

**PENGONTROLAN *TRAJECTORY* ROBOT *NON-HOLONOMIC*  
BERPENGGERAK *DIFFERENTIAL DRIVE* MENGGUNAKAN METODE  
*FUZZY-PSO***

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer



**OLEH :**

**YOGA YOLANDA  
09011181320041**

**JURUSAN SISTEM KOMPUTER  
FAKULTAS ILMU KOMPUTER  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
2019**

**PENGONTROLAN *TRAJECTORY* ROBOT *NON-HOLONOMIC*  
BERPENGGERAK *DIFFERENTIAL DRIVE* MENGGUNAKAN METODE  
*FUZZY-PSO***

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer



**OLEH :**

**YOGA YOLANDA**

**09011181320041**

**PROGRAM STUDI SISTEM KOMPUTER**

**FAKULTAS ILMU KOMPUTER**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2019**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**TUGAS AKHIR**

**PENGONTROLAN *TRAJECTORY* ROBOT *NON-HOLONOMIC*  
BERPENGGERAK *DIFFERENTIAL DRIVE* MENGGUNAKAN METODE  
*FUZZY-PSO***

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer

Oleh :

**YOGA YOLANDA**

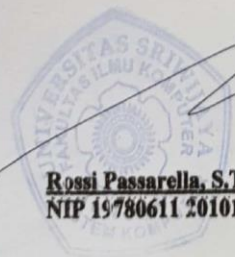
**09011181320041**

**Palembang, 14 November 2019**

**Mengetahui,**

**Ketua Jurusan Sistem Komputer**

**Pembimbing Tugas Akhir,**



**Rossi Passarella, S.T., M.Eng**  
**NIP 19780611 201012 1 004**

**Prof. Dr. Ir. Siti Nurmaini, M.T.**  
**NIP 19690802 199401 2 001**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**Telah diuji dan lulus pada :**

**Hari : Sabtu**

**Tanggal : 2 November 2019**

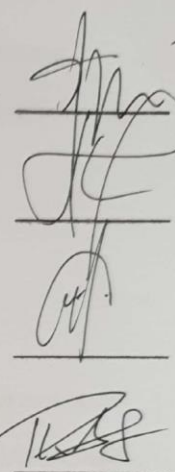
**Tim Penguji**

**1. Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Siti Nurmaini, M.T.**

**2. Ketua Penguji : Huda Ubaya, M.T**

**3. Anggota I : Ahmad Zarkasim, S.T., M.T**

**4. Anggota II : Rahmat Fadli Isnanto, M.Sc.**



**Mengetahui,  
Ketua Jurusan Sistem Komputer**



**Rossi Passarella, S.T., M.Eng  
NIP 19780611 201012 1 004**

## HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Yoga Yolanda

NIM : 09011181320041

Program Studi : Sistem Komputer

Judul TA : Pengontrolan Trajectory Robot *Non-Holonomic*

Berpengerak *Differential Drive* Menggunakan Metode  
*Fuzzy-PSO*

Hasil Pengecekan *Software iThenticate/Turnitin* : 15 %

Menyatakan bahwa laporan skripsi saya merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam laporan skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya dengan ketentuan yang berlaku.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan tidak ada paksaan oleh siapapun.



## HALAMAN PERSEMBAHAN

**“Dima Bumi Dipijak, Di situ Langik Dijunjuang”**

**“No Need For Excuses, Just Do It”**

[Code Unknown]

*Karya ini kupersembahkan kepada:*

- Allah SWT
- Kedua Orang Tuaku,  
saudaraku dan saudariku  
tercinta
- Keluarga Besar Tek Epa
- Dosen Pembimbing dan  
Penguji
- Sahabat seperjuanganku
- Teman seperjuangan Sistem  
Komputer 2013
- Almamaterku, Universitas  
Sriwijaya

## KATA PENGANTAR



Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya serta memberikan kesehatan, kekuatan, dan kesabaran sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“PENGONTROLAN *TRAJECTORY* ROBOT *NON-HOLONOMIC* BERPENGGERAK *DIFFERENTIAL DRIVE* MENGGUNAKAN METODE *FUZZY-PSO*”**.

Selama pembuatan Tugas Akhir ini, penulis banyak menemukan hambatan dan kesulitan, namun berkat bimbingan dan pengarahan serta bantuan dari berbagai pihak, maka penulis dapat selesaikan. Untuk itu pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih kepada :

1. Bapak Jaidan Jauhari, M.T. selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya
2. Bapak Rossi Passarella, S.T., M.Eng selaku Ketua Jurusan Sistem Komputer
3. Ibu Prof. Dr. Ir. Siti Nurmaini, M.T. selaku Dosen Pembimbing yang selalu sabar dalam membimbing penulis, memberikan masukan serta ide yang membangun sehingga Tugas Akhir ini dapat di selesaikan.
4. Bapak Huda Ubaya, M.T, Bapak Ahmad Zarkasih S.T., M.T dan Bapak Rahmat Fadli Isnanto, M.Sc. selaku Dosen Penguji yang memberikan kritik dan saran untuk membuat Tugas Akhir ini semakin bagus dan baik.
5. Seluruh Dosen Sistem Komputer Fakultas Ilmu Komputer yang telah memberikan ilmu terhadap penulis.
6. Mbak Winda selaku admin jurusan Sistem Komputer yang telah memperlakukan penulis dengan baik.
7. Kedua orang tua, Bapak Syahrul dan Ibu Lozi Lorita yang senantiasa memberikan semangat, dukungan, doa, dan kasih sayang yang tiada henti-hentinya kepada penulis agar selalu ingat untuk menyelesaikan Tugas Akhir

ini sampai tuntas tanpa adanya hambatan walaupun terkadang penulis suka bangun kesiangan untuk menyelesaikan Tugas Akhir disebabkan karena terlalu sering bergadang.

