

## SISTEM PENGENDALI GERAK ROBOT BERBASIS PENGIKUT DINDING DAN PENGIKUT GARIS

### *ROBOT MOTION CONTROLLING SYSTEM BASED ON WALL AND LINE FOLLOWER*

Zulaikha<sup>1</sup>, Ig. Prasetya Dwi Wibawa<sup>2</sup>, Cahyantari Ekaputri<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>1</sup>[zulaikha@students.telkomuniversity.ac.id](mailto:zulaikha@students.telkomuniversity.ac.id),

<sup>2</sup>[prasdwiwawa@telkomuniversity.ac.id](mailto:prasdwiwawa@telkomuniversity.ac.id), <sup>3</sup>[cahyantarie@telkomuniversity.ac.id](mailto:cahyantarie@telkomuniversity.ac.id)

#### Abstrak

Robot merupakan alat mekanik yang diciptakan untuk menggantikan beberapa pekerjaan manusia yang bersifat berulang. Dimana dapat melaksanakan beberapa tugas tertentu secara otomatis maupun program yang diberikan berdasarkan logika. Salah satu contoh robot adalah pengikut dinding (*wall follower*) dan pengikut garis (*line follower*). Pengikut dinding merupakan robot yang memiliki kemampuan mendeteksi dan bergerak pada jalur ruang ber dinding tanpa atap (*maze wall*) sedangkan pengikut garis merupakan robot yang memiliki kemampuan mendeteksi dan bergerak pada jalur garis (*line tracking*).

Tugas akhir ini bertujuan untuk mengembangkan perancangan sistem berbasis dua mode yaitu pengikut dinding dan garis secara otomatis. Pengikut dinding menggunakan sensor ultrasonik sedangkan pengikut garis menggunakan sensor photodiode dan sistem kendali menggunakan metode *fuzzy logic control*. *Fuzzy logic control* diterapkan pada masalah-masalah yang mengandung unsur ketidakpastian kemudian dikembangkan berdasarkan cara berfikir manusia.

Hasil implementasi *fuzzy logic control* dari pengujian robot pengikut dinding dan pengikut garis berhasil melewati lintasan. Dimana robot dapat berganti mode dari dinding ke garis maupun garis ke dinding dengan kecepatan 0,171 m/s

**Kata kunci :** Robot Pengikut dinding, robot pengikut garis, *fuzzy logic control*.

#### Abstract

Where can perform certain tasks automatically or program given based on logic [2]. One example of a robot is a follower wall (*wall follower*) and line follower (*line follower*). *Wall follower* is a robot that has the ability to detect and move on the path of wallless space without a roof (*maze wall*) while the *line follower* is a robot that has the ability to detect and move on the line track (*line tracking*).

This final project aims to develop the design of two-mode based system that is followers of wall and line automatically. *Wall followers* use ultrasonic sensors while *line followers* use photodiode and control systems using the *fuzzy logic control* method. *Fuzzy logic control* applied to problems that contain elements of uncertainty and then developed based on the way of human thinking.

The results of the *fuzzy logic control* implementation of the robot testing of the *wall follower* and the *line followers* made it through the track. Where the robot can change the mode from wall to line or line to wall with speed 0,171 m / s

**Keywords:** Robot Wall Follower, robot line follower, fuzzy logic control.

#### Pendahuluan

##### 1.1. Latar Belakang Masalah

Robot pertama kali diperkenalkan oleh seorang penulis dari Ceko bernama Karel Capek. Robot diambil dari istilah kata *robot* yaitu pekerjaan atau pelayan. Pada tahun 1921 robot diperkenalkan dalam sebuah pentas sandiwara yang berjudul *Rossum's Universal Robots*[1].

Robot merupakan alat mekanik yang diciptakan untuk menggantikan beberapa pekerjaan manusia yang bersifat berulang. Dimana dapat melaksanakan beberapa tugas tertentu baik secara otomatis maupun program yang diberikan berdasarkan logika[2]. Namun seiring berkembangnya teknologi, berbagai robot dibuat dengan spesialisasi dan kegunaan tertentu yang sangat berkaitan dengan pemenuhan kebutuhan dunia industri sekarang.

Klasifikasi robot umumnya terbagi atas tiga jenis yaitu klasifikasi berdasarkan penggunaan aktuator, kebutuhan operator robot dan kegunaannya dalam kehidupan sehari-hari[3]. Namun Tugas Akhir ini, klasifikasi yang akan dibahas berdasarkan penggunaan sistem *mobile robot*. *Mobile robot* merupakan robot yang bergerak untuk berpindah posisi, dimana dibedakan pada sistem penggerak (*locomotion system*). Sistem penggerak merupakan gerakan yang melintasi sebuah permukaan datar sesuai lintasan yang dilalui serta tugas yang diberikan kepada robot tersebut. Salah satu contoh implementasi klasifikasi robot berdasarkan penggunaan aktuator adalah pengikut dinding dan pengikut garis. Robot pengikut dinding merupakan robot yang memiliki kemampuan untuk mendeteksi dan bergerak pada jalur ruang dinding tanpa atap (*maze wall*) sedangkan robot pengikut garis merupakan robot yang memiliki kemampuan mendeteksi dan bergerak pada panduan jalur garis (*line tracking*).

