared Error* masih sangat kecil.

Tabel 2 Pengujian Sensor bagian kiri dan depan

Penguji an ke-	Jarak Percobaan( cm)	Sensor Kiri	Sensor Depan
		Jarak yang didapat(cm)	Jarak yang didapat(cm)
1	5	5.10	5.12
2	8	8.07	8.09
3	10	10.14	10.10
4	12	12.07	12.16
5	15	15.17	15.08
6	18	18.07	18.19
7	20	19.98	20.09
8	23	23.19	23.17
9	25	25.10	25.19
10	30	30.18	30.14
<b>MSE</b>		0.01521	0.01933

### 3.2. Pengujian Arah Putar Motor dan Pemberian Nilai PWM

Untuk mengetahui motor driver yang telah dibuat dapat meneruskan perintah dari arduino uno untuk mengendalikan motor DC.

Pengujian ini terdiri dari pengendalian arah putaran motor. Dari hasil yang didapatkan arah dari putaran motor sesuai dengan yang di program. Pada saat kedua motor keadaan low arah dari kedua motor akan bergerak searah jarum jam. Dan pada saat kedua motor keadaan high maka arah pergerakan berlawanan jarum jam. Sehingga dapat disimpulkan pengendalian motor driver berfungsi dengan baik dan benar. Hasil dari pengujian PWM ditunjukkan oleh Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3 Hasil pengujian rotasi motor kanan dan kiri

Kondisi	Keterangan Putaran	
	Motor Kanan	Motor Kiri
Berhenti	Mati	Mati
Belok kanan	Berotasi	Berotasi
Jalan Lurus	Berotasi	Berotasi
Belok kiri	Berotasi	Berotasi
Putar Balik	Berotasi	Berotasi

Tabel 4 Hasil pengujian arah putaran motor kanan dan kiri

Motor Kanan	Motor Kiri	Arah Putaran	
		Motor Kanan	Motor Kiri
Low	High	Searah jarum jam	Berlawanan jarum jam
High	Low	Berlawanan jarum jam	Searah jarum jam
High	High	Berlawanan jarum jam	Berlawanan jarum jam
Low	Low	Searah jarum jam	Sarah jarum jam

### 3.3. Pengujian Tuning Kontroler PID

Untuk mengetahui berapa nilai dari kontroler PID dengan tuning metode Ziegler-Nichols 2 yang telah didapat sebelumnya. Dari data yang diterima data Streamer dapat dilihat grafik respon sensor ultrasonik dapat dilihat dari Tabel 5.

Tabel 5 Hasil Pengujian Tuning Kp

K <sub>p</sub>	K <sub>i</sub>	K <sub>d</sub>	Kondisi Respon Robot
1	0	0	Pelan, grafik tidak stabil
2	0	0	Pelan, grafik tidak stabil
3	0	0	Pelan, grafik tidak stabil
4	0	0	Pelan, grafik tidak stabil
5	0	0	Pelan, grafik tidak stabil
6	0	0	Meningkat, grafik tidak stabil
7	0	0	Cepat, grafik osilasi tidak stabil
8	0	0	Cepat, grafik osilasi belum berkesinambungan
9	0	0	Cepat, grafik osilasi masih belum konstan
10	0	0	<b>Cepat, grafik naik dan osilasi berkesinambungan</b>

Tuning parameter kontroler PID dari Tabel 6.4 dengan metode kedua Ziegler – Nichols sistem menunjukkan bahwa kontroler proporsional dapat membentuk osilasi berkesinambungan pada nilai K<sub>p</sub>= 10. Respon sistem menampilkan data setiap 0.1 detik sehingga didapat nilai K<sub>cr</sub> dan P<sub>cr</sub>. Nilai K<sub>i</sub> dan K<sub>d</sub> dapat diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut:

- P<sub>cr</sub>=0.7
- K<sub>cr</sub> = 10
- K<sub>p</sub>=0.6 x K<sub>cr</sub> = 0.6 x 10 = 6
- T<sub>i</sub>=0.5 x P<sub>cr</sub> = 0.5 x 0.7 = 0.35
- T<sub>d</sub>=0.125 x P<sub>cr</sub>= 0.125 x 0.7 = 0.0875
- K<sub>i</sub> =  $\frac{K_p}{T_i}$  = 6/0.35 = 17.1
- K<sub>d</sub> = K<sub>p</sub> x T<sub>d</sub> = 6 x 0.0875 = 0.525

Hasil tuning parameter PID yang dihitung menggunakan metode kedua Ziegler Nichols pada sensor ultrasonik pada bagian kiri diperoleh nilai K<sub>p</sub>= 6, K<sub>i</sub>= 17.1 dan K<sub>d</sub>= 0.525.



