

# SISTEM NAVIGASI *WALL FOLLOWING* ROBOT KRPAI DIVISI BERKAKI MENGGUNAKAN KONTROLER PID

Sam Budi Suharto<sup>1</sup>, Ir. Purwanto, MT.<sup>2</sup>, Goegoes Dwi Nusantoro, ST., MT.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Teknik Elektro UB, <sup>2,3</sup>Dosen Teknik Elektro UB  
sam\_no4@yahoo.com

**Abstrak**— Kontes Robot Pemadam Api Indonesia (KRPAI) merupakan ajang kompetisi robotika nasional yang terdiri dari divisi Beroda dan divisi Berkaki. Pada Kontes Robot Pemadam Api Indonesia (KRPAI) divisi Berkaki, robot yang diperlombakan harus mampu bergerak menyusuri dinding arena perlombaan yang membentuk lorong dan ruangan untuk melakukan tugasnya memadamkan api dari sebuah lilin yang diletakkan pada salah satu ruang. Berdasarkan kondisi tersebut maka dalam skripsi ini dirancanglah suatu Sistem Navigasi *Wall Following* Robot KRPAI Divisi Berkaki Menggunakan Kontroler PID.

Kontroler PID bertujuan untuk memuluskan pergerakan robot saat menyusuri dinding arena perlombaan. Dari hasil pengujian menunjukkan dengan bantuan kontroler PID, robot *wall follower* telah mampu mengambil keputusan gerakan yang harus dilakukan dalam mengikuti sisi dinding arena. Penentuan hasil parameter kontroler PID ini didapatkan dengan menggunakan metode *hand tuning*. Hasil parameter kontroler PID yang dicapai dari penelitian ini diperoleh nilai  $K_p=4$ ,  $K_i=2$ , dan  $K_d=0,05$ .

**Kata Kunci**— navigasi *wall following*, kontroler PID, *hand tuning*, KRPAI.

## I. PENDAHULUAN

Robot adalah sebuah sistem mekanik yang mempunyai fungsi gerak analog untuk fungsi gerak organisme hidup, atau kombinasi dari banyak fungsi gerak dengan fungsi intelligent [1]. Dunia robotika telah berkembang pesat di Indonesia. Salah satu wadah pengembangan teknologi robotika di bidang pendidikan adalah Kontes Robot yang diadakan oleh Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (Dirjen DIKTI), yang terdiri dari 4 kategori, yaitu Kontes Robot Indonesia (KRI), Kontes Robot Pemadam Api Indonesia (KRPAI), Kontes *RoboSoccer Humanoid League*, dan Kontes Robot Seni Indonesia (KRSI) yang diselenggarakan setiap tahunnya.[2]

Pada Kontes Robot Pemadam Api Indonesia (KRPAI) robot kontes dibagi menjadi dua divisi, yaitu divisi beroda dan divisi berkaki [2]. Robot harus mampu beradaptasi dan melaksanakan tugasnya untuk memadamkan api sesuai dengan kondisi arena pertandingan dengan cara bergerak menyusuri arena. Agar dapat menyusuri arena tersebut maka *mobile robot*

yang dirancang harus mampu mendeteksi keberadaan dinding dan lorong yang menjadi lintasan robot.

Salah satu cara yang bisa diterapkan adalah dengan mengikuti sisi dinding (*wall following* pada arena menggunakan sensor ultrasonik (PING))) untuk mendeteksi jarak. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu sistem kontrol untuk menunjang cara tersebut yang dapat mengatasi kelemahan-kelemahan dalam pergerakan.

Maka dalam skripsi ini akan dirancang suatu Sistem Navigasi *Wall Following* Robot KRPAI Divisi Berkaki menggunakan Kontroler PID.

Perancangan kontroler PID ini menggunakan cara *hand tuning* untuk menentukan besar  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$ .

