

**PERMODELAN KINEMATIK PADA *MOBILE ROBOT*
LEADER-FOLLOWER BERPENGERAK
DIFERENTIAL NON-HOLONOMIK DENGAN
MENGUNAKAN PENGENDALI LOGIKA *FUZZY***

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer Pada
Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya**



**OLEH
KRISTIAWATI BR GINTING
09011181419066**

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

LEMBAR PENGESAHAN

PERMODELAN KINEMATIK PADA MOBILE ROBOT LEADER-FOLLOWER BERPENGGERAK DIFERENTIAL NON-NOLONOMIK DENGAN MENGGUNAKAN PENGENDALI LOGIKA FUZZY

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer

OLEH :

KRISTIAWATI BR GINTING
09011181419066

Indralaya, 23 September 2019

Mengetahui,


Ketua Jurusan Sistem Komputer



A blue circular stamp of the Faculty of Computer Science at Untar is partially visible behind the signature.

Rossi Passarella, M.Eng.
NIP. 19780611 201012 1 004

Pembimbing Tugas Akhir



A handwritten signature in black ink.

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

HALAMAN PERSETUJUAN

Telah diuji dan lulus pada :

Hari : Kamis
Tanggal : 19 September 2019

Tim Penguji :

1. Ketua : Aditya Putra Perdana P., M.T.
2. Anggota I : Huda Ubaya, M.T.
3. Anggota II : Kemahyanto Exaudi, M.T.



Handwritten signatures of the examiners, including the date 19/9.

Mengetahui,
Ketua Jurusan Sistem Komputer



Rossi Passarella, M.Eng.
NIP. 197806112010121004

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Kristiawati Br Ginting
NIM : 09011181419066
Program Studi : Sistem Komputer
Judul Skripsi : Permodelan Kinematik pada *Mobile Robot Leader-Follower* Berpenggerak *Diferential Non-Holonomik* dengan Menggunakan Pengendali *Logika Fuzzy*
Hasil Pengecekan *Software iThenticate/Turnitin* : 14 %

Menyatakan bahwa tugas akhir ini merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan merupakan duplikasi maupun plagiasi (jiplakan) dari penelitian orang lain. Apabila tugas akhir ini terbukti merupakan hasil duplikasi atau plagiasi (jiplakan) dari hasil penelitian orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi yang diberikan oleh Tim penguji dan jurusan Sistem Komputer Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.



Inderalaya, September 2019

Yang menyatakan,



Kristiawati Br Ginting

NIM 09011181419066

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis haturkan kehadirat Allah SWT, atas segala karunia dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul **“Permodelan Kinematik pada *Mobile Robot Leader-Follower* Berpenggerak *Diferential Non-Holonomik* dengan Menggunakan Pengendali *Logika Fuzzy*”**. Shalawat dan salam tak lupa kita junjungkan kepada Nabi kita Rasulullah SAW beserta keluarga, sahabat dan para pengikutnya hingga akhir zaman.

Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan segala kemudahan, bimbingan, pengarahan, dorongan, bantuan baik moril maupun materil selama penyusunan tugas akhir ini. Untuk itu penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan segalanya kepada penulis berupa nikmat kesehatan, iman, dll sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Orang-orang tercinta, Ibu saya Gumanti Br Tambunan yang selalu menjadi sumber kebahagiaan, bang Erikson Hartanto Ginting yang selalu menjadi sosok Ayah bagi saya, bang Tim-Tim Jaya Ginting yang selalu mengajarkan kemandirian, bang Juanta Lidho Ginting yang selalu menjadi teman bertengkar, dan keluarga besar Tambunan yang selalu memberikan semangat dan dorongan kepada saya.
3. Bapak Jaidan Jauhari, S.Pd., M.T., selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Rossi Passarella, S.T., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Sistem Komputer Universitas Sriwijaya.

5. Ibu Prof. Dr. Ir. Siti Nurmaini, M.T. selaku Dosen Pembimbing tugas akhir, yang telah memberikan bimbingan dan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
6. Bapak Deris Stiawan, Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan dan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
7. Bapak Huda Ubaya, M.T., Bapak Kemahyanto Exaudi, M.T., dan Bapak Aditya Putra Perdana P., M.T selaku dosen penguji tugas akhir yang telah memberikan kritik dan saran serta ilmu yang bermanfaat sehingga tulisan ini menjadi lebih baik.
8. Seluruh Dosen Jurusan Sistem Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Sriwijaya
9. Mba Winda Kurnia Sari, selaku admin jurusan Sistem Komputer yang telah membantu mengurus seluruh berkas.
10. Seluruh Staf pegawai Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya yang telah membantu penyelesaian proses administrasi.
11. Erda Julian Lesi dan Firiyani yang selalu saya repotkan dalam penulisan tugas akhir ini.
12. Erda Julian Lesi, S.Kom, Firiyani, S.Kom, Tya Rhesnia, Ratih Handayani, Novia Tri Lestari, Resti Handayani, S.Kom, Tamara Kharsma Restu, S.Kom, Annisa Soleha yang telah membantu dalam proses belajar, memberikan motivasi serta semangat pada tugas akhir ini. Bidadari Surga, semoga kita bisa sukses semuanya.
13. Ageng, Yusup, Somame, Fahron, Rendika, Ade, Ilham, Adit, Roni, Faris, Eprik, dan para pejuang S.Kom.