8. Kedua adik penulis, Rama Putra dan Febby Lolita yang selalu penulis sayangi bagaimanapun tingkah laku yang dilakukan, jangan bosan untuk selalu sayang kepada penulis.
9. Keluarga kedua penulis di Palembang, keluarga besar Eva Gustiva yang selalu membantu disaat susah dan senang. Setia mengawasi dan selalu mengingatkan penulis agar tetap semangat dalam menjalani kuliah.
10. Sahabat seperjuangan penulis selama masa kuliah dari awal semester hingga saat ini “BOY REBORN”: Nina Nuria Br. Karo, Amirullah, Edi Sukrisno, Belly Putra, Yogi Tiara Pratama, Yenita, Chusniah, Eka Fasilah, Rahma Ricadonna dan Rifki Shahab. Terimakasih karena selama ini kalian selalu berada di sisi penulis disaat penulis bersedih maupun penulis senang. Selalu menjadi yang nomor satu disaat penulis membutuhkan bantuan, teman karaoke, teman makan, teman nonton, teman main game, teman begadang, teman nongkrong, kalian bisa jadi apapun untuk penulis. Selalu menjadi alarm hidup penulis karena penulis susah sekali untuk bangun pagi. Terimakasih banyak kalian selalu menjadi pelindung dan selalu peduli terhadap penulis secara tulus no tipu-tipu. Semoga persahabatan ini bertahan untuk waktu yang lama dan jangan sombong-sombong gengs.
11. Teman seperbimbingan penulis Tri Atmoko yang sama-sama berjuang dengan penulis. Teman seperjuangan selama kuliah di Fakultas Ilmu Komputer yang tak bisa saya sebutkan satu-satu, yang pasti tahu asam manisnya perjuangan tugas akhir ; Mahasiswa Sistem Komputer 2013.
12. Senior dan junior yang seperjuangan dengan penulis di Jurusan Sistem Komputer.
13. Seluruh Civitas Akademik Jurusan Sistem Komputer Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya.



14. Teman seperantauan dengan penulis di Permato dan teman-teman di kampung halaman tercinta Padang Panjang.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, baik teknis penulisan, bahasa maupun cara pemaparannya. Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya, dan bagi mahasiswa Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya pada umumnya serta dapat memberikan masukan sebagai sumbangan pikiran dalam rangka peningkatan mutu dalam pembelajaran.

Palembang, 14 November 2019

Penulis,

**Yoga Yolanda**

09011181320041

**PENGONTROLAN TRAJECTORY ROBOT *NON-HOLONOMIC* BERPENGERAK  
DIFFERENTIAL DRIVE MENGGUNAKAN METODE FUZZY-PSO**

**Yoga Yolanda (09011181320041)**  
Jurusan Sistem Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Sriwijaya  
Email : [yogayolanda230695@gmail.com](mailto:yogayolanda230695@gmail.com)

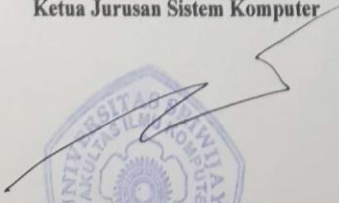
**ABSTRAK**

Salah satu jenis *mobile robot* adalah *mobile robot* berpengerak differensial. *Differential Drive Mobile Robot* (DDMR) merupakan salah satu *mobile robot* berpengerak differensial dengan menggunakan dua buah roda penggerak. *Mobile robot* dapat melakukan perpindahan dari posisi satu ke posisi lainnya. Dalam proses perpindahannya *mobile robot* akan mengalami *error*. Agar dapat mencapai posisi yang ingin dituju dengan tepat maka diperlukan suatu sistem kendali yang akan mengendalikan kecepatan pada masing-masing roda untuk menjaga stabilitas *error*. Metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) diterapkan untuk memecahkan masalah optimasi dalam pencarian suatu target (nilai terbaik) secara otomatis dengan men-*tuning membership function* pada sistem logika *fuzzy* sehingga waktu yang dibutuhkan lebih sedikit dan efisien. Pada pengujian dan analisa penelitian diterapkan metode kendali logika *fuzzy*, karena metode ini dapat digunakan dalam model kinematik nonlinier. Hasil pengujian *tuning* MFs dengan sistem logika *fuzzy*-PSO pada *swarm* ke-49 secara otomatis pada rentang [-1.5 - 1.4] sebagai *input* dan menghasilkan nilai rata-rata *error* posisi *x* sebesar  $-3.5923 \times 10^{-2}$  m, rata-rata *error* posisi *y* sebesar  $-2.312 \times 10^{-2}$  m, dan rata-rata *error* posisi  $\theta$  sebesar  $-0.66324 \times 10^{-2}$  rad.

**Kata Kunci :** Sistem Kendali, *Mobile Robot*, Model Kinematik, Kendali Logika *Fuzzy*, *Membership Function*, *Particle Swarm Optimization*

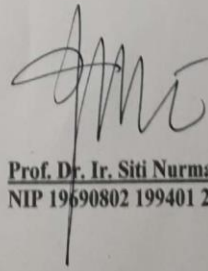
Palembang, 14 November 2019

Ketua Jurusan Sistem Komputer

  
**Rossi Passarella, S.T., M.Eng**  
NIP 19780611 201012 1 004



Pembimbing Tugas Akhir,

  
**Prof. Dr. Ir. Siti Nurmaini, M.T.**  
NIP 19690802 199401 2 001

**TRAJECTORY CONTROL OF NON-HOLONOMIC ROBOT DIFFERENTIAL DRIVE  
USING FUZZY LOGIC CONTROLLER-PARTICLE SWARM OPTIMIZATION METHODS**

**Yoga Yolanda (09011181320041)**

Dept. of Computer Engineering, Faculty of Computer Science, Sriwijaya University

Email : [yogayolanda230695@gmail.com](mailto:yogayolanda230695@gmail.com)

**ABSTRACT**


One type of mobile robot is a differential drive mobile robot. Differential Drive Mobile Robot (DDMR) is one of the mobile robot driven differential by using two drive wheels. Mobile robot can make a displacement. In process of displacement, mobile robot will experience an error. In order to reach the intended position, needed a controlling system that will control the velocity of each wheel to maintain the error stability. Particle Swarm Optimization (PSO) method is applied to solve the optimization problem in search of a target (best value) automatically by turning the membership function on the system of fuzzy logic so that the time required is shorter and efficient. On the trial and analysis of this research, applied Fuzzy Logic Controller method, because this method can be used in the nonlinear kinematic model. The results of testing by turning MFs with fuzzy logic system-PSO in swarm-49 automatically on range [-1.5 – 1.4] as input and produces the average position error  $x$  is  $-3.5923 \times 10^{-2}$  m, the average position error  $y$  is  $-2.312 \times 10^{-2}$  m, and the average position error  $\theta$  is  $-0.66324 \times 10^{-2}$  rad.