Pengontrolan dilakukan dengan penentuan masukan berupa jarak yang diinginkan terhadap dinding (*setpoint*). Selanjutnya data berupa jarak diolah menggunakan kontroler yang menghasilkan sinyal untuk mengontrol *plant*, sehingga dapat menentukan keluaran posisi jarak yang terukur dari robot. Kemudian keluaran tersebut melalui proses umpan balik dimana kesalahan ditunjukkan dengan selisih antara input (masukan) dan respon keluaran. Setelah itu baru menentukan parameter kontroler PID supaya sistem *close loop* memenuhi kriteria performansi yang diinginkan.[3]

## II. LANDASAN TEORI

### A. Robot Berkaki

Robot berkaki adalah robot yang menggunakan kaki untuk bergerak. Kelebihan utama dari robot berkaki jika dibandingkan dengan robot beroda adalah kemampuannya untuk bergerak di medan yang tidak rata. Robot berkaki enam memiliki jumlah derajat kebebasan (*degree of freedom*) sebanyak 2 sampai 3 buah pada setiap kakinya. Untuk dapat bergerak, maka perlu diatur kombinasi gerakan pada masing-masing sendi sehingga kaki robot dapat terangkat dan berpindah pada posisi yang diinginkan.

### B. Navigasi *Wall Following*

*Wall following* merupakan salah satu metode navigasi yang digunakan untuk menyusuri kontur dinding. Metode ini biasanya digunakan robot yang memiliki kemampuan menyusuri dinding atau labirin untuk menyelesaikan misi tertentu. Pada dasarnya algoritma ini bertujuan untuk menjaga agar jarak robot pada dinding tetap pada batas yang diinginkan sementara robot terus bergerak maju.

### C. Kontroler PID

Gabungan aksi kontrol proporsional, integral, dan diferensial mempunyai keunggulan dibandingkan dengan masing-masing dari tiga aksi kontrol tersebut.

Masing-masing kontroler P, I, maupun D berfungsi untuk mempercepat reaksi sistem, menghilangkan *offset*, dan mendapatkan energi ekstra ketika terjadi perubahan load. Persamaan kontroler PID ini dapat dinyatakan pada persamaan berikut,

$$m(t) = K_p \cdot e(t) + \frac{K_p}{T_i} \cdot \int e(t) dt + K_p \cdot T_d \frac{de(t)}{dt}$$

### III. PERANCANGAN ALAT

Perancangan ini meliputi perancangan sistem keseluruhan, perancangan perangkat keras, perancangan sistem kontrol PID sistem navigasi *wall following* dan perancangan perangkat lunak. Perancangan perangkat keras meliputi perancangan mekanik dan perancangan rangkaian elektrik robot. Perancangan perangkat lunak meliputi pembuatan diagram alir sistem dan pengaplikasian pada program *Code Vision AVR*.

#### A. Penentuan Spesifikasi Alat

Spesifikasi alat yang direncanakan adalah sebagai berikut:

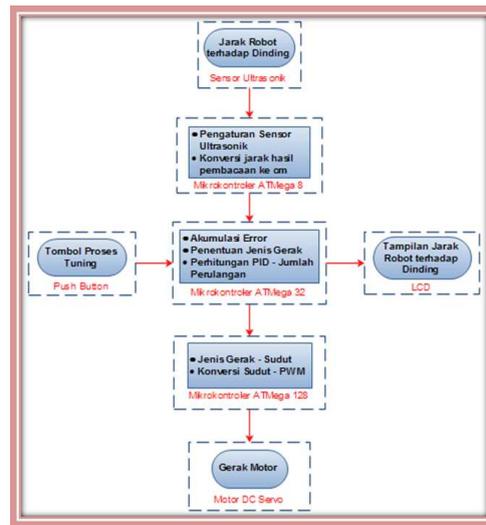
- 1) Robot berbahan dasar aluminium dan mika *acrylic*.
- 2) Robot yang dibuat memiliki 6 kaki dengan 3 derajat kebebasan (Degree of Freedom (DOF)) pada setiap kakinya.
- 3) Dimensi maksimum robot adalah 46 cm x 31 cm x 27 cm (sesuai Peraturan Kontes Robot Pemadam Api Indonesia 2013).
- 4) Mikrokontroler Atmel ATmega32 sebagai implementasi kontrol PID navigasi *wall following* robot.
- 5) Mikrokontroler Atmel ATmega8 sebagai pengolah data dan antarmuka sensor ultrasonik.
- 6) Mikrokontroler Atmel ATmega128 sebagai pengontrol pergerakan dan antarmuka motor servo.
- 7) Arena yang digunakan berupa bidang datar (kemiringan 0°).
- 8) Pendeteksi keberadaan dinding sekitar menggunakan sensor ultrasonik (PING)).
- 9) Sensor ultrasonik diletakkan dibagian depan, samping kiri tengah, samping kiri, samping kanan tengah dan samping kanan agar *mobile robot* dapat mengukur jarak terhadap dinding arena.
- 10) LCD diletakkan pada bagian atas robot yang berfungsi sebagai tampilan data.