14. Kakak-kakak Laboratorium COMNETS RG yang telah banyak berbagi cerita dan pengalaman : Kak Eko Arip, S.Kom, Kak Candra, S.Kom, Kak Johan Wahyudi, Kak Riki Andika, S.Kom, Kak Dimas Wayudi, S.Kom, , Kak Fepiliana, S.Kom, Kak Sri, S.Kom, Kak Leni, S.Kom, Kak Mei , S.Kom, Terima kasih atas bantuannya selama ini.
15. Diana Br Sagala, Nissa Ul-Mutiah, Riska Meikana Br Ginting, Desy Chrisna Br Ginting, Monika Pindonta Br Ginting, Leo Roka Ginting, Charlos Anderson Sinulingga, Suranta Sembiring, Kak Salsalina Br Ginting, Kak Santa Oktaviana Br Ginting, Kak Dea, Adekku terimut Anastasya Br Sembiring, Kak Nina Nuriah Br Karo, Kak Elisa, sen Mikha, Sen Dwi, Sen Septri, Sen Anggel, Sen Friska dan Keluarga besar Makasri yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu. Terimakasih telah menjadi keluarga di Inderalaya.
16. Lee Hangyul X1, Kim Sunggyu Infinite, Kang Daniel Wanna One, Miyawaki Sakura IZ*ONE, yang telah memberikan hiburan selagi penulis merasakan tekanan dan cobaan.
17. Swaq, Jerry, Tampan, Genit, Wowo, Kiyoo, Sapi, Wati, Pelakor, Mak Kiting, Mak Itam, Bocil, Nala, Simba para kucing yang singgah di kehidupan layo.
18. Seluruh teman-teman angkatan 2014 Sistem Komputer Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya.
19. Serta semua pihak yang telah membantu baik moril maupun materil yang tidak dapat disebutkan satu persatu dalam penyelesaian tugas akhir ini. Terima Kasih Semuanya.

Semoga dengan terselesainya tugas akhir ini dapat bermanfaat untuk menambah wawasan dan pengetahuan bagi kita semua. Dalam penulisan laporan ini penulis menyadari bahwa masih ada banyak kekurangan dan ketidaksempurnaan, oleh karena itu penulis mohon kritik dan saran yang membangun untuk Perbaikan Laporan Tugas Akhir ini, agar menjadi lebih baik dimasa yang akan datang.

Indralaya, September 2019

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan dan Manfaat.....	2
1.2.1 Tujuan.....	2
1.2.2 Manfaat	2
1.3 Perumusan Masalah.....	2
1.3.1 Perumusan Masalah.....	2
1.3.2 Batasan Masalah.....	3
1.4 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pendahuluan.....	5
2.1.1 <i>Non-Mobile Robot</i>	5
2.1.2 <i>Mobile robot</i>	6
2.1.3 Kombinasi Mobile dan Non-Mobile Robot.....	6
2.1.4 <i>Humanoid</i>	6
2.2 <i>Mobile Robot</i>	6
2.2.1 Gerak <i>Holonomic</i>	7
2.2.2 Gerak <i>Nonholonomic</i>	7
2.2.3 Robot Berkaki.....	9
2.2.4 Robot Beroda.....	9
2.3 Tipe Kemudi.....	9
2.3.1 <i>Differential Drive Mobile Robot (DDMR)</i>	9
2.3.2 <i>Tricycle Steering</i>	11

2.3.3	<i>Omnidirectional</i>	12
2.3.4	<i>Synchro Drive</i>	12
2.3.5	<i>Ackerman steerin</i>	13
2.3.6	<i>Skid Steering</i>	14
2.4	Mobile Robot Leader-Follower.....	14
2.5	Prinsip Dasar Pemodelan Matematik dalam Sistem Robotik.....	15
2.5.1	Konsep Kinematik.....	16
2.5.2	Konsep Dinamik.....	16
2.6	Tipe Sistem Kendali.....	17
2.6.1	Sistem Kendali Loop Terbuka (<i>open loop control</i>).....	17
2.6.2	Sistem Kendali <i>Loop</i> Tertutup (<i>close loop control</i>).....	18
2.7	Metode Logika <i>Fuzzy</i>	18
2.7.1	Fungsi Keanggotaan.....	19
2.7.1.1	Grafik Keanggotaan Kurva Linear.....	19
2.7.1.2	Grafik Keanggotaan Kurva Segitiga.....	21
2.7.1.3	Grafik Keanggotaan Kurva Trapesium.....	22
2.7.1.4	Grafik Keanggotaan Kurva-S.....	22
2.8	Fuzzifikasi.....	23
2.9	Basis Aturan.....	23
2.10	Sistem Inferensi <i>Fuzzy</i>	23
2.10.1	Metode Tsukamoto.....	23
2.10.2	Metode Mamdani.....	24
2.10.3	Metode Sugeno.....	24
2.11	Defuzzifikasi.....	24
BAB III.METODOLOGI PENELITIAN.....		26
3.1	Pendahuluan.....	26
3.2	Pemodelan <i>Mobile Robot</i>	27
3.2.1	Pemodelan Kinematik <i>Mobile Robot</i>	27
3.2.2	Nonholonomik <i>Constraints</i> DDMR	31
3.2.3	Persamaan Kinematik <i>Mobile Robot</i> Berpenggerak Diferensial	34
3.2.4	Persamaan Error.....	39