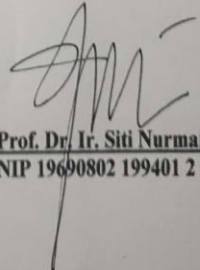
**Keywords :** Control System, Mobile Robot, Kinematic Model, Fuzzy Logic Controller, Membership Function, Particle Swarm Optimization

Palembang, 14 November 2019

Ketua Jurusan Sistem Komputer

Pembimbing Tugas Akhir,

  
**Rossi Passarella, S.T., M.Eng**  
NIP 19780611 201012 1 004

  
**Prof. Dr. Ir. Siti Nurmaini, M.T.**  
NIP 19690802 199401 2 001

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vi
<b>ABSTRAK</b> .....	ix
<b>ABSTRACT</b> .....	x
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xviii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xix
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan Penelitian .....	2
1.3. Perumusan Masalah .....	2
1.4. Sistematika Pembahasan .....	3
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1. Pendahuluan .....	5
2.2. <i>Mobile Robot</i> .....	5
2.3. Model Pergerakan Robot .....	8
2.3.1. Gerak <i>Holonomic</i> .....	8
2.3.1. Gerak <i>Nonholonomic</i> .....	9
2.4. <i>Differential Driven Mobile Robot</i> .....	10
2.5. Metode Logika Fuzzy .....	11
2.5.1. Fungsi Keanggotaan ( <i>Membership Function</i> ) .....	12
2.5.1.1 Representasi <i>Linear</i> .....	12
2.5.1.2 Representasi Kurva Segitiga.....	13

2.5.1.3 Representasi Kurva Trapesium.....	14
2.5.2. <i>Fuzzyfikasi</i> .....	14
2.5.3. Basis Aturan.....	15
2.5.4. Sistem Inferensi <i>Fuzzy</i> .....	15
2.5.4.1 Metode Tsukamoto.....	15
2.5.4.2 Metode Mamdani.....	15
2.5.4.3 Metode Sugeno.....	16
2.5.5. <i>Defuzzifikasi</i> .....	16
2.5.5.1 Metode <i>Centroid</i> .....	16
2.5.5.2 Metode <i>Bisektor</i> .....	17
2.5.5.3 Metode <i>Mean of Maximum</i> (MOM) .....	17
2.5.5.4 Metode <i>Largest of Maximum</i> (LOM) .....	17
2.5.5.5 2.5.5.4 Metode <i>Largest of Maximum</i> (LOM) .....	17
2.6. <i>Particle Swarm Optimization</i> .....	17
2.6.1. Algoritma <i>Particle Swarm Optimization</i> .....	18
2.6.2. Partikel .....	19
2.5.5.1 Partikel Individu .....	19
2.5.5.1 Partikel Kelompok .....	19
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	20
3.1. Pendahuluan.....	20
3.2. Kinematik <i>Differential Drive Mobile Robot</i> (DDMR) .....	21
3.3. <i>Nonholonomic Constraints</i> .....	25
3.4. Persamaan Kinematik <i>Differential Driven Mobile Robot</i> .....	28
3.5. Persamaan <i>Tracking Error</i> pada <i>Differential Driven Mobile Robot</i> .....	32
3.6. Blok Diagram Perancangan Kontrol <i>Mobile Robot</i> .....	34
3.7. Metode Kendali Logika <i>Fuzzy</i> .....	35
3.7.1. Tabel Linguistik .....	36
3.7.2. <i>Fuzzifikasi</i> .....	38
3.7.3. Basis Aturan .....	45
3.7.4. Inferensi .....	48
3.7.5. <i>Defuzzifikasi</i> .....	48

3.8. <i>Particle Swarm Optimization (PSO)</i> .....	48
<b>BAB IV. PENGUJIAN DAN ANALISA</b> .....	50
4.1 Pendahuluan.....	50
4.2 Contoh Studi Kasus Logika <i>Fuzzy</i> .....	50
4.2.1. Menghitung Kecepatan Roda Kanan dan Roda Kiri Robot pada <i>Error x</i> .....	50
4.2.1.1 <i>Fuzzifikasi Error x</i> pada Roda Kanan .....	50
4.2.1.2 Inferensi dan <i>Defuzzifikasi</i> pada Kecepatan Roda Kanan ...	51
4.2.1.3 Inferensi dan <i>Defuzzifikasi</i> pada Kecepatan Roda Kiri .....	52
4.2.2. Menghitung Kecepatan Roda Kanan dan Roda Kiri Robot pada <i>Error y</i> .....	53
4.2.2.1 <i>Fuzzifikasi Error y</i> pada Roda Kanan .....	53
4.2.2.2 Inferensi dan <i>Defuzzifikasi</i> pada Kecepatan Roda Kanan....	54
4.2.2.3 Inferensi dan <i>Defuzzifikasi</i> pada Kecepatan Roda Kiri .....	55
4.2.3. Menghitung Kecepatan Roda Kanan dan Roda Kiri Robot pada <i>Error <math>\theta</math></i> .....	57
4.2.3.1 <i>Fuzzifikasi Error <math>\theta</math></i> pada Roda Kanan.....	57
4.2.3.2 Inferensi dan <i>Defuzzifikasi</i> pada Kecepatan Roda Kanan....	57
4.2.3.3 Inferensi dan <i>Defuzzifikasi</i> pada Kecepatan Roda Kiri .....	59
4.3. Perancangan Simulasi dari Algoritma Sistem Kendali DDMR .....	61
4.4. Visualisasi Simulasi.....	62
4.5. Hasil Uji Coba Sistem.....	63
4.6. <i>Tuning</i> Fungsi Keanggotaan Menggunakan PSO.....	63
4.6.1 <i>Initialization Swarm Input Error</i> pada Fungsi Keanggotaan.....	63
4.6.2 <i>Gbest Fitness</i> dari Optimasi <i>Swarm Input Error</i> .....	69
4.7. Grafik <i>Tuning</i> Fungsi Keanggotaan.....	70
4.7.1 Grafik <i>Tuning</i> Fungsi Keanggotaan Dengan PSO – 10 <i>Swarm</i> .....	70
4.7.2 Grafik <i>Tuning</i> Fungsi Keanggotaan Dengan PSO – 20 <i>Swarm</i> .....	71
4.7.3 Grafik <i>Tuning</i> Fungsi Keanggotaan Dengan PSO – 30 <i>Swarm</i> .....	72
4.7.4 Grafik <i>Tuning</i> Fungsi Keanggotaan Dengan PSO – 40 <i>Swarm</i> .....	73
4.7.5 Grafik <i>Tuning</i> Fungsi Keanggotaan Dengan PSO – 50 <i>Swarm</i> .....	74