#### B. Perancangan Sistem Keseluruhan

Diagram blok sistem yang dirancang dibagi menjadi dua bagian, yaitu :

- blok mikrokontroler
- blok sensor

seperti ditunjukkan dalam Gambar 1.



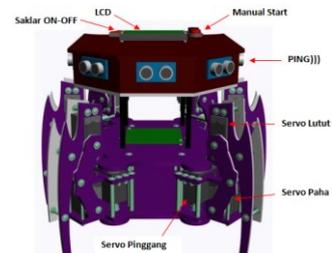
Gambar 1 Diagram Blok Sistem Keseluruhan Mobile Robot

### C. Perancangan Perangkat Keras

#### 1) Perancangan Mekanik

Berdasarkan peraturan Kontes Robot Pemadam Api Indonesia (KRPPI) Divisi Berkaki tahun 2013, batasan dimensi robot baik saat posisi berhenti maupun saat bermanuver adalah sebagai berikut:

- Panjang maksimum : 46 cm
- Lebar maksimum : 31 cm
- Tinggi maksimum : 27 cm

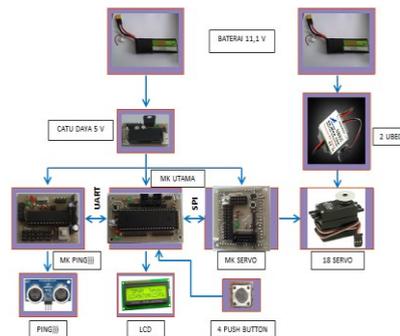


Gambar 2 Desain Mekanik Robot Berkaki Enam

Pada perancangan ini robot yang dibuat memiliki ukuran dimensi maksimum saat bergerak adalah panjang 33 cm, lebar 30 cm, dan tinggi 23 cm.

#### 2) Perancangan Rangkaian Elektrik

Diagram blok sistem elektronika ditunjukkan dalam Gambar 3.



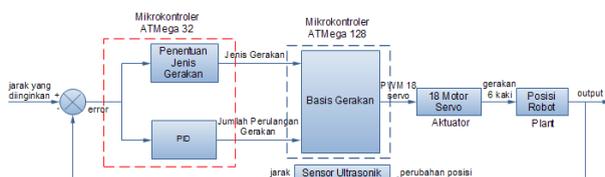
Gambar 3 Diagram Blok Sistem Elektronika

### D. Perancangan Sistem Kontrol PID

Aksi-aksi yang diperlukan untuk mengatur sistem navigasi *wall following* dalam lintasan KRPPI adalah:

- 1) navigasi aman (tanpa merusak dinding, tanpa menyentuh dinding, dapat memperbaiki posisinya dalam lintasan ).
- 2) mengikuti dinding (*wall following*).
- 3) mengenali persimpangan.
- 4) mengambil keputusan arah yang dituju ketika berada dipersimpangan.
- 5) mengambil arah persimpangan sesuai dengan mode telusur kiri atau kanan.

Berikut ini adalah diagram blok aplikasi sistem kontrol PID pada robot *wall follower* ditunjukkan dalam Gambar 4 dibawah ini.