3.3	Persamaan kinematik Leader-Follower	43
3.3.1	Menghitung Jarak Robot Leader Follower melalui Sumbu X.....	43
3.3.2	Menghitung Jarak Robot Leader Follower melalui Sumbu Y.....	44
3.3.3	Persamaan Kinematik Robot Leader-Follower.....	44
3.4	blok diagram perancangan kontrol mobile robot.....	48
3.4.1	Fuzzy Robot Leader.....	48
3.4.2	Fuzzifikasi.....	50
3.4.3	Basis Aturan.....	55
3.4.4	Inferensi	58
3.4.5	Defuzzifikasi.....	58
3.5	Perancangan Algoritma Sistem Kendali DDMR simulasi pada Robot Leader	60
BAB IV. PENGUJIAN DAN ANALISA.....		62
4.1	Pendahuluan.....	62
4.2	Contoh Stusi Kasus Logika Fuzzy Robot Leader.....	62
4.2.1	Menghitung Kecepatan Linier Robot dengan Input (e_x) dan θ (e_θ)....	62
4.2.1.1	Fuzzifikasi Input Error untuk Kecepatan Linier.....	62
4.2.1.2	Inferensi Sistem Fuzzy untuk Kecepatan Linier.....	63
4.2.1.3	Defuzzifikasi Sistem Fuzzy untuk Kecepatan Linier.....	63
4.2.2	Menghitung Kecepatan Linier Robot dengan Input (e_y) dan θ (e_θ)..	64
4.2.2.1	Fuzzifikasi Input Error untuk Kecepatan Anguler.....	64
4.2.2.2	Inferensi Sistem Fuzzy untuk Kecepatan Linier.....	65
4.2.2.3	Defuzzifikasi Sistem Fuzzy untuk Kecepatan Anguler.....	65
4.3	Hasil pada simulasi Aplikasi Matlab dan Program Python.....	66
4.3.1	Hasil kecepatan Linier untuk Error e_x dan e_θ Leader.....	66
4.3.2	Hasil kecepatan Anggular untuk Error e_y dan e_θ Leader.....	67
4.4	Visualisasi Simulasi.....	67
4.5	Uji Coba Sistem.....	68
4.5.1	Pengujian Sistem Tanpa Pengendali Fuzzy.....	68
4.6	Analisa Pengujian.....	98
BAB V. KESIMPULAN SEMENTARA.....		101

5.1 Kesimpulan.....	101
DAFTAR PUSTAKA.....	102
LAMPIRAN.....	104

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1 Gerak ujung pena sebagai gerak <i>holonomic</i>	7
Gambar 2.2 Gerak ujung pisau sebagai gerak <i>nonholonomic</i>	8
Gambar 2.3 Gerakan <i>mobile robot</i> sebagai gerakan <i>nonholonomic</i>	8
Gambar 2.4 Differential Drive pada Bidang 2D Kartesian.....	10
Gambar 2.5 kinematik <i>Tricycle Steering</i>	12
Gambar 2.6 <i>Omnidirectional Steering</i>	12
Gambar 2.7 <i>Synchro Drive</i>	13
Gambar 2.8 <i>Ackerman steerin</i>	14
Gambar 2.9 Ilustrasi <i>Mobile Robot Leader-Follower</i>	14
Gambar 2.10 Diagram Sistem Robot.....	15
Gambar 2.11 Transformasi Kinematik Maju dan kinematik Mundur.....	16
Gambar 2.12 Diagram Model Dinamik Robot.....	17
Gambar 2.13 Transformasi Dinamika Balik dan Dinamika Maju.....	17
Gambar 2.14 Sistem Kendali Loop Terbuka.....	18
Gambar 2.15 Sistem Kendali loop tertutup.....	18
Gambar 2.16 Grafik Keanggotaan Kurva Linear Naik.....	20
Gambar 2.17 Grafik Keanggotaan Kurva Linear Turun.....	21
Gambar 2.18 Grafik Keanggotaan Kurva Segitiga.....	21
Gambar 2.19 Grafik Keanggotaan Kurva Trapesium.....	22
Gambar 2.20 Grafik Keanggotaan Kurva-S.....	23
Gambar 3.1 Kerangka Kerja Penelitian	26
Gambar 3.2 <i>Differential Drive Mobile Robot</i> pada Bidang 2D Cartesian.....	28
Gambar 3.3 Kecepatan Roda Robot Berdasarkan Porosnya.....	31
Gambar 3.4 Struktur kinematika roda pada bidang horizontal.....	39
Gambar 3.5 Diagram ilustrasi nonholonomic constraints.....	40
Gambar 3.6 konfigurasi <i>Leader-Follower</i> dengan Dua robot beroda <i>tricycle</i>	42
Gambar 3.7 Segitiga pada Kuadran III.....	43
Gambar 3.8 Segitiga pada Kuadran IV.....	44
Gambar 3.9 Grafik Fungsi Input Error x (e_x).....	51