Tugas Akhir ini, bertujuan untuk mengembangkan perancangan sistem pengendali gerak robot berbasis dua mode yaitu pengikut dinding dan pengikut garis otomatis. Penggunaan sensor ultrasonik untuk pengikut dinding dan sensor photodiode untuk pengikut garis serta lintasan dinding dan garis yang disatukan.

## 1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian pembuatan Tugas Akhir ini adalah:

- Merancang dan mengimplementasikan robot berbasis dua mode yaitu pengikut dinding dan pengikut garis dengan metode *fuzzy logic control*.
- Sistem pengendali *fuzzy logic control* sehingga robot dapat berganti mode secara otomatis dari lintasan dinding ke garis maupun garis ke dinding.

## 1.3. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada Tugas Akhir ini adalah:

- Bagaimana mengintegrasikan mikrokontroler, sensor dan *driver motor* dengan metode *fuzzy logic control* sehingga robot dapat membaca lintasan dengan benar ?
- Bagaimana cara merancang sistem pengendali gerak robot sehingga sensor dapat berganti mode ?

## 2. Dasar Teori

### 2.1. Sistem Pengendali Gerak Berbasis Robot Pengikut Dinding dan Pengikut Garis

Sistem pengendali gerak robot berbasis pengikut dinding dan pengikut garis menggunakan sensor ultrasonik dan sensor photodiode. Sensor ultrasonik yang digunakan akan mendeteksi pembacaan lintasan dinding sedangkan photodiode yang digunakan akan mendeteksi pembacaan lintasan garis hitam robot dapat berganti mode secara otomatis.

### 2.2. Robot Pengikut Dinding

Robot pengikut dinding merupakan robot yang memiliki kemampuan untuk mendeteksi dan bergerak pada jalur ruang dinding tanpa atap. Dimana termasuk kedalam jenis kategori *robot mobile*[3]. Robot pengikut dinding menggunakan jalur dinding berupa ruang dinding seperti labirin dimana pada dunia robotika disebut *maze wall*. *Maze wall* adalah jalur yang berbentuk ruangan berdinding yang tidak memiliki atap.

### 2.3. Robot Pengikut Garis

Robot pengikut garis merupakan robot yang termasuk kedalam kategori *robot mobile* seperti robot pengikut dinding. Dimana kemampuan mendeteksi dan bergerak pada panduan jalur garis[4]. Panduan jalur garis menggunakan garis hitam dengan latar putih. Hasil perbedaan warna lintasan garis hitam dan latar putih tersebut akan diubah sensor photodiode menjadi suatu nilai yang mempresentasikan rentang pembacaan lintasan garis. Rentang perbedaan pembacaan lintasan tersebut digunakan sebagai parameter hasil nilai data ADC (10 bit) dalam menentukan pembacaan untuk pergerakan robot pengikut garis.

## 2.4. Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan rangkaian elektronik pengendali berbentuk *chip* yang umumnya dapat menyimpan program didalamnya. Mikrokontroler terdiri atas CPU (*Central Processing Unit*), memori, *input, output* dan pendukung seperti ADC (*Analog to Digital Converter*) yang telah diintegrasikan.

Tugas Akhir ini menggunakan mikrokontroler yaitu arduino mega. Arduino Mega merupakan *board* mikrokontroler berdasarkan ATmega 2560 dimana terdapat semua yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler. Arduino mega terdapat 54 pin digital *input* dan *output* dimana 15 pin diantaranya adalah PWM, 16 pin analog *input*, 16 Mhz osilator, *header ICSP*, tombol *reset*, *power jack* DC dan koneksi USB seperti ditunjukkan pada gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. Arduino Mega [5]

## 2.5. Driver Motor

*Driver motor* merupakan piranti yang bertugas mengubah energi listrik searah menjadi berupa tenaga penggerak torsi. Perubahan arah motor DC tergantung nilai tegangan yang diberikan *input driver motor* itu sendiri. *Driver motor* biasanya berada pada pin PWM karena berfungsi untuk mengendalikan kecepatan motor dengan merubah nilai PWM. PWM (*Pulse Width Modulation*) merupakan lebar pulsa dapat diatur untuk mengubah kecepatan motor DC. *Driver motor* yang digunakan adalah *driver motor* L298N ditunjukkan seperti gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2. Driver Motor L298N [6]

## 2.6. Motor DC

Motor DC merupakan perangkat elektromagnetik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik seperti pada gambar 3 dibawah. Prinsip kerja motor DC adalah apabila ada arus yang lewat pada suatu konduktor maka menimbulkan medan magnet disekitar konduktor[7]. Sehingga motor DC berkerja berdasarkan prinsip yang menyatakan bahwa kumparan membawa arus ditempatkan pada medan magnet kemudian kumparan mengalami gaya mekanik yang menimbulkan torsi akan membuat jangkar berputar.