Gambar 4 Diagram Blok Aplikasi Sistem Kontrol PID

Komponen dari diagram blok :

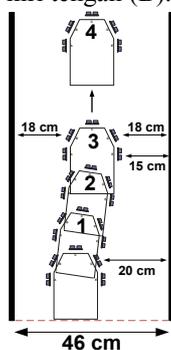
- 1) *Set Point* : 18 cm dari Dinding
- 2) Kontroler : Mikrokontroler
- 3) Aktuator : 18 Motor DC Servo
- 4) *Feedback* : Sensor Ultrasonik PING
- 5) *Plant* : Posisi Robot
- 6) *Output* : Perubahan Posisi (Jarak)

Variabel masukan untuk sistem navigasi *wall following* ini yaitu jarak dari pembacaan sensor ultrasonik sedangkan variabel keluaran berupa jenis pergerakan robot (maju, belok kanan, dan belok kiri) dan berapa kali perulangan gerakan belok yang harus dilakukan untuk mengontrol posisi robot terhadap dinding arena sehingga jarak yang diinginkan terpenuhi.

• **Fungsi Masukan Sisi Samping Tengah**

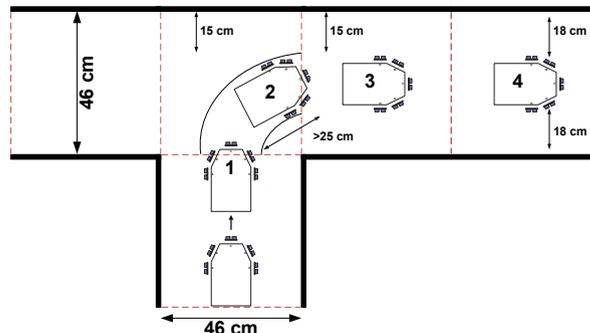
Fungsi masukan pada sisi samping tengah digunakan sesuai sisi dinding yang diikuti. Fungsi masukan pada sisi samping tengah ini juga menjadi *set point* dalam proses tuning kontrol PID. Penentuan nilai batas pada masing-masing fungsi masukan dilakukan dengan memperhatikan jarak terbaca dari sensor ultrasonik pada saat posisi robot berada ditengah-tengah lintasan.

Ketika sisi dinding yang diikuti adalah sisi kanan (*follow kanan*) maka sensor ultrasonik yang menjadi masukan adalah sensor ultrasonik samping kanan tengah (D) sebaliknya untuk sisi dinding kiri (*follow kiri*), sensor ultrasonik yang menjadi masukan adalah sensor ultrasonik samping kiri tengah (B).



Gambar 5 Ilustrasi Robot Menjaga Jarak Dengan Dinding Kanan

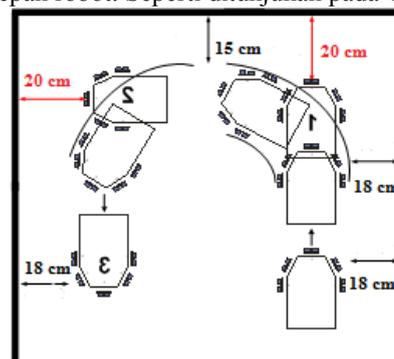
Fungsi masukan dari sensor ultrasonik samping kanan tengah (D) dan sensor ultrasonik samping kiri tengah (B) juga digunakan untuk mengetahui adanya belokan atau persimpangan. Ilustrasi untuk menentukan batas-batas fungsi masukan ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Ilustrasi Robot Melewati Belokan Atau Persimpangan

• **Fungsi Masukan Sisi Depan**

Fungsi masukan untuk sensor depan juga menjadi salah satu syarat bahwa robot harus melakukan gerakan berbelok kekiri atau kekanan dan untuk mengenali persimpangan, tetapi tidak dapat disamakan dengan fungsi masukan sensor pada sisi samping tengah walaupun saling mempengaruhi. Sensor depan digunakan untuk mendeteksi keberadaan dinding pada bagian depan robot. Seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Ilustrasi Posisi Robot Ketika Mengikuti Dinding Kanan

**E. Perancangan Perangkat Lunak**

**1. Pemrograman Kontroler PID pada Robot Wall Follower**

Pembuatan program kontroler PID ini dilakukan berdasarkan persamaan kontroler PID digital. Kontroler PID digital merupakan bentuk lain dari kontroler PID yang diprogram dan dijalankan menggunakan komputer atau mikrokontroler.