Gambar 3.10 Grafik Fungsi Input error y (e_y).....	53
Gambar 3.11 Grafik Fungsi Input error θ (e_θ).....	53
Gambar 3.12 Grafik Fungsi Output Error kecepatan Linier (v_F).....	55
Gambar 3.13 Grafik Fungsi Output error kecepatan anguler (ω_F).....	56
Gambar 3.14 Flowchart Simulasi Proses Kerja Mobile Robot Follower	60
Gambar 4.1 Kurva Defuzzifikasi dari Kecepatan Linier (v_f).....	63
Gambar 4.2 Kurva Defuzzifikasi dari Kecepatan Anguler (ω_f).....	65
Gambar 4.3 Tampilan kecepatan Linier untuk Error e_x dan e_θ Robot Follower pada Aplikasi Matlab.....	66
Gambar 4.4 Tampilan kecepatan Anguler untuk Error e_y dan e_θ Follower pada Aplikasi Matlab.....	67
Gambar 4.5 Simulasi Sistem pada Sistem Kendali	68
Gambar 4.6a Grafik Nilai Error Posisi x Pada Sistem Tanpa Kendali Logika Fuzzy.....	69
Gambar 4.6b Grafik Nilai Error Posisi y Pada Sistem Tanpa Kendali Logika Fuzzy.....	69
Gambar 4.6c Grafik Nilai Delta Error Posisi θ Pada Sistem Tanpa Kendali Logika Fuzzy.....	70
Gambar 4.6d Grafik Nilai Delta Error Posisi x Pada Sistem Tanpa Kendali Logika Fuzzy.....	70
Gambar 4.6e Grafik Nilai Delta Error Posisi y Pada Sistem Tanpa Kendali Logika Fuzzy.....	70
Gambar 4.6f Grafik Nilai Delta Error Posisi θ Pada Sistem Tanpa Kendali Logika Fuzzy.....	71
Gambar 4.7a Grafik Nilai Error Posisi x Pada Sistem dengan Kendali Logika Fuzzy.....	72
Gambar 4.7b Grafik Nilai Error Posisi Y Pada Sistem dengan Kendali Logika Fuzzy.....	
Gambar 4.7c Grafik Nilai Error Posisi θ Pada Sistem dengan Kendali Logika Fuzzy.....	72
Gambar 4.7d Grafik Nilai Delta Error Posisi X Pada Sistem dengan Kendali Logika Fuzzy.....	73

Gambar 4.7e Grafik Nilai Delta Error Posisi Y Pada Sistem dengan Kendali Logika Fuzzy.....	73
Gambar 4.7f Grafik Nilai Delta Error Posisi θ Pada Sistem dengan Kendali Logika Fuzzy.....	73
Gambar 4.8a Grafik Nilai Error Posisi x Pada Sistem dengan Kendali Logika Fuzzy.....	74
Gambar 4.8b Grafik Nilai Error Posisi Y Pada Sistem dengan Kendali Logika Fuzzy.....	75
Gambar 4.8c Grafik Nilai Error Posisi θ Pada Sistem dengan Kendali Logika Fuzzy.....	75
Gambar 4.8d Grafik Nilai Delta Error Posisi x Pada Sistem Tanpa Kendali Logika Fuzzy.....	75
Gambar 4.8e Grafik Nilai Delta Error Posisi Y Pada Sistem Tanpa Kendali Logika Fuzzy.....	76
Gambar 4.8f Grafik Nilai Delta Error Posisi θ Pada Sistem Tanpa Kendali Logika Fuzzy.....	76
Gambar 4.9a Grafik Nilai Error Posisi X Pada Sistem dengan Kendali Logika Fuzzy.....	77
Gambar 4.9b Grafik Nilai Error Posisi Y Pada Sistem dengan Kendali Logika Fuzzy.....	77
Gambar 4.9c Grafik Nilai Error Posisi θ Pada Sistem dengan Kendali Logika Fuzzy.....	78
Gambar 4.9d Grafik Nilai Delta Error Posisi x Pada Sistem Tanpa Kendali Logika Fuzzy.....	78
Gambar 4.9e Grafik Nilai Delta Error Posisi Y Pada Sistem Tanpa Kendali Logika Fuzzy.....	78
Gambar 4.9f Grafik Nilai Delta Error Posisi θ Pada Sistem Tanpa Kendali Logika Fuzzy.....	79
Gambar 4.10a Grafik Nilai Error Posisi X Pada Sistem dengan Kendali Logika Fuzzy.....	80
Gambar 4.10b Grafik Nilai Error Posisi Y Pada Sistem dengan Kendali Logika Fuzzy.....	80