4.8. Pengujian Terhadap Sistem.....	75
4.8.1 Pengujian Sistem Tanpa <i>Fuzzy Logic Controller</i> .....	75
4.8.2 Pengujian Sistem Menggunakan <i>Fuzzy Logic Controller</i> .....	77
4.8.2.1 Pengujian Terhadap Nilai <i>Input</i> .....	77
4.8.3 Pengujian Sistem Menggunakan <i>Fuzzy-PSO</i> .....	78
4.8.3.1 Pengujian Terhadap Nilai <i>Input</i> .....	79
4.9 Analisa Perbandingan Pengendali.....	89
4.9.1 Gambar Hasil Perbandingan Fungsi Keanggotaan Tanpa <i>Tuning</i> dengan <i>Tuning</i> Menggunakan <i>PSO</i> .....	89
4.9.2 Gambar Hasil Perbandingan Grafik Pengendali dan Trajectory.....	89
4.10 Analisa Pengujian.....	91
<b>BAB V. KESIMPULAN</b> .....	94
5.1. Kesimpulan .....	94
5.2. Saran .....	95
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	96

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 2.1</b> Model Pergerakan <i>Differential Drive</i> .....	6
<b>Gambar 2.2</b> Model Pergerakan <i>Tricycle</i> .....	7
<b>Gambar 2.3</b> <i>Mobile Robot Omnidirectional</i> .....	7
<b>Gambar 2.4</b> Model Roda <i>Synchro Drive</i> .....	8
<b>Gambar 2.5</b> Gerak <i>holonomic</i> diilustrasikan oleh gerakan ujung pensil.....	9
<b>Gambar 2.6</b> Robot Manipulator sebagai gerakan <i>holonomic</i> .....	9
<b>Gambar 2.7</b> Gerakan Ujung Pisau sebagai gerakan <i>nonholonomic</i> .....	9
<b>Gambar 2.8</b> Gerakan <i>Nonholonomic Mobile Robot</i> .....	10
<b>Gambar 2.9</b> Gerakan <i>Differential Drive</i> .....	11
<b>Gambar 2.10</b> Representasi <i>Linear</i> Naik.....	12
<b>Gambar 2.11</b> Representasi <i>Linear</i> Turun.....	13
<b>Gambar 2.12</b> Representasi Kurva Segitiga.....	13
<b>Gambar 2.13</b> Representasi Kurva Trapesium.....	14
<b>Gambar 3.1</b> Kerangka Kerja Penelitian.....	21
<b>Gambar 3.2</b> <i>Differential Driven Mobile Robot</i> pada bidang 2D <i>Cartesian</i> .....	22
<b>Gambar 3.3</b> Kecepatan Roda Robot Berdasarkan Porosnya .....	24
<b>Gambar 3.4</b> Struktur Kinematika Roda pada Bidang Horizontal.....	26
<b>Gambar 3.5</b> Diagram Ilustrasi <i>Non-holonomic Constraints</i> .....	27
<b>Gambar 3.6</b> Transformasi <i>error</i> posisi .....	32
<b>Gambar 3.7</b> Koordinat analisis <i>error</i> .....	33
<b>Gambar 3.8</b> Blok Diagram Perancangan Kontrol <i>Mobile Robot</i> .....	35
<b>Gambar 3.9</b> Grafik Fungsi <i>Input Error x</i> ( $e_x$ ).....	39
<b>Gambar 3.10</b> Grafik Fungsi <i>Input Perubahan Error x</i> ( $\Delta e_x$ ) .....	40
<b>Gambar 3.11</b> Grafik Fungsi <i>Input Error y</i> ( $e_y$ ) .....	41
<b>Gambar 3.12</b> Grafik Fungsi <i>Input Perubahan Error y</i> ( $\Delta e_y$ ) .....	41
<b>Gambar 3.13</b> Grafik Fungsi <i>Input Error <math>\theta</math></i> ( $e_\theta$ ).....	42
<b>Gambar 3.14</b> Grafik Fungsi <i>Input Perubahan Error <math>\theta</math></i> ( $\Delta e_\theta$ ) .....	43
<b>Gambar 3.15</b> Grafik Fungsi <i>Output Kecepatan Roda Kanan</i> ( $v_r$ ).....	44