Gambar 3. Motor DC [7]

## 2.7. Sensor Ultrasonik [11]

Sensor ultrasonik merupakan sensor yang memanfaatkan gelombang ultrasonik dengan rambatan energi dan momentum mekanik merambat sebagai interaksi dengan molekul pada media yang dilaluinya. Prinsip kerja

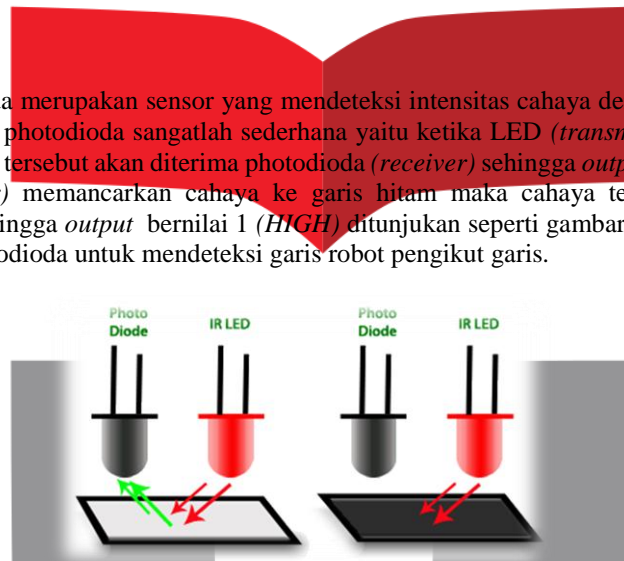
ultrasonik adalah ketika sinyal mengenai benda penghalang maka sinyal tersebut akan dipantulkan dan diterima oleh receiver kemudian dikirimkan ke mikrokontroler yang selanjutnya diolah untuk menghitung jarak terhadap benda didepanya. Tugas akhir ini menggunakan sensor ultrasonik untuk mendeteksi dinding robot pengikut dinding ditunjukkan seperti gambar 4 dibawah ini.



Gambar 4. Sensor Ultrasonik [8]

**2.8. Sensor Photodioda**

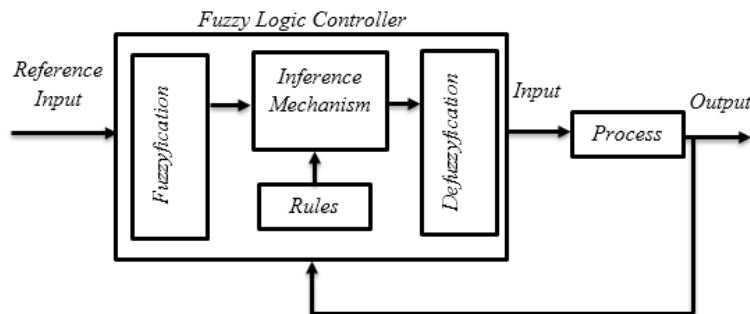
Sensor photodioda merupakan sensor yang mendeteksi intensitas cahaya dengan bantuan pantulan sinar LED. Prinsip kerja sensor photodioda sangatlah sederhana yaitu ketika LED (*transmitter*) memancarkan cahaya ke latar putih maka cahaya tersebut akan diterima photodioda (*receiver*) sehingga *output* bernilai 0 (*LOW*). Namun apabila LED (*transmitter*) memancarkan cahaya ke garis hitam maka cahaya tersebut tidak akan diterima photodioda (*receiver*) sehingga *output* bernilai 1 (*HIGH*) ditunjukkan seperti gambar 5 dibawah. Tugas Akhir ini menggunakan sensor photodioda untuk mendeteksi garis robot pengikut garis.