Gambar 4.10c Grafik Nilai Error Posisi θ Pada Sistem dengan Kendali Logika Fuzzy.....	80
Gambar 4.10d Grafik Nilai Delta Error Posisi x Pada Sistem Tanpa Kendali Logika Fuzzy.....	81
Gambar 4.10e Grafik Nilai Delta Error Posisi Y Pada Sistem Tanpa Kendali Logika Fuzzy.....	81
Gambar 4.10f Grafik Nilai Delta Error Posisi θ Pada Sistem Tanpa Kendali Logika Fuzzy.....	81
Gambar 4.11a Grafik Nilai Error Posisi X Pada Sistem dengan Kendali Logika Fuzzy.....	82
Gambar 4.11b Grafik Nilai Error Posisi Y Pada Sistem dengan Kendali Logika Fuzzy.....	83
Gambar 4.11c Grafik Nilai Error Posisi θ Pada Sistem dengan Kendali Logika Fuzzy.....	83
Gambar 4.11d Grafik Nilai Delta Error Posisi x Pada Sistem Tanpa Kendali Logika Fuzzy.....	83
Gambar 4.11e Grafik Nilai Delta Error Posisi Y Pada Sistem Tanpa Kendali Logika Fuzzy.....	84
Gambar 4.10f Grafik Nilai Delta Error Posisi θ Pada Sistem Tanpa Kendali Logika Fuzzy.....	84
Gambar 4.11a Grafik Nilai Error Posisi X Pada Sistem dengan Kendali Logika Fuzzy.....	85
Gambar 4.11b Grafik Nilai Error Posisi Y Pada Sistem dengan Kendali Logika Fuzzy.....	85
Gambar 4.11c Grafik Nilai Error Posisi θ Pada Sistem dengan Kendali Logika Fuzzy.....	86
Gambar 4.11d Grafik Nilai Delta Error Posisi x Pada Sistem Tanpa Kendali Logika Fuzzy.....	86
Gambar 4.11e Grafik Nilai Delta Error Posisi Y Pada Sistem Tanpa Kendali Logika Fuzzy.....	86
Gambar 4.11f Grafik Nilai Delta Error Posisi θ Pada Sistem Tanpa Kendali Logika Fuzzy.....	87

Gambar 4.12a Grafik Nilai Error Posisi X Pada Sistem dengan Kendali Logika Fuzzy.....	88
Gambar 4.12b Grafik Nilai Error Posisi Y Pada Sistem dengan Kendali Logika Fuzzy.....	88
Gambar 4.12c Grafik Nilai Error Posisi θ Pada Sistem dengan Kendali Logika Fuzzy.....	88
Gambar 4.12d Grafik Nilai Delta Error Posisi x Pada Sistem Tanpa Kendali Logika Fuzzy.....	89
Gambar 4.12e Grafik Nilai Delta Error Posisi Y Pada Sistem Tanpa Kendali Logika Fuzzy.....	89
Gambar 4.12f Grafik Nilai Delta Error Posisi θ Pada Sistem Tanpa Kendali Logika Fuzzy.....	89
Gambar 4.13a Grafik Nilai Error Posisi X Pada Sistem dengan Kendali Logika Fuzzy.....	90
Gambar 4.13b Grafik Nilai Error Posisi Y Pada Sistem dengan Kendali Logika Fuzzy.....	91
Gambar 4.13c Grafik Nilai Error Posisi θ Pada Sistem dengan Kendali Logika Fuzzy.....	91
Gambar 4.13d Grafik Nilai Delta Error Posisi x Pada Sistem Tanpa Kendali Logika Fuzzy.....	91
Gambar 4.13e Grafik Nilai Delta Error Posisi Y Pada Sistem Tanpa Kendali Logika Fuzzy.....	92
Gambar 4.13f Grafik Nilai Delta Error Posisi θ Pada Sistem Tanpa Kendali Logika Fuzzy.....	92
Gambar 4.14a Grafik Nilai Error Posisi x Pada Sistem dengan Kendali Logika Fuzzy.....	93
Gambar 4.14b Grafik Nilai Error Posisi y Pada Sistem dengan Kendali Logika Fuzzy.....	93
Gambar 4.14c Grafik Nilai Error Posisi θ Pada Sistem dengan Kendali Logika Fuzzy.....	94
Gambar 4.14d Grafik Nilai Delta Error Posisi x Pada Sistem dengan Kendali Logika Fuzzy.....	94

Gambar 4.14e Grafik Nilai Delta Error Posisi y Pada Sistem dengan Kendali Logika Fuzzy.....	94
Gambar 4.14f Grafik Nilai Delta Error Posisi y Pada Sistem dengan Kendali Logika Fuzzy.....	95
Gambar 4.15a Grafik Nilai Error Posisi x Pada Sistem dengan Kendali Logika Fuzzy.....	96
Gambar 4.15c Grafik Nilai Error Posisi θ Pada Sistem dengan Kendali Logika Fuzzy.....	96
Gambar 4.15d Grafik Nilai Delta Error Posisi x Pada Sistem dengan Kendali Logika Fuzzy.....	97
Gambar 4.15e Grafik Nilai Delta Error Posisi y Pada Sistem dengan Kendali Logika Fuzzy.....	97
Gambar 4.15f Grafik Nilai Delta Error Posisi θ Pada Sistem dengan Kendali Logika Fuzzy.....	97

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Tabel Linguistik Input 1 “Error x (e_x)”	49
Tabel 3.2 Tabel Linguistik Input 2 “Error y (e_y)”	49
Tabel 3.3 Tabel Linguistik Input 3 “Error θ (e_θ)”	49
Tabel 3.4 Tabel Linguistik Output 1 “Kecepatan Linier (v_F)”	49
Tabel 3.5 Tabel Linguistik Output 2 “Kecepatan Anguler (ω_L)”	50
Tabel 3.6 Tabel dari Basis Aturan Logika Fuzzy untuk <i>error</i> kecepatan Linier (v_f)	56
Tabel 3.7 Tabel dari Basis Aturan Logika Fuzzy untuk ω_F	57