<b>Gambar 3.16</b> Grafik Fungsi Output Kecepatan Roda Kiri ( $v_l$ ) .....	45
<b>Gambar 4.1</b> Kurva <i>Defuzzifikasi</i> Kecepatan Roda Kanan.....	51
<b>Gambar 4.2</b> Kurva <i>Defuzzifikasi</i> Kecepatan Roda Kiri.....	53
<b>Gambar 4.3</b> Kurva <i>Defuzzifikasi</i> Kecepatan Roda Kanan.....	55
<b>Gambar 4.4</b> Kurva <i>Defuzzifikasi</i> Kecepatan Roda Kiri.....	56
<b>Gambar 4.5</b> Kurva <i>Defuzzifikasi</i> Kecepatan Roda Kanan.....	58
<b>Gambar 4.6</b> Kurva <i>Defuzzifikasi</i> Kecepatan Roda Kiri.....	60
<b>Gambar 4.7</b> <i>Flowchart</i> Simulasi dari Sistem Kendali <i>Mobile Robot</i> .....	61
<b>Gambar 4.8</b> Desain Visualisasi Simulasi Menggunakan Java.....	62
<b>Gambar 4.9.a</b> Grafik <i>Tuning</i> MFs <i>Input Error</i> $x$ ( $e_x$ ) dengan 10S.....	70
<b>Gambar 4.9.b</b> Grafik <i>Tuning</i> MFs <i>Input Error</i> $y$ ( $e_y$ ) dengan 10S.....	70
<b>Gambar 4.9.c</b> Grafik <i>Tuning</i> MFs <i>Input Error</i> $\theta$ ( $e_\theta$ ) dengan 10S.....	71
<b>Gambar 4.10.a</b> Grafik <i>Tuning</i> MFs <i>Input Error</i> $x$ ( $e_x$ ) dengan 20S.....	71
<b>Gambar 4.10.b</b> Grafik <i>Tuning</i> MFs <i>Input Error</i> $y$ ( $e_y$ ) dengan 20S.....	71
<b>Gambar 4.10.c</b> Grafik <i>Tuning</i> MFs <i>Input Error</i> $\theta$ ( $e_\theta$ ) dengan 20S.....	72
<b>Gambar 4.11.a</b> Grafik <i>Tuning</i> MFs <i>Input Error</i> $x$ ( $e_x$ ) dengan 30S.....	72
<b>Gambar 4.11.b</b> Grafik <i>Tuning</i> MFs <i>Input Error</i> $y$ ( $e_y$ ) dengan 30S.....	72
<b>Gambar 4.11.c</b> Grafik <i>Tuning</i> MFs <i>Input Error</i> $\theta$ ( $e_\theta$ ) dengan 30S .....	73
<b>Gambar 4.12.a</b> Grafik <i>Tuning</i> MFs <i>Input Error</i> $x$ ( $e_x$ ) dengan 40S.....	73
<b>Gambar 4.12.b</b> Grafik <i>Tuning</i> MFs <i>Input Error</i> $y$ ( $e_y$ ) dengan 40S.....	73
<b>Gambar 4.12.c</b> Grafik <i>Tuning</i> MFs <i>Input Error</i> $\theta$ ( $e_\theta$ ) dengan 40S .....	74
<b>Gambar 4.13.a</b> Grafik <i>Tuning</i> MFs <i>Input Error</i> $x$ ( $e_x$ ) dengan 50S.....	74
<b>Gambar 4.13.b</b> Grafik <i>Tuning</i> MFs <i>Input Error</i> $y$ ( $e_y$ ) dengan 50S.....	74
<b>Gambar 4.13.c</b> Grafik <i>Tuning</i> MFs <i>Input Error</i> $\theta$ ( $e_\theta$ ) dengan 50S .....	75
<b>Gambar 4.14.a</b> Grafik Nilai <i>Error</i> $x$ pada Sistem Tanpa <i>Fuzzy Logic</i> <i>Controller</i> .....	75
<b>Gambar 4.14.b</b> Grafik Nilai <i>Error</i> $y$ pada Sistem Tanpa <i>Fuzzy Logic</i> <i>Controller</i> .....	76
<b>Gambar 4.14.c</b> Grafik Nilai <i>Error</i> $\theta$ pada Sistem Tanpa <i>Fuzzy Logic</i> <i>Controller</i> .....	76
<b>Gambar 4.14.d</b> Grafik <i>Trajectory</i> robot pada Sistem Tanpa <i>Fuzzy Logic</i> <i>Controller</i> .....	76