Gambar 5. Proses Pemantulan Sensor Photodioda [9]

**2.9. Fuzzy Logic Control [11]**

*Fuzzy logic control* merupakan cabang ilmu *artificial intelligence* (AI) suatu pengetahuan yang membuat komputer dapat meniru kecerdasan manusia sehingga diharapkan dapat melakukan hal-hal apabila dikerjakan manusia memerlukan kecerdasan. Sehingga *fuzzy logic control* dengan kata lain mempunyai fungsi “meniru” kecerdasan yang dimiliki manusia dalam melakukan sesuatu dan mengimplementasikan suatu perangkat seperti robot. Metode *fuzzy logic control* terdapat tiga proses implementasi utama yaitu *fuzzyfication*, *fuzzy inference* dan *defuzzyfication* ditunjukkan seperti gambar 6 dibawah ini.

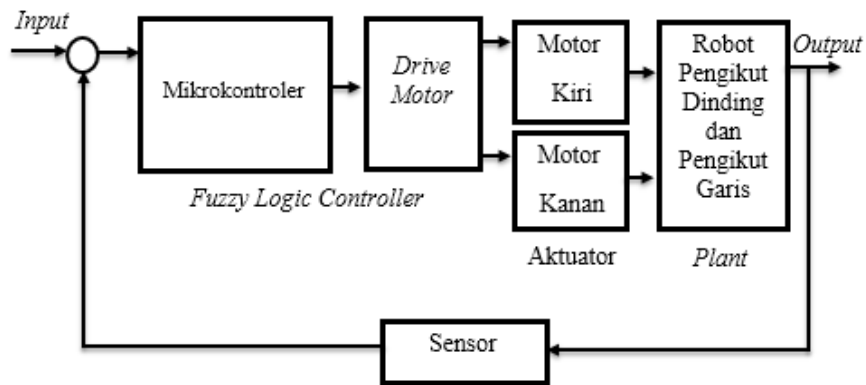


Gambar 6. Proses *Fuzzy Logic Control*

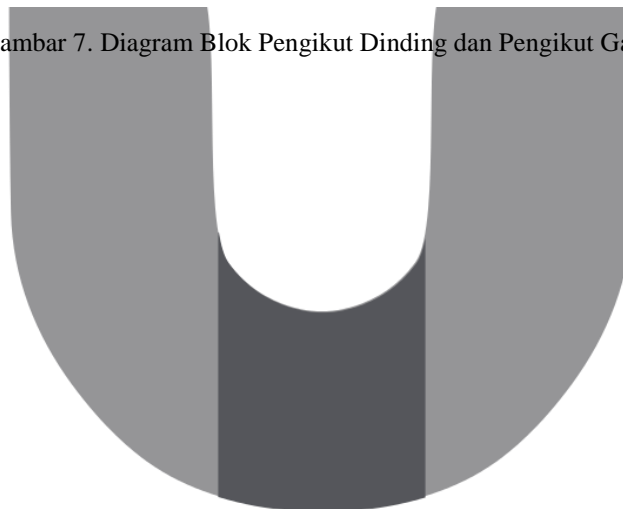
### 3. Perancangan Sistem

#### 3.1. Perancangan Sistem Secara Umum

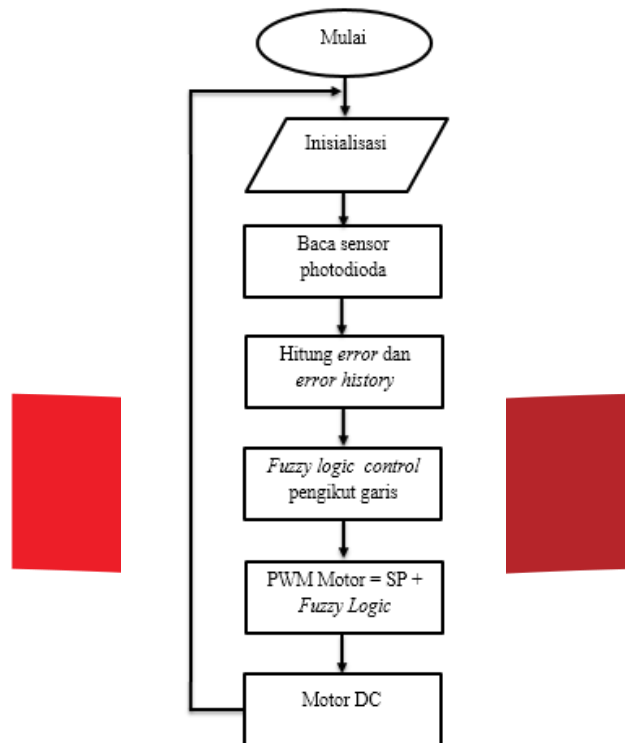
Sistem pengendali gerak robot berbasis pengikut dinding dan pengikut garis merupakan sistem pengendali gerak robot dimana sensor dapat membaca lintasan dinding dan garis serta berganti mode secara otomatis. Perancangan sistem terbagi menjadi dua bagian yaitu perancangan sistem gerak robot pengikut dinding dan perancangan sistem gerak robot pengikut garis. Sistem pengikut dinding menggunakan sensor ultrasonik dengan lintasan ruang dinding tanpa atap sedangkan sistem pengikut garis menggunakan sensor photodiode dengan lintasan garis hitam dan latar putih. Hasil pembacaan sensor photodiode dan ultrasonik dikirim menjadi *input* pada mikrokontroler kemudian mengerakkan motor kanan dan kiri. Data pembacaan sensor yang diterima menjadi acuan robot dalam mengeksekusi pembacaan lintasan dan berganti mode otomatis. Pemasangan *driver motor* L298N berfungsi mengerakkan aktuator utama yaitu motor DC untuk melintasi lintasan dinding dan garis ditunjukkan seperti gambar 7 dibawah ini.