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Data Perubahan Error Tanpa Menggunakan Logika Fuzzy.....	105
Lampiran 2. Data Perubahan Nilai Error untuk Pengujian Pertama Dengan Menggunakan Logika Fuzzy.....	106
Lampiran 3. Data Perubahan Nilai Error untuk Pengujian ke-2 Dengan Menggunakan Logika Fuzzy.....	107
Lampiran 4. Data Perubahan Nilai Error untuk Pengujian ke-3 Dengan Menggunakan Logika Fuzzy.....	109
Lampiran 5. Data Perubahan Nilai Error untuk Pengujian ke-4 Dengan Menggunakan Logika Fuzzy.....	110
Lampiran 6. Data Perubahan Nilai Error untuk Pengujian ke-5 Dengan Menggunakan Logika Fuzzy.....	112
Lampiran 7. Data Perubahan Nilai Error untuk Pengujian ke-6 Dengan Menggunakan Logika Fuzzy.....	113
Lampiran 8. Data Perubahan Nilai Error untuk Pengujian ke-7 Dengan Menggunakan Logika Fuzzy.....	114
Lampiran 9. Data Perubahan Nilai Error untuk Pengujian ke-8 Dengan Menggunakan Logika Fuzzy.....	116
Lampiran 10. Data Perubahan Nilai Error untuk Pengujian ke-9 Dengan Menggunakan Logika Fuzzy.....	117
Lampiran 11. Data Perubahan Nilai Error untuk Pengujian ke-10 Dengan Menggunakan Logika Fuzzy.....	119
Lampiran 12. Pseudo Code Fuzzification.....	120
Lampiran 13. Pseudo Code Rule Base.....	121
Lampiran 14. Pseudo Code Inferensi.....	122
Lampiran 15. Pseudo Code Defuzzification.....	124

**PERMODELAN KINEMATIK PADA MOBILE ROBOT LEADER-FOLLOWER
BERPENGGERAK DIFERENTIAL NON-NOLONOMIK DENGAN
MENGUNAKAN PENGENDALI LOGIKA FUZZY**

Kristiawati Br Ginting (09011181419066)

Jurusan Sistem Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Sriwijaya

Email : Krisgtg15@gmail.com


Abstrak

Differential Drive Mobile Robot Leader-Follower (DDMR) merupakan salah satu *mobile robot* berpengerak differensial dengan menggunakan dua buah roda pengerak. Berpindahannya posisi atau keadaan suatu *Mobile Robot* dari posisi awal ke posisi tujuan akan terjadi kesalahan atau error. Dalam pergerakan menuju ke posisi awal tujuan, diperlukan hukum kendali yang bisa membuat arah pergerakan *mobile robot* dari posisi awal ke posisi tujuan mendapatkan nilai error yang kecil. Untuk mendapatkan nilai error yang kecil maka digunakan sistem kendali logika *fuzzy* untuk mengendalikan torsi pada *mobile robot*. Rentang nilai linguistik yang digunakan -1 sampai 1 sebagai masukan dan rentang nilai linguistik 0 sampai 6 sebagai keluaran. Hasil pengujian dengan rata-rata error posisi terkecil selama 50s, error posisi x sebesar $-2,66697 \times 10^{-1}$, nilai rata-rata error posisi y sebesar 0, nilai rata-rata error posisi θ sebesar $1,5952 \times 10^{-1}$, nilai rata-rata delta error posisi x sebesar -1,08427, nilai rata-rata delta error posisi y sebesar 0, dan nilai rata-rata delta error posisi θ sebesar $-6,1 \times 10^{-3}$ dalam waktu tempuh 50s.


Kata kunci: Model Kinematik, Mobile Robot Leader-Follower, Logika Fuzzy, Sistem Kendali

Mengetahui,

Ketua Jurusan Sistem Komputer


Rossi Passarella, M.Eng.
NIP. 19780611 201012 1 004

Pembimbing Tugas Akhir


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

KINEMATIC MODELLING ON MOBILE ROBOT LEADER – FOLLOWER DIFFERENTIAL DRIVE NON-NOLONOMIC USING FUZZY LOGIC CONTROLLERS

Kristiawati Br Ginting (09011181419066)

Department of Computer Engineering, Faculty of Computer Science, Sriwijaya University
Email : Krisgtg15@gmail.com

Abstract

Differential Drive Mobile Robot Leader-Follower (DDMR) is one of the differentially driven mobile robot which use two drive wheels. Moving position or state of a Mobile Robot from its initial position to the destination position will occur error. In the movement towards the initial position of the destination, control laws are required to make the direction of mobile robot movement from the initial position to the destination position obtained small error value. To get small error value, fuzzy logic control system is used to control torque on the mobile robot. Linguistic value range which is used -1 to 1 as input and linguistic value range 0 to 6 as output. Testing result with smallest position error average during 50s, position error x is $-2,66697 \times 10^1$, average position error y is 0, value of position θ error average is $1,5952 \times 10^{-1}$, average delta error x position is -1.08427, average value delta error position y is 0, and the average value of delta error position θ is $-6,1 \times 10^{-3}$, 1x in travel time 50s.

Keywords: Kinematic model, Mobile Robot Leader-Follower, Fuzzy Logic, Controlled System


Mengetahui,

Ketua Jurusan Sistem Komputer



Rossi Passarella, M.Eng.
NIP. 19780611 201012 1 004

Pembimbing Tugas Akhir



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

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mobile robot adalah robot yang dapat bergerak atau berpindah tempat dan dapat dikendalikan secara otomatis atau manual [1]. Saat ini, para peneliti mulai mengubah arah penelitiannya, dari investigasi sistem robot tunggal kepada koordinasi sistem multi-robot [2]. Salah satu pendekatan yang banyak digunakan untuk mengendalikan sistem multi-robot adalah dengan menerapkan sistem pengendalian formasi dengan memanfaatkan mekanisme robot *leader-follower*. Performa kinerja sistem *leader-follower* ini akan ditentukan oleh kehandalan sistem pengendalian yang digunakan [3].