<b>Gambar 4.15.a.</b> Grafik Nilai <i>Error x</i> pada Sistem Dengan <i>Fuzzy Logic Controller</i> .....	77
<b>Gambar 4.15.b</b> Grafik Nilai <i>Error y</i> pada Sistem Dengan <i>Fuzzy Logic Controller</i> .....	77
<b>Gambar 4.15.c</b> Grafik Nilai <i>Error <math>\theta</math></i> pada Sistem Dengan <i>Fuzzy Logic Controller</i> .....	78
<b>Gambar 4.15.d</b> Grafik <i>Trajectory</i> robot pada Sistem Dengan <i>Fuzzy Logic Controller</i> .....	78
<b>Gambar 4.16.a</b> Grafik Nilai <i>Error x</i> pada Sistem <i>Fuzzy-PSO 10S</i> .....	79
<b>Gambar 4.16.b</b> Grafik Nilai <i>Error y</i> pada Sistem <i>Fuzzy-PSO 10S</i> .....	80
<b>Gambar 4.16.c</b> Grafik Nilai <i>Error <math>\theta</math></i> pada Sistem <i>Fuzzy-PSO 10S</i> .....	80
<b>Gambar 4.16.d</b> Grafik <i>Trajectory</i> robot pada Sistem <i>Fuzzy-PSO 10S</i> .....	80
<b>Gambar 4.17.a</b> Grafik Nilai <i>Error x</i> pada Sistem <i>Fuzzy-PSO 20S</i> .....	81
<b>Gambar 4.17.b</b> Grafik Nilai <i>Error y</i> pada Sistem <i>Fuzzy-PSO 20S</i> .....	82
<b>Gambar 4.17.c</b> Grafik Nilai <i>Error <math>\theta</math></i> pada Sistem <i>Fuzzy-PSO 20S</i> .....	82
<b>Gambar 4.17.d</b> Grafik <i>Trajectory</i> robot pada Sistem <i>Fuzzy-PSO 20S</i> .....	82
<b>Gambar 4.18.a</b> Grafik Nilai <i>Error x</i> pada Sistem <i>Fuzzy-PSO 30S</i> .....	83
<b>Gambar 4.18.b</b> Grafik Nilai <i>Error y</i> pada Sistem <i>Fuzzy-PSO 30S</i> .....	84
<b>Gambar 4.18.c</b> Grafik Nilai <i>Error <math>\theta</math></i> pada Sistem <i>Fuzzy-PSO 30S</i> .....	84
<b>Gambar 4.18.d</b> Grafik <i>Trajectory</i> robot pada Sistem <i>Fuzzy-PSO 30S</i> .....	84
<b>Gambar 4.19.a</b> Grafik Nilai <i>Error x</i> pada Sistem <i>Fuzzy-PSO 40S</i> .....	85
<b>Gambar 4.19.b</b> Grafik Nilai <i>Error y</i> pada Sistem <i>Fuzzy-PSO 40S</i> .....	86
<b>Gambar 4.19.c</b> Grafik Nilai <i>Error <math>\theta</math></i> pada Sistem <i>Fuzzy-PSO 40S</i> .....	86
<b>Gambar 4.19.d</b> Grafik <i>Trajectory</i> robot pada Sistem <i>Fuzzy-PSO 40S</i> .....	86
<b>Gambar 4.20.a</b> Grafik Nilai <i>Error x</i> pada Sistem <i>Fuzzy-PSO 50S</i> .....	87
<b>Gambar 4.20.b</b> Grafik Nilai <i>Error y</i> pada Sistem <i>Fuzzy-PSO 50S</i> .....	88
<b>Gambar 4.20.c</b> Grafik Nilai <i>Error <math>\theta</math></i> pada Sistem <i>Fuzzy-PSO 50S</i> .....	88
<b>Gambar 4.20.d</b> Grafik <i>Trajectory</i> robot pada Sistem <i>Fuzzy-PSO 50S</i> .....	88

## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 3.1</b> Tabel Linguistik <i>Input 1</i> “ <i>Error x</i> ( $e_x$ )” .....	36
<b>Tabel 3.2</b> Tabel Linguistik <i>Input 2</i> “ <i>Perubahan Error x</i> ( $\Delta e_x$ )” .....	36
<b>Tabel 3.3</b> Tabel Linguistik <i>Input 3</i> “ <i>Error y</i> ( $e_y$ )” .....	36
<b>Tabel 3.4</b> Tabel Linguistik <i>Input 4</i> “ <i>Perubahan Error y</i> ( $\Delta e_y$ )” .....	37
<b>Tabel 3.5</b> Tabel Linguistik <i>Input 5</i> “ <i>Error <math>\theta</math></i> ( $e_\theta$ )” .....	37
<b>Tabel 3.6</b> Tabel Linguistik <i>Input 6</i> “ <i>Perubahan Error <math>\theta</math></i> ( $\Delta e_\theta$ )” .....	37
<b>Tabel 3.7</b> Tabel Linguistik <i>Output 1</i> “ <i>Kecepatan Roda Kanan</i> ( $v_r$ )” .....	37
<b>Tabel 3.8</b> Tabel Linguistik <i>Output 2</i> “ <i>Kecepatan Roda Kiri</i> ( $v_l$ )” .....	38
<b>Tabel 3.9</b> Tabel Basis Aturan Logika <i>Fuzzy</i> untuk <i>Error x</i> .....	46
<b>Tabel 3.10</b> Tabel Basis Aturan Logika <i>Fuzzy</i> untuk <i>Error y</i> .....	46
<b>Tabel 3.11</b> Tabel Basis Aturan Logika <i>Fuzzy</i> untuk <i>Error <math>\theta</math></i> .....	47
<b>Tabel 4.1</b> <i>Initialization MFs Input Error</i> Dengan 10 <i>Swarm</i> .....	63
<b>Tabel 4.2</b> <i>Initialization MFs Input Error</i> Dengan 20 <i>Swarm</i> .....	64
<b>Tabel 4.3</b> <i>Initialization MFs Input Error</i> Dengan 30 <i>Swarm</i> .....	64
<b>Tabel 4.4</b> <i>Initialization MFs Input Error</i> Dengan 40 <i>Swarm</i> .....	66
<b>Tabel 4.5</b> <i>Initialization MFs Input Error</i> Dengan 50 <i>Swarm</i> .....	67
<b>Tabel 4.6</b> <i>Gbest Fitness</i> pada <i>Input Error MFs</i> Dengan 10 <i>Swarm</i> .....	69
<b>Tabel 4.7</b> <i>Gbest Fitness</i> pada <i>Input Error MFs</i> Dengan 20 <i>Swarm</i> .....	69
<b>Tabel 4.8</b> <i>Gbest Fitness</i> pada <i>Input Error MFs</i> Dengan 30 <i>Swarm</i> .....	69
<b>Tabel 4.9</b> <i>Gbest Fitness</i> pada <i>Input Error MFs</i> Dengan 40 <i>Swarm</i> .....	69
<b>Tabel 4.10</b> <i>Gbest Fitness</i> pada <i>Input Error MFs</i> Dengan 50 <i>Swarm</i> .....	70
<b>Tabel 4.11</b> Gambar Perbandingan Sebelum dan Setelah <i>Tuning MFs</i> .....	89
<b>Tabel 4.12</b> Gambar Perbandingan Grafik Pengendali dan <i>Trajectory</i> .....	90