Gambar 7. Diagram Blok Pengikut Dinding dan Pengikut Garis

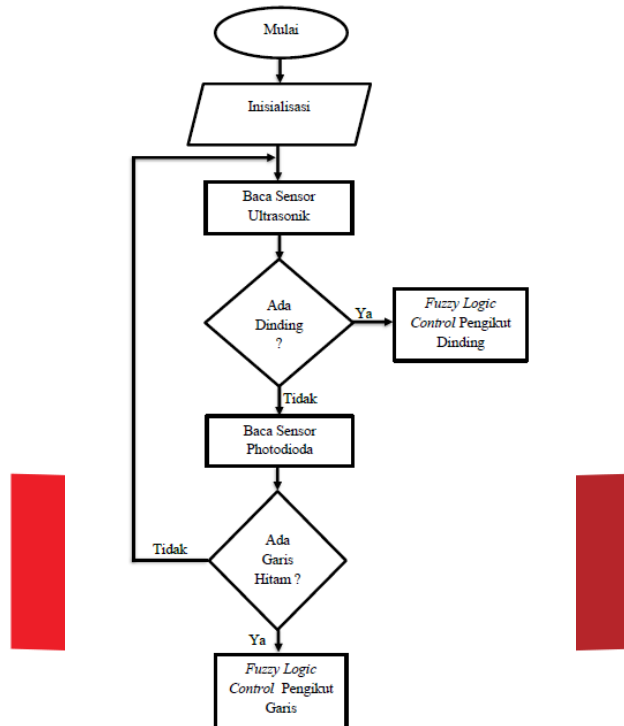


### 3.2 Perancangan Cara Kerja Sistem



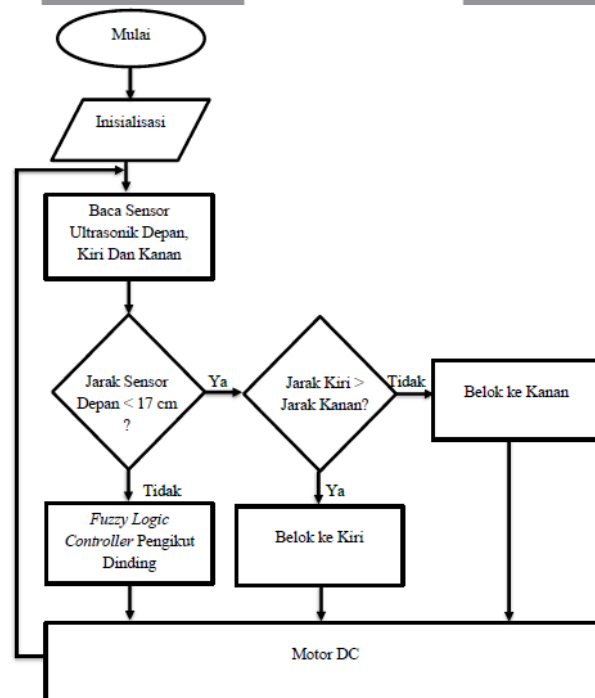
Gambar 8. Diagram Alir Robot Pengikut Dinding dan Pengikut Garis

Gambar 8 menjelaskan tentang diagram alir robot pengikut dinding dan pengikut garis. Pertama sistem mulai terinisialisasi terlebih dahulu kemudian sensor ultrasonik aktif dan mendeteksi apakah ada dinding atau tidak. Apabila sensor ultrasonik mendeteksi ada dinding maka *fuzzy logic control* pengikut dinding dijalankan namun jika tidak maka sensor photodioda akan aktif kemudian mendeteksi apakah ada garis hitam atau tidak. Apabila sensor photodioda mendeteksi ada garis hitam maka *fuzzy logic control* akan dijalankan namun jika tidak terdeteksi adanya garis hitam maka sensor photodioda akan melakukan umpan balik (*feedback*) pada kondisi sensor ultrasonik aktif.