Selama ini kebanyakan teknologi mobile robot menggunakan sistem pergerakan *differential drive* [4]. Jenis mobile robot berpengerak *differensial* atau *Differentially Driven Mobile Robot (DDMR)*, adalah pergerakan robot dengan memanfaatkan kecepatan pada roda kiri dan kanannya. Agar stabil maka ditambah sebuah roda bebas (*omnidirectional*) yang biasa disebut roda *castor* dan diletakkan pada depan atau belakang robot[5].

Permasalahan utama dari sistem pergerakan *differential drive* adalah terbatasnya pergerakan robot karena hanya memanfaatkan kecepatan pada roda kiri dan kanannya yakni bergerak maju dan belok tetapi robot tidak mampu bergerak ke segala arah atau biasa disebut robot *nonholonomic* [4].

Pada analisis sistem kendali mempunyai dua bagian, berdasarkan persamaan kinematik dan persamaan dinamik [6]. Analisis berdasarkan kinematik adalah analisa matematik terhadap gerak robot yang tidak membahas *inersia* atau kelebamannya terjadi pada saat pergerakan robot [7]. Dengan kata lain analisa kinematik ini mengabaikan unsur dinamik didalamnya, sehingga hal yang penting pada robot adalah dapat dikendalikan selama dan sepanjang lintasan yang diberikan [7].

Merancang dan menerapkan kecerdasan buatan untuk robot mobil tidak mudah, namun dengan berkembangnya teknologi banyak metode-metode yang dapat digunakan untuk mendukung pembuatan kecerdasan buatan tersebut. Salah

satunya adalah *fuzzy logic* [8]. *Fuzzy Logic* yang digunakan dalam perancangan dan implementasi sistem *mobile robot* pada metode *leader-follower* berfungsi sebagai pengontrol yang menentukan posisi *follower*[8].

Pada uraian diatas, pada tugas akhir ini akan membahas permodelan kinematik pada *mobile robot leader-follower* berpengerak *diferential non-holonomik* dengan menggunakan pengendali *logika fuzzy*. Adapun masukan yang digunakan adalah kemampuan robot pengikut mengikuti pemimpin sesuai dengan formasinya. Sehingga logika *fuzzy* digunakan untuk mengolah masukan dari data kemampuan pengikut mengikuti pemimpin menjadi keluaran berupa aksi gerak robot melalui aktuatornya [9].

1.2 Tujuan dan Manfaat

1.2.1 Tujuan

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Membuat model dengan menggunakan analisa kinematik *pada mobile robot leader* dan *robot follower* berpengerak diferensial berdasarkan persamaan kecepatan menggunakan teknik logika *fuzzy*.
2. Mengimplementasikan hasil desain sistem kendali *mobile robot leader-follower* dalam bentuk simulasi dengan menggunakan bahasa pemograman *Java*.

1.2.2 Manfaat

Adapun manfaat yang didapatkan dari dilakukannya penelitian ini adalah dapat memberikan informasi dan referensi bagi pihak yang ingin mengembangkan *mobile robot leader-follower*.

1.3 Perumusan dan Batasan Masalah

1.3.1 Perumusan Masalah

Bagaimana merancang permodelan kinematik pada sistem *non-holonomik* dengan menggunakan pengendali logika *fuzzy* pada *mobile robot leader* dan *follower* berpengerak *diferential*.

1.3.2 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Robot yang dianalisa yaitu *mobile robot* yang memiliki dua buah roda kanan dan kiri untuk berpengerak dan diasumsikan dikemudikan secara terpisah.
2. Robot dianalisa menggunakan persamaan kinematik dan mengabaikan sifat dinamik.
3. Robot diasumsikan bergerak pada bidang horizontal dan berada dalam lingkungan 2D pada koordinat XY .
4. Dianggap tidak ada hambatan pada lintasan dan *mobile robot* tidak pernah tergelincir atau tidak mengalami *slip* dan bersifat *nonholonomic*.
5. Mengabaikan analisis dari *castor* bebas.
6. Pada tugas akhir kecepatan *robot leader* dianggap konstan sebagai referensi dari *robot follower*. Sedangkan untuk *robot followernya* menggunakan kontrol inputan kecepatan linier dan kecepatan angular.
7. Metode pengendali gerak *mobile robot* berpengerak diferensial yang digunakan adalah sistem kontrol logika *fuzzy*.
8. Pada penelitian ini hanya sebatas simulasi program dengan menggunakan bahasa pemograman *java*.

1.4 Sistematika Penulisan

Sistematika dalam penulisan tugas akhir dibagi menjadi beberapa tahapan berikut ini :

BAB I PENDAHULUAN

Bab pertama pada tugas akhir ini terdapat latar belakang, tujuan, manfaat, perumusan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab kedua pada tugas akhir ini berisi tentang *mobile robot Leader-follower*, kinematika, desain kendali *mobile robot leader-follower* dan pengendali logika fuzzy.