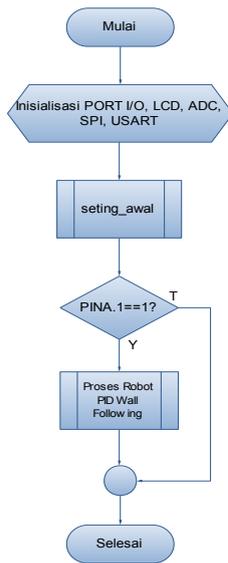
Untuk dapat mengimplementasikan PID digital di komputer atau mikrokontroler, maka kontroler PID analog harus diubah terlebih dahulu ke bentuk digital.

Persamaan PID digital ditunjukkan dibawah ini :

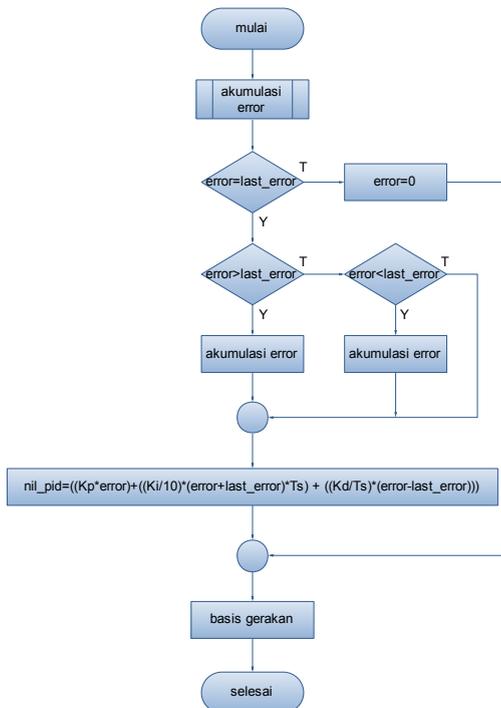
$$u = K_p \cdot error + K_i (error - last\_error) \cdot Ts + \frac{K_d}{Ts} (error - last\_error)$$

keterangan : u = nil pid [4]

Diagram alir program utama ditunjukkan dalam Gambar 8.



Gambar 8 Diagram Alir Program Utama Mikrokontroler



Gambar 9 Diagram Alir Subrutin Kontrol PID

Setpoint sistem berupa masukan jarak robot terhadap dinding sebesar 18 cm. Jarak tersebut terlebih dahulu dibandingkan dengan jarak robot saat ini hasil pembacaan sensor ultrasonik, perbandingan tersebut akan menghasilkan nilai *error*. Nilai *error* digunakan untuk menentukan jenis gerakan yang harus dilakukan robot. Penentuan ini berdasarkan apakah nilai *error* tersebut bernilai *positif*, *negatif* atau nol. Misal saat robot melakukan navigasi mengikuti dinding kanan apabila nilai *error* sama dengan nol maka gerakan yang harus dilakukan adalah maju, apabila jarak robot saat ini lebih besar dari nilai *setpoint* (*positif error*) maka gerakan yang harus dilakukan adalah belok kanan dan begitupula sebaliknya apabila jarak robot saat ini kurang dari nilai *setpoint* (*negatif error*) maka gerakan yang harus dilakukan adalah belok kiri. Nilai *error* juga digunakan sebagai masukan perhitungan PID yang akan

menghasilkan nilai PID untuk menentukan jumlah perulangan gerakan yang harus dilakukan untuk memenuhi nilai *error* tersebut.