Gambar 9. Diagram Alir Robot Pengikut Garis

Gambar 9 menjelaskan tentang diagram alir robot pengikut garis. Pertama sistem mulai terinisialisasi terlebih dahulu kemudian sensor photodioda aktif karena mendeteksi adanya garis hitam. Sehingga sistem *fuzzy logic control* pengikut garis menghitung nilai *error* dan *error history* lintasan garis. Setelah menghitung nilai *error* dan *error history* untuk PWM motor robot didapatkan dari *setpoint* + *fuzzy logic control* hasil nilai pembacaan lintasan garis. Maka motor DC akan berjalan sesuai nilai lintasan yang terbaca.



Gambar 10. Diagram Alir Robot Pengikut Dinding

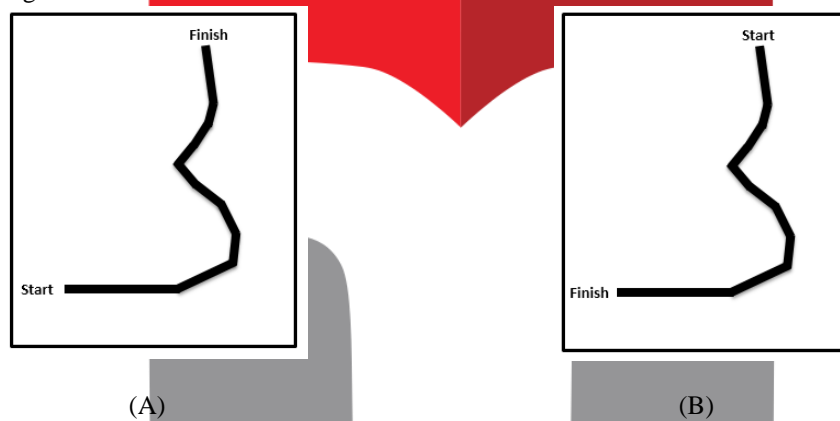
Gambar 10 menjelaskan tentang diagram alir robot pengikut dinding. Pertama sistem mulai terinisialisasi terlebih dahulu kemudian sensor ultrasonik kiri, depan dan kanan aktif dan mendeteksi adanya dinding. Apabila sensor ultrasonik depan mendeteksi adanya dinding kurang dari 17 cm maka sensor ultrasonik akan mendeteksi jarak kiri dan kanan. Kemudian sensor ultrasonik akan membandingkan jarak kiri dan jarak kanan. Apabila jarak kiri lebih besar dari jarak kanan maka robot pengikut dinding akan berbelok ke kiri namun jika tidak, robot akan berbelok ke kanan. Kondisi sensor ultrasonik depan tidak mendeteksi adanya dinding kurang dari 17 cm maka *fuzzy logic control* pengikut dinding maju aktif mengikuti dinding.

#### 4. Hasil Pengujian dan Analisis

Hasil pengujian dan analisis sistem robot pengikut dinding, robot pengikut garis serta robot pengikut dinding dan pengikut garis. Apakah robot berhasil mengikuti dinding, mengikuti garis dan berganti mode dinding ke garis atau garis ke dinding.

##### 4.1 Pengujian Robot Pengikut Garis

Pengujian ini dilakukan dengan meletakkan robot pengikut garis pada lintasan garis ditunjukkan seperti gambar 11 dibawah. Kemudian pengujian dilakukan dengan menghitung waktu tempuh dan kecepatan robot pengikut dinding melalui lintasan.



Gambar 11. Pengujian Lintasan Robot Pengikut Garis (a) kiri (b) kanan

Tabel 1. Pengujian Robot Pengikut Garis (A) dan (B)

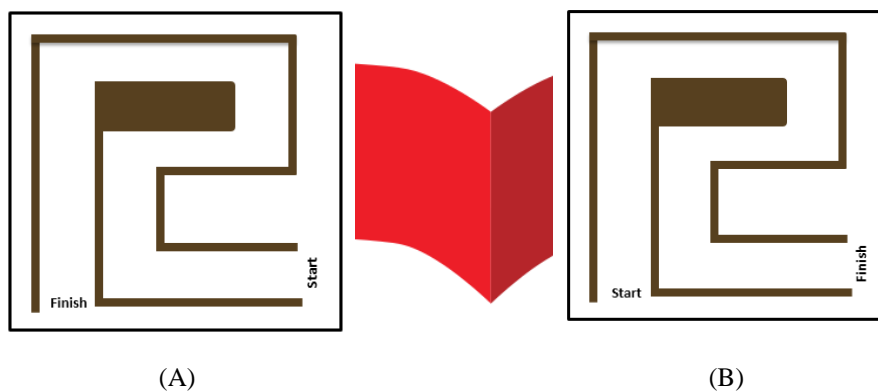
Pengujian ke-	Lama Waktu Pengikut Garis A (s)	Lama Waktu Pengikut Garis B (s)	Keterangan
1	18	18	Berhasil Mengikuti Garis
2	17	18	Berhasil Mengikuti Garis
3	17	18	Berhasil Mengikuti Garis
4	18	17	Berhasil Mengikuti Garis
5	18	18	Berhasil Mengikuti Garis
6	17	18	Berhasil Mengikuti Garis
7	17	17	Berhasil Mengikuti Garis
8	18	18	Berhasil Mengikuti Garis
9	18	18	Berhasil Mengikuti Garis
10	18	17	Berhasil Mengikuti Garis
$\bar{x}$ waktu (s)	17,6 s	17,8 s	Berhasil Mengikuti Garis