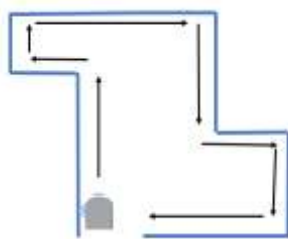


Gambar 17 Grafik respon sensor ultrasonik acuan bagian kiri dengan  $K_p= 6$ ,  $K_i= 17.1$  dan  $K_d= 0.525$ .

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, dapat dilihat pada Gambar 17 menunjukkan performa robot tidak mengalami masalah. Sistem robot dapat mengontrol jarak pada *set point* yang telah ditentukan dan robot tetap dapat mengikuti dinding bagian kiri dengan baik. Dapat disimpulkan bahwa tuning menggunakan metode Ziegler-Nichols 2 dapat bekerja dengan baik dan respon posisi selalu mendekati *set point*.

### 3.5. Pengujian Sistem Mengikuti Sisi Dinding

Untuk mengetahui keberhasilan sistem saat mengikuti dinding kiri. Robot diletakkan pada posisi awal yang sudah ditentukan dalam arena lintasan dan menjalankan robot agar bergerak menelusuri sisi lintasan hingga ke posisi akhir. Selanjutnya dihitung banyaknya benturan yang terjadi dan jangka waktu yang dibutuhkan robot dalam menelusuri lintasan dapat dilihat pada Gambar 20.



Gambar 18 Ilustrasi pergerakan robot mengikuti sisi dinding kiri

Berdasarkan hasil pengujian dapat diketahui bahwa performa robot saat mengikuti sisi dinding kiri dalam satu ruangan dari arena pengujian secara umum dikatakan baik. Robot berhasil membuat keputusan dalam melakukan sistem navigasi *wall following* dalam ruangan untuk mengikuti sisi dinding ruangan. Dari Tabel 6 dapat disimpulkan bahwa parameter konstanta PID ketika mengikuti sisi dinding kiri telah mampu membuat pergerakan robot

menjadi stabil, responsif dan aman menentukan pergerakan robot selama mengikuti dinding kiri.

Tabel 6 Hasil Pengujian Robot Mengikuti Dinding Kiri

Pengujian Ke-	Jumlah Tabrakan	Jangka Waktu (detik)	Hasil Pengujian mengikuti lintasan
1	0	31	Sukses
2	0	31	Sukses
3	1	32	Sukses

## 4. PENUTUP

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan implementasi sistem kendali pada robot *wall following* dengan metode PID yang di *tuning* menggunakan Ziegler-Nichols 2, robot *wall following* ini dapat mengikuti sisi dinding arena dengan dua unit sensor ultrasonik HC-SR04 yang digunakan robot untuk mendeteksi keberadaan dinding dipasang di bagian depan dan samping kiri robot. Setiap sensor ditempatkan berdiri dan menghadap ke dinding. Setiap sensor ultrasonik melakukan pengujian sebanyak 10 kali dengan menghasilkan nilai pengujian jarak yang berbeda-beda dan memiliki nilai MSE sebesar 0.01521 untuk sensor bagian kiri serta 0.01933 untuk sensor bagian depan. Robot bergerak menggunakan 4 motor dan arah putar motor dari hasil yang didapatkan sesuai operasi dengan yang di program.

Parameter PID yang dapat membuat pergerakan robot menjadi stabil dan robot bergerak dengan responsif, hasil *tuning* didapat dengan nilai  $K_p= 6$ ,  $K_i= 17.1$  dan  $K_d= 0.525$ .

Metode PID dan metode Ziegler-Nichols 2 yang diimplementasikan pada robot *wall following* ini telah mampu mempertahankan performansi pada jarak set point 16 cm dan dapat mengikuti sisi dinding arena yaitu tidak melebihi 2 cm dari set point.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

Akbar, A. E., Djurianto, W., & Siwindarto, P. (2013). Implementasi Sistem Navigasi Wall following Menggunakan Kontroler PID dengan Metode Tuning pada Robot Kontes Robot Cerdas Indonesia (KRCI) Divisi Senior Beroda. Jurnal Mahasiswa

TEUB, 1(1).

- Gumelar, A. W. (2018). Implementasi metode simple maze wall follower dengan menggunakan free rtos pada robot maze (Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya).
- Rokhmah, N. N. (2018). Kendali Kecepatan Motor DC Dengan Metode PID Berbasis Arduino Uno. Jurnal Teknik Elektro dan Vaksional.
- Suharto, Sam Budi. Purwanto. Nusantoro, Goegoes Dwi. (2013). Sistem navigasi wall following robot krpai divisi berkaki menggunakan kontroler pid. Jurnal Mahasiswa TEUB,1(1),1-6.
- Wijaya, E. C., Setiawan, I., & Wahyudi, W. (2011). Auto Tuning PID Berbasis Metode Osilasi Ziegler-Nichols Menggunakan Mikrokontroler AT89S52 pada Pengendalian Suhu (Doctoral dissertation, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Undip).