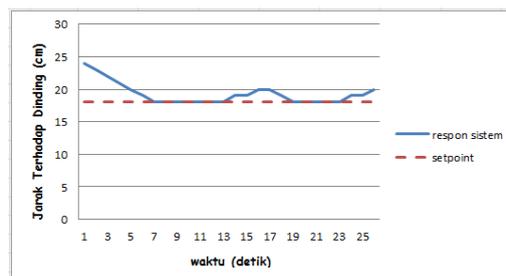
Hasil penentuan jenis gerakan dan jumlah perulangan gerakan yang telah diproses mikrokontroler utama (ATMega 32) dikirim kemikrokontroler pengendali motor DC servo (ATMega 128) untuk dicocokkan dengan basis gerakan yang telah dibuat sebelumnya. Basis gerakan merupakan gerakan – gerakan yang digunakan dalam sistem navigasi *wall following* ini yaitu gerak maju, belok kanan, dan belok kiri. Gerakan – gerakan inilah yang nantinya dipilih dan diulang dengan jumlah perulangan tertentu untuk memenuhi nilai *error*. Pada setiap gerakan ini sudut dari masing – masing servonya sudah ditentukan sebelumnya agar gerakan yang terbentuk sesuai. Nilai sudut – sudut tersebut didapat dengan menggunakan perhitungan invers kinematik diluar proses. Kemudian nilai sudut – sudut tersebut dikonversi untuk menghasilkan nilai PWM yang dapat menggerakkan motor – motor DC servo. Pergerakan motor – motor DC servo tersebut akan menggerakkan kaki – kaki robot sehingga posisi robot terhadap dinding juga akan berubah. Perubahan inilah yang dibaca oleh sensor ultrasonik, karena bila posisi robot berubah maka jaraknya terhadap dinding juga akan berubah. Jarak inilah yang nantinya menjadi umpan balik untuk dibandingkan dengan nilai *setpoint* untuk menentukan besar *error* yang menjadi masukan perhitungan PID dan begitulah seterusnya proses berulang agar robot dapat melakukan navigasi *wall following*.

**2. Tuning Eksperimen**

Untuk nilai parameter PID perlu diubah-ubah secara *trial and error* agar respon yang diperoleh sesuai harapan. Tabel 1 menunjukkan proses penguatan nilai *Kp* melalui *hand tuning*. Pada penentuan nilai parameter PID ini robot diletakkan pada jarak 24 cm dari dinding dan *setpoint* jarak yang diinginkan adalah 18 cm dari dinding.

Tabel 1 Penguatan *Kp* dan *Ki* yang Berbeda (Perancangan, 2013)

Ki	Kp	Error Steady State (cm)
1	4	2
2	4	0



Gambar 10 Respon untuk Nilai *Kp* = 4 dan *Ki* = 2

Dalam Gambar 10 dapat dilihat bahwa respon sistem sudah mampu mencapai *setpoint*. Untuk nilai penguatan *Kd* adalah sebesar 0,05.

Dari penentuan nilai penguatan *Kp*, *Ki*, dan *Kd* dapat dipastikan nilai penguatan yang digunakan untuk sistem navigasi *wall following* robot berkaki ini adalah *Kp* = 4, *Ki* = 2, dan *Kd* = 0,05.

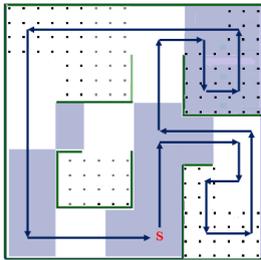


#### d. Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian keseluruhan sistem terdiri atas dua bagian yaitu pengujian robot saat mengikuti dinding kanan dan pengujian robot saat mengikuti dinding kiri pada model lapangan pengujian. Prosedur pengujian dilakukan dengan meletakkan robot pada posisi awal dalam arena dan mengaktifkan robot agar bergerak menelusuri sisi lintasan dalam selang waktu tertentu untuk setiap pengujian. Selanjutnya dihitung banyaknya benturan yang dilakukan robot pada dinding arena dan berapa selang waktu yang dibutuhkan robot dalam menelusuri lintasan.