Hasil pengujian robot sebanyak 10 kali pengujian ditunjukkan pada tabel 1 diatas berhasil mengikuti garis dengan rata-rata waktu tempuh 17,7 s. Dilakukan dua kali pengujian pada dinding seperti pada gambar 11 diatas. Selisih rata-rata waktu tempuh sebesar 0,2 s. Sehingga robot pengikut garis berhasil melintasi dan mengikuti lintasan garis dengan kecepatan 0,183 m/s.

#### 4.2 Pengujian Robot Pengikut Dinding

Pengujian ini dilakukan dengan meletakkan robot pengikut dinding pada lintasan dinding ditunjukkan seperti gambar 12 dibawah . Kemudian pengujian dilakukan dengan mengitung waktu tempuh dan kecepatan robot pengikut dinding melalui lintasan.



Gambar 12 Pengujian Lintasan Robot Pengikut Dinding (A) dan (B)

Tabel 2. Hasil Pengujian Robot Mengikuti Dinding

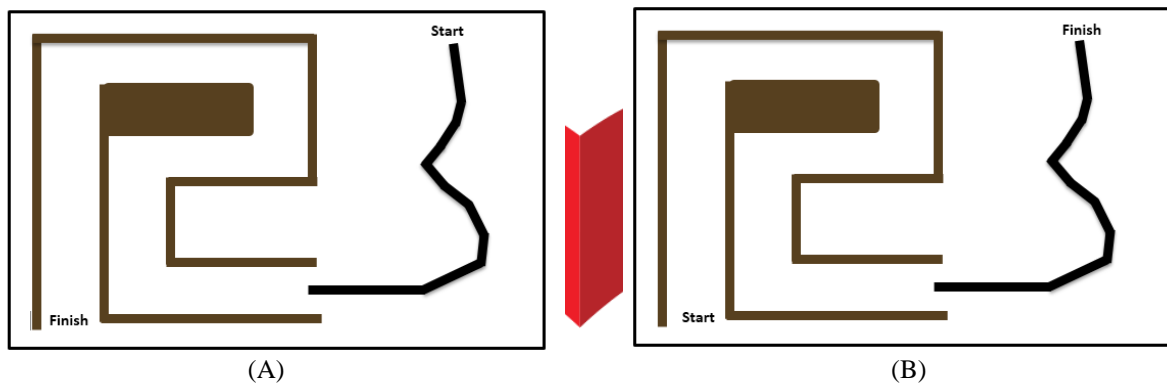
Pengujian ke-	Lama Waktu Pengikut Dinding A (s)	Lama Waktu Pengikut Dinding B (s)	Keterangan
1	21	23	Berhasil Mengikuti Dinding
2	22	22	Berhasil Mengikuti Dinding
3	22	21	Berhasil Mengikuti Dinding
4	22	21	Berhasil Mengikuti Dinding
5	21	22	Berhasil Mengikuti Dinding
6	21	23	Berhasil Mengikuti Dinding
7	21	21	Berhasil Mengikuti Dinding
8	22	21	Berhasil Mengikuti Dinding
9	21	22	Berhasil Mengikuti Dinding
10	21	21	Berhasil Mengikuti Dinding
$\bar{x}$ waktu (s)	21,4 s	21,7 s	Berhasil Mengikuti Dinding

Hasil pengujian robot sebanyak 10 kali ditunjukkan seperti tabel 2 diatas. Robot mengikuti dinding dengan rata-rata waktu tempuh 21,55 s. Dilakukan dua kali pengujian pada lintasan dinding kiri dan kanan. Selisih

rata-rata waktu tempuh 0,3 s. Sehingga robot pengikut dinding berhasil melintasi dan mengikuti lintasan dinding dengan kecepatan 0,29 m/s.