## DAFTAR LAMPIRAN

- LAMPIRAN 1.** Hasil Perbandingan Gbest *Fitness* MFs Dengan 10 *Swarm*
- LAMPIRAN 2.** Hasil Perbandingan Gbest *Fitness* MFs Dengan 20 *Swarm*
- LAMPIRAN 3.** Hasil Perbandingan Gbest *Fitness* MFs Dengan 30 *Swarm*
- LAMPIRAN 4.** Hasil Perbandingan Gbest *Fitness* MFs Dengan 40 *Swarm*
- LAMPIRAN 5.** Hasil Perbandingan Gbest *Fitness* MFs Dengan 50 *Swarm*
- LAMPIRAN 6.** Data Perubahan Nilai *Error* Posisi Tanpa Menggunakan *Fuzzy Logic Controller*
- LAMPIRAN 7.** Data Perubahan Nilai Delta *Error* Posisi Tanpa Menggunakan *Fuzzy Logic Controller*
- LAMPIRAN 8.** Data Perubahan Nilai *Error* Posisi Menggunakan *Fuzzy Logic Controller*
- LAMPIRAN 9.** Data Perubahan Nilai Delta *Error* Posisi Menggunakan *Fuzzy Logic Controller*
- LAMPIRAN 10.** Data Perubahan Nilai *Error* Posisi Menggunakan Metode *Fuzzy-PSO*
- LAMPIRAN 11.** Data Perubahan Nilai Delta *Error* Posisi Menggunakan Metode *Fuzzy-PSO*
- LAMPIRAN 12.** Data Perhitungan Hasil Uji Coba Rata-Rata *Error* Posisi *Fuzzy Logic Controller*
- LAMPIRAN 13.** Data Perhitungan Manual Hasil Uji Coba Rata-Rata *Error* Posisi *Fuzzy Logic Controller*
- LAMPIRAN 14.** Data Perhitungan Hasil Uji Coba Rata-Rata *Error* Posisi *Fuzzy-PSO*
- LAMPIRAN 15.** Data Perhitungan Manual Hasil Uji Coba Rata-Rata *Error* Posisi *Fuzzy-PSO*

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Metode kontrol pada pengendalian gerak *mobile robot* telah banyak diterapkan dalam penelitian. Hingga saat ini ada beberapa makalah penelitian yang menggunakan *genetic algorithms* dan *particle swarm optimization* untuk masalah optimisasi yang berbeda seperti fungsi matematika, kontroler *fuzzy*, parameter kontrol, *trajectory* sebuah kendaraan, masalah penjadwalan, dan masih banyak lagi [1]. Pada penulisan tugas akhir ini, pengendali logika *fuzzy* akan dioptimisasi oleh algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) untuk mengontrol *trajectory* dari *mobile robot* [2]. Algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) akan secara otomatis menyesuaikan fungsi keanggotaan dari pengendali logika *fuzzy* untuk mengontrol *trajectory* dari *nonholonomic mobile robot* pada jalur lintasan.

*Fuzzy Logic Controller* (FLC) disusun oleh basis aturan, dimana hal itu mencakup informasi yang diberikan oleh aturan *fuzzy*, antarmuka *fuzzifikasi*, yang memiliki efek mengubah data *crisp* menjadi himpunan *fuzzy*, sistem inferensi, yang digunakan bersama dengan basis aturan untuk membuat inferensi dari sebuah metode penalaran, dan antarmuka *defuzzifikasi*, yang menterjemahkan tindakan kontrol *fuzzy* [3]. Dalam *fuzzifikasi*, masukan numerik akan dipindahkan sebagai nilai linguistik *fuzzy*. Sebuah prosedur kontrol yang diproses di dalam basis aturan akan digambarkan sebagai deskripsi linguistik. Dalam mesin inferensi, kontrol nilai linguistik dibentuk oleh operasi max-min. Dalam *defuzzifikasi*, nilai linguistik inferensi diubah sebagai keluaran numerik [4]. *Fuzzy Logic Controller* (FLC) akan digunakan dalam mengontrol pergerakan dari *mobile robot* dan mengurangi *error* pergerakan *mobile robot*.

*Particle Swarm Optimization* (PSO) adalah teknik yang digunakan untuk menangani masalah optimisasi. Algoritma *Particle Swarm Optimization* merupakan salah satu dari evolusi algoritma yang terinspirasi dari kumpulan burung, ikan, atau tingkah laku sosial manusia. Dalam *Particle Swarm Optimization*, suatu objek dipanggil sebagai sebuah partikel dimana partikel akan ditempatkan dalam sebuah ruang pencari dari masalah atau fungsi yang spesifik

[5]. Partikel akan mengubah posisinya terhadap waktu, setiap partikel bisa menentukan pergerakan dalam ruang pencari dengan mempertimbangkan beberapa aspek dari posisi sebelumnya salah satu anggota atau beberapa anggota dalam kelompok dengan beberapa tingkah laku acak. Pengulangan selanjutnya terjadi ketika ada sebuah update dari semua partikel.

Berdasarkan latar belakang diatas, dalam mengoptimasi *Fuzzy Logic Controller* (FLC) dengan menggunakan algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) untuk mengontrol *trajectory* dari mobile robot tidaklah mudah. Maka tugas akhir ini akan mencoba melakukan analisa terhadap *Fuzzy Logic Controller* (FLC) dengan algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) untuk mendapatkan nilai optimal *tuning* agar dapat menentukan fungsi keanggotaan yang lebih baik dari *nonholonomic mobile robot*.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang hendak dicapai dari dilakukannya penelitian ini adalah :

1. Merancang pengendali robot *non-holonomic* berpenggerak *differential drive* dengan kendali logika *fuzzy* berdasarkan persamaan kecepatan.
2. Melakukan *tuning* fungsi keanggotaan pada sistem logika *fuzzy*.
3. Mengimplementasikan hasil perancangan sistem kendali robot *non-holonomic* berpenggerak *differential drive* dalam bentuk simulasi.

## 1.3 Perumusan Masalah

Bagaimana metode *Partikel Swarm Optimization* (PSO) bisa secara otomatis menentukan fungsi keanggotaan yang sesuai pada sistem kontrol logika *fuzzy* agar bisa mengendalikan gerak *differential drive mobile robot* (DDMR) sesuai referensi *trajectory* yang diberikan. Batasan masalah dalam tugas akhir ini yaitu sebagai berikut :

1. *Mobile robot* bergerak pada bidang horizontal
2. *Mobile robot* berpenggerak dua buah roda kiri-kanan yang dikemudikan secara terpisah (*Differentially Driven Mobile Robot*).
3. Robot diasumsikan berada dalam kawasan 2D pada koordinat XY.

