

# UNIVERSITAS BINA NUSANTARA

---

Jurusan Sistem Komputer  
Program Studi Robotika dan Otomasi  
Skripsi Sarjana Komputer  
Semester Genap tahun 2003/2004

## **SIMULASI KINEMATIKA ROBOT MOBIL DENGAN FUZZY LOGIC**

<b>Denal</b>	<b>0400530592</b>
<b>Eddy Surya</b>	<b>0400528796</b>
<b>Bobby</b>	<b>0400529003</b>

### **Abstrak**

Tujuan penelitian membuat alat bantu berupa software untuk mempelajari kinematika robot mobil dengan menggunakan metode fuzzy logic. Karakteristik robot mobil yang digunakan adalah menggunakan robot mobil yang telah ada di Universitas Bina Nusantara. Penelitian menggunakan studi kepustakaan dan studi simulasi. MATLAB dipilih sebagai lingkungan untuk mengembangkan program simulasi ini. Hasil penelitian adalah diperoleh data/informasi yang menggambarkan sifat-sifat kinematis dari robot mobil dan membantu proses pembelajaran robotika.

Kata Kunci : Kinematika, Robot Mobil, Fuzzy Logic, MATLAB

## PRAKATA

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah membimbing dan menguatkan hati penulis dalam menyusun dan menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Simulasi Kinematika Robot Mobil dengan Fuzzy Logic”.

Dalam menyelesaikan skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan serta dukungan moral. Karena itulah pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. Kedua Orang Tua Penulis yang telah membesarkan, mendidik dan memberikan kesempatan kepada penulis untuk belajar di perguruan tinggi.
2. Ibu Dr. Theresia Widia S., MM, selaku Rektor Universitas Bina Nusantara yang telah memberikan kepercayaan dan kesempatan kepada penulis untuk menyelesaikan Skripsi ini.
3. Bapak Iman H. Kartowisastro, Ph.D, selaku ketua jurusan sistem komputer dan dosen pembimbing yang telah banyak memberikan ide dan saran serta mengorbankan waktu dan tenaganya untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik yang membangun selama pembuatan skripsi ini.
4. Bapak Robby Saleh, S.kom dan Ibu Jurike V. Moniaga, selaku Sekretaris Jurusan dan mantan Sekretaris Jurusan Sistem Komputer untuk mengorbankan waktu dan tenaganya untuk memberikan bimbingan, kritik dan saran.
5. Semua Staff Laboratorium UPT PK yang telah memberikan saran, dukungan moral, dan pengertian selama pembuatan skripsi.
6. Kepada semua teman-teman yang banyak membantu penulisan Skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa Skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik serta saran yang membangun dari rekan-rekan pembaca sangat dibutuhkan agar dapat membuat Skripsi ini lebih baik.

Akhir kata, penulis merasa sangat bersyukur apabila skripsi ini dapat bermanfaat dan berguna bagi kepentingan orang banyak. Semoga hasil karya ini dapat bermanfaat bagi rekan-rekan pembaca dan dapat memberikan sumbangsih kepada almamater dalam membangun manusia Indonesia seutuhnya.

Jakarta 20 Juli 2004

Penulis

## DAFTAR ISI

Halaman Judul Luar.....	i
Halaman Judul Dalam.....	ii
Halaman Persetujuan.....	iii
Abstrak.....	iv
Prakata.....	v
Daftar Isi.....	vii
Daftar Tabel.....	xiii
Daftar Gambar.....	xiv
Daftar Lampiran.....	xxiv