#### a) Pengujian Robot Mengikuti Sisi Dinding Kanan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui performa sistem kontrol PID dari parameter-parameter  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  yang sudah didapatkan pada proses *tuning* yang diimplementasikan pada robot dalam mengikuti sisi dinding lintasan sebelah kanan. Arena pengujian dan ilustrasi jalur pergerakan robot ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14 Ilustrasi Pergerakan Robot Mengikuti Sisi Dinding Sebelah Kanan pada Arena Pengujian

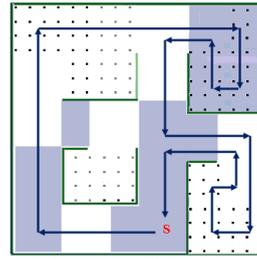
Tabel 4 Hasil Pengujian Robot Mengikuti Dinding Kanan

Pengujian Ke-	Jumlah Benturan	Lama Waktu (Menit : Detik)	Hasil Pengujian
1	6	7 : 56	berhasil
2	5	7 : 49	berhasil
3	7	7 : 64	berhasil

Berdasarkan hasil pengujian dapat diketahui bahwa robot *wall follower* dengan menggunakan kontroler PID telah berhasil membuat keputusan dalam menentukan pergerakan robot selama mengikuti dinding sebelah kanan. Masih terjadinya beberapa benturan antara badan robot dengan dinding arena saat proses pengujian dikarenakan tidak adanya percepatan respon robot untuk segera mencapai *setpoint* yang diinginkan sehingga saat terjadi *error* yang besar seperti pada waktu melewati belokan robot tidak bisa segera memperbaiki posisinya hal inilah yang menyebabkan akhirnya terjadi benturan antara badan robot dengan dinding arena.

#### b) Pengujian Robot Mengikuti Sisi Dinding Kiri

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui performa kontroler PID yang diimplementasikan pada robot dalam mengikuti sisi dinding sebelah kiri. Arena pengujian dan ilustrasi jalur pergerakan robot ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 15 Ilustrasi Pergerakan Robot Mengikuti Sisi Dinding Sebelah Kiri pada Arena Pengujian

Tabel 5 Hasil Pengujian Robot Mengikuti Dinding Kiri

Pengujian Ke-	Jumlah Benturan	Lama Waktu (Menit : Detik)	Hasil Pengujian
1	5	7 : 40	berhasil
2	6	7 : 58	berhasil
3	3	3 : 36	gagal

Berdasarkan hasil pengujian dapat diketahui bahwa robot *wall follower* dengan menggunakan kontroler PID telah berhasil membuat keputusan dalam menentukan pergerakan robot selama mengikuti dinding sebelah kiri. Kegagalan robot untuk bergerak terus menerus pada pengujian ketiga disebabkan oleh terbenturnya badan robot pada bagian tertentu pada dinding lintasan sehingga posisi robot bergeser yang mengakibatkan robot terhenti.

## V. KESIMPULAN

Dari hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

1. Sensor ultrasonik (PING))) memiliki kesalahan rata-rata pengukuran sebesar 0,12 cm. Semakin dekat jarak objek terhadap sensor, kesalahan pengukuran semakin meningkat.

2. Dengan menggunakan kontroler PID yang dirancang, robot *wall follower* telah mampu mengambil keputusan gerakan yang harus dilakukan dalam mengikuti sisi dinding arena, parameter kontroler PID diperoleh dari hasil *tuning* dengan metode *hand tuning* adalah  $K_p=4$ ,  $K_i=2$ , dan  $K_d=0,05$ . Respon robot telah mampu memenuhi batas *error* yang diharapkan yaitu tidak melebihi 2 cm dari nilai *setpoint* yang ditetapkan dengan *settling time* ( $t_s$ ) = 6 sekon.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] ORJ, Official Robotic Japan atau Japan Industrial Robotics Association 1997, *Robotics for Electronics Manufacturing*, diakses 20 Maret 2013, dari <http://books.google.co.id>.
- [2] DIKTI. 2013. *Panduan Kontes Robot Pemadam Api Indonesia 2013*. Jakarta: DIKTI.
- [3] Akbar, Arnas Elmiawan. 2013. Implementasi Sistem Navigasi *Wall Following* Menggunakan Kontroler PID dengan Metode *Tuning* pada Robot Kontes Robot Cerdas Indonesia (KRCI) Divisi Senior Beroda. Malang: Skripsi Jurusan Teknik Elektro FT-UB.
- [4] Ogata, Katsuhiko. 1997. *Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan)*. Erlangga. Jakarta.