4. Robot dianalisa menggunakan analisa kinematik dan mengabaikan sifat dinamik seperti massa, percepatan, gaya inersia, dan gesekan sistem dalam analisisnya.
5. Mengabaikan analisis dari *castor* bebas.
6. Kontrol masukannya adalah kecepatan linear roda kanan dan kecepatan linear roda kiri.
7. Metode pengendali gerak *differentially driven mobile robot* (DDMR) yang digunakan adalah sistem kontrol logika *fuzzy*.
8. Metode *Partikel Swarm Optimization* (PSO) digunakan dalam menentukan fungsi keanggotaan yang sesuai dari sistem *fuzzy* sehingga *mobile robot* dapat bergerak secara efektif ke posisi yang diinginkan.
9. Penelitian dilakukan hanya sebatas simulasi pada program dengan menggunakan bahasa pemrograman tertentu.
10. Tidak membahas mekanis *mobile robot*.

#### **1.4 Sistematika Pembahasan**

Sistematika dalam penulisan tugas akhir ini dibagi menjadi lima bab, yang susunannya sebagai berikut:

#### **BAB I PENDAHULUAN**

Pada bab pertama berisi tentang latar belakang, tujuan, perumusan masalah, dan sistematika pembahasan.

#### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab kedua berisi tentang literatur mengenai *particle swarm optimization* yang diperoleh dengan membaca buku atau jurnal yang terkait, kinematik *particle swarm optimization*, kinematika *mobile robot* berpengerak *differential*, pemodelan kinematik *mobile robot* berpengerak *differential*, desain kontrol logika *fuzzy* pada *mobile robot*.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ketiga berisi tentang kerangka penelitian, perancangan kontrol dari *mobile robot*, metode yang digunakan dalam tugas akhir dan desain kendali logika *fuzzy-PSO* pada *mobile robot*.

### **BAB IV HASIL DAN ANALISIS**

Pada bab keempat berisi tentang algoritma pemrograman simulasi sistem kontrol *Partikel Swarm Optimization* yang telah dirancang dengan menggunakan bahasa pemograman untuk mendapatkan grafik yang akan dianalisis, serta data hasil respon sistem yang akan menggambarkan performansi sistem kendali yang telah dirancang.

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada bab kelima berisi kesimpulan yang didapat dari penelitian dan saran yang berkaitan dengan keseluruhan tugas akhir ini.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Martinez-soto, "Bio-inspired Optimization of Fuzzy Logic Controllers for Autonomous Mobile Robots," 2012.
- [2] T. Y. Abdalla, "A PSO Optimized Fuzzy Control Scheme for Mobile Robot Path Tracking," vol. 76, no. 2, pp. 11–17, 2013.
- [3] S. Kumar, "Tuning of Particle Swarm Optimization Parameter using Fuzzy Logic," 2011.
- [4] S. H. Kim, C. Park, and F. Harashima, "A Self-Organized Fuzzy Controller for Wheeled Mobile Robot Using an Evolutionary Algorithm," vol. 48, no. 2, pp. 467–474, 2001.
- [5] K. J. Miraswan, "Particle Swarm Optimization and Fuzzy Logic Control in Gas Leakage Detector Mobile Robot," pp. 150–155, 2015.
- [6] Tzafestas, S. G., *Introduction to Mobile Robot Control*. 2013.
- [7] K. Rajeswari and P. Lakshmi, "PSO optimized Fuzzy Logic Controller for Active Suspension System," 2010.
- [8] P. F. Muir, "Kinematic modeling of wheeled mobile robots," 1986.
- [9] Supriyanto, R., Hustinawati, et.all, *Robotik*. Jakarta, 2010.
- [10] A. V Chavan, "DESIGN OF A DIFFERENTIAL DRIVE MOBILE ROBOT PLATFORM FOR USE IN CONSTRAINED ENVIRONMENTS," vol. 2, no. 6, pp. 1–10, 2015.
- [11] Trillas, E., Eciolaza, et.all, *Fuzzy Logic*. 2015.
- [12] D. Nazari, M. Abadi, and M. H. Khooban, "Design of optimal Mamdani-type fuzzy controller for nonholonomic wheeled mobile robots," *J. King Saud Univ. - Eng. Sci.*, vol. 27, no. 1, pp. 92–100, 2015.
- [13] Z. Azmiana, F. Bu, and P. Siagian, "PENGUNAAN SISTEM INFERENSI FUZZY UNTUK PENENTUAN JURUSAN DI SMA NEGERI 1 BIREUEN," vol. 1, no. 3, pp. 233–247, 2013.
- [14] A. Rastogi and P. Tiwari, "Optimal Tuning of Fractional Order PID Controller for DC Motor Speed Control Using Particle Swarm Optimization," no. 2, pp. 150–157, 2013.
- [15] V. K. Kadiyala, R. K. Jatoh, and S. Pothalaiah, "DESIGN AND IMPLEMENTATION OF FRACTIONAL ORDER PID CONTROLLER FOR AEROFIN CONTROL SYSTEM," pp. 696–701, 2009.
- [16] K. Sangfeel, S. Eunji, K. Kyungsik, and S. Byungseop, "Design of Fuzzy

Logic Controller for Inverted Pendulum-type Mobile Robot using Smart In-Wheel Motor,” vol. 8, no. April, pp. 493–503, 2015.

- [17] R. Rashid, I. Elamvazuthi, M. Begam, and M. Arrofiq, “Fuzzy-based Navigation and Control of a Non-Holonomic Mobile Robot,” vol. 2, no. 3, 2010.
- [18] I. Cholissodin, *Buku Ajar Swarm Intelligence*, no. June 2016. 2017.
- [19] Nuaba I. K. A. and Siti Nurmaini, “Model Controlling of Nonholonomic Differential Drive Mobile Robot (DDMR) Using Hybrid Controller (PID – Fuzzy),” 2017.