#### 4.3 Pengujian Robot Pengikut Dinding dan Pengikut Garis

Pengujian ini dilakukan dengan cara meletakkan robot pengikut dinding dan pengikut garis pada lintasan dinding dan garis ditunjukkan seperti gambar 13 dibawah ini. Kemudian pengujian dilakukan dengan menghitung waktu tempuh dan kecepatan robot pengikut dinding dan pengikut garis.



Gambar 13. Pengujian Lintasan Robot Pengikut Dinding dan Pengikut Garis (A) Garis ke Dinding (B) Dinding ke Garis

Tabel 3. Pengujian Robot Mengikuti Dinding ke Garis (a)

Pengujian ke-	Lama Waktu Robot Pengikut Dinding dan Pengikut Garis A (s)	Lama Waktu Robot Pengikut Dinding dan Pengikut Garis B (s)	Keterangan
1	36	39	Berhasil Berganti Mode
2	36	39	Berhasil Berganti Mode
3	37	38	Berhasil Berganti Mode
4	37	38	Berhasil Berganti Mode
5	36	39	Berhasil Berganti Mode
6	37	39	Berhasil Berganti Mode
7	37	38	Berhasil Berganti Mode
8	36	38	Berhasil Berganti Mode
9	37	39	Berhasil Berganti Mode
10	37	38	Berhasil Berganti Mode
$\bar{x}$ waktu (s)	36,6 s	38,5 s	Berhasil Berganti Mode

Hasil pengujian robot pengikut dinding dan pengikut garis dilakukan sebanyak 10 kali ditunjukkan seperti tabel 3 diatas, robot dapat mengikuti dinding ke garis maupun garis ke dinding dengan rata-rata waktu tempuh 37,55 s. Dilakukan dua kali pengujian pada lintasan dinding kiri dan kanan. Selisih rata-rata waktu tempuh 1,9 s. Sehingga robot pengikut dinding berhasil melintasi dan mengikuti lintasan dinding dengan kecepatan 0,171 m/s

## 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.1 Kesimpulan

1. Hasil pengujian robot pengikut dinding dan pengikut garis dilakukan pada lintasan dinding ke garis dan garis ke dinding dengan rata-rata waktu tempuh 37,55 s. Sehingga robot pengikut dinding dan pengikut garis berhasil berganti mode dengan selisih waktu tempuh 1,9 s.
2. Hasil implementasi *fuzzy logic control* dari pengujian robot pengikut dinding dan pengikut garis berhasil melewati lintasan. Dimana robot dapat berganti mode dari dinding ke garis maupun garis ke dinding dengan kecepatan 0,171 m/s.

### 5.2 Saran

1. Diharapkan mampu diimplementasikan pada alat yang membantu kehidupan sehari-hari dan dapat menggunakan sistem komunikasi.
2. Diharapkan dapat dibandingkan dengan Metode PID sehingga dapat diketahui metode kendali manakah yang paling stabil.
3. Posisi peletakan sensor harus diperhatikan sehingga pembacaan lintasan lebih baik.

### Daftar Pustaka :

- [1] Karel, Capek. 2004. R.U.R Robotic. Kesingger Publication.
- [2] Jatmiko, Wisnu dkk "Robotika Teori dan Aplikasi", Architecture and High Performace Computing Universitas Indonesia, 2012.
- [3] Supriyanto, Raden dkk "Robotika", Universitas Gunadarma, 2012.
- [4] M. Mehdi Sanaatiyan, Mehran Pakdaman, "Design and Implementation of Line Follower Robot : Computer and Electrical Engineering, International Conference on, vol. 02,2009, pp. 585-590R. Prayogo, "Pulse Width Modulation dengan PLC" UNIVERSITAS BRAWIJAYA MALANG, 2012.
- [5] <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega> [Diakses 8 Agustus 2017]
- [6] <http://www.instructables.com/id/Control-DC-and-stepper-motors-with-L298N-Dual-Moto/> [Diakses 8 Agustus 2017]
- [7] <http://scdc.binus.ac.id/himtek/2017/05/08/motor-dc-dan-jenis-jenisnya/> [Diakses 9 Agustus 2017]
- [8] <https://www.parallax.com/sites/default/files/downloads/28015-PING-Sensor-Product-Guide-v2.0.pdf> [Diakses 29 Agustus 2017]
- [9] [https://www.sfe-electronics.com/blog/news/pemrograman-interrupt-arduino-dengan-sensor-tcrt5000] [Diakses 1 September 2017]
- [10] Franck Deroncourt, *Introduction to fuzzy logic control*. Massachuettis Institute of Technology, 2013.
- [11] J.-S. R. Jang, C.-T. Sun, and E. Mizutani, *Neuro-Fuzzy And Soft Computing Jang: a computational approach to learning and machine intelligence*. Prentice Hall Upper saddle River, 1997.