BAB III METODELOGI PENELITIAN

Pada bab ketiga membahas tentang proses penurunan persamaan DDMR ke persamaan kinematika *robot leader-follower* sampai perancangan pengendali kontrol logika *fuzzy*.

BAB IV HASIL DAN ANALISIS

Pada bab keempat berisi tentang algoritma pemrograman simulasi sistem kontrol logika *fuzzy* yang telah dirancang dengan menggunakan bahasa pemrograman *Java* untuk mendapatkan grafik *error* yang akan dianalisis, serta data hasil respon sistem yang akan menggambarkan performansi sistem kendali yang telah dirancang.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab kelima terdapat kesimpulan dan saran yang merupakan keseluruhan pada tugas akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wisnu Jatmiko, *Robotika Teori Dan Aplikasi*. 2012.
- [2] K. Pendidikan and D. A. N. Kebudayaan, *Perancangan pengendali formasi pada koordinasi sistem multi-robot menggunakan pengendali logika fuzzy*, no. 0327027002. 2013.
- [3] A. Adriansyah, “No Title,” pp. 1–9.
- [4] F. W. Aribowo and I. Setiawan, “Penjejak Arah Cahaya Dengan Kendali Logika,” pp. 144–150.
- [5] A. N. Aziz and E. Pitowarno, “Implementasi Metode Kontrol v, ω Berbasis Proporsional Integral Untuk Kontrol Gerak Mobile Robot Berpenggerak Differensial : Studi Simulasi,” no. 1, pp. 1–6.
- [6] R. Syam, “Kinematika dan Dinamika Robot Lengan,” p. 76, 2015.
- [7] J. S. Komputer, F. I. Komputer, and U. Sriwijaya, “HUKUM KENDALI UMPAN BALIK LINEAR SEBAGAI PENGENDALI GERAK MOBILE ROBOT,” 2017.
- [8] D. Suwandi, M. Si, and A. Qurthobi, “Rancang Bangun Kontrol Fuzzy Logic Pada Metode Leader-Follower Untuk Penjejak Formasi Mobile Robot (Fuzzy Logic Control Design On Leader-Follower Method For Mobile Robot Formation Tracking),” vol. 2, no. 1, pp. 563–570, 2015.
- [9] M. Sisto, “A Fuzzy Leader-Follower Approach to Formation Control of Multiple Mobile Robots,” pp. 2515–2520, 2006.
- [10] W. O. Quesada *et al.*, “Leader-Follower Formation for UAV Robot Swarm Based on Fuzzy Logic Theory,” pp. 740–751.
- [11] Z. Peng, G. Wen, A. Rahmani, and Y. Yu, “Leader – follower formation control of nonholonomic mobile robots based on a bioinspired neurodynamic based approach,” *Rob. Auton. Syst.*, vol. 61, no. 9, pp. 988–996, 2013.
- [12] M. A. Molina-villa, D. R. Avendaño-flórez, L. E. Solaque-guzmán, and N. F. Velasco-, “robotics implemented in leader-follower formation approach,” no. 76, pp. 19–29, 2015.
- [13] K. M. Lynch and F. C. Park, *MODERN ROBOTICS MECHANICS , PLANNING , AND CONTROL*, no. May. 2017.
- [14] A. Loria, J. Dasdemir, and N. A. Jarquin, “Leader–Follower Formation and

- Tracking Control of Mobile Robots Along Straight Paths,” pp. 1–6, 2015.
- [15] S. Yu, Z. Yu, H. Jiang, and C. Hu, “Leader-following guaranteed performance consensus for second-order multi-agent systems with and without communication delays,” pp. 2055–2066, 2018.
- [16] A. Bazoula and H. Maaref, “for Mobile Robots Formation,” vol. 1, no. 5, pp. 216–221, 2007.
- [17] T. Dewi and P. N. Sriwijaya, “Dasar Pemodelan dan Navigasi Flocking Mobile Robot dengan Aplikasi Sensor Jarak,” pp. 6–13, 2011.
- [18] R. Syam, “Kinematika dan Dinamika Robot Lengan,” p. 76, 2015.
- [19] Q. Hidayati, L. Saputra, and P. N. Balikpapan, “PURWARUPA ROBOT HEXAPOD PEMADAM API DENGAN FLAME SENSOR THE PROTOTYPE OF HEXAPOD ROBOT FIRE-EXTINGUISHING WITH FLAME Robot merupakan salah satu alat bantu yang dalam kondisi tertentu sangat mungkin ditangani oleh manusia seperti menggunakan 6 buah kaki . ,” 2017.
- [20] J. S. Komputer, F. I. Komputer, and U. Sriwijaya, “Pemodelan hukum kendali umpan balik linear untuk mengendalikan gerak mobile robot berpengerak differensial,” 2016.
- [21] G. Klančar, D. Matko, and S. Blažič, “Mobile robot control on a reference path,” *Proc. 20th IEEE Int. Symp. Intell. Control. ISIC '05 13th Mediterr. Conf. Control Autom. MED '05*, vol. 2005, no. July 2005, pp. 1349–1354, 2005.
- [22] S. Nurmaini, “Target Tracking in Mobile Robot under Uncertain Environment using Fuzzy Logic Controller,” no. September, pp. 19–21, 2017.
- [23] S. Nurmaini, “Differential Drive Mobile Robot Control using Variable Fuzzy Universe of Discourse,” no. December, 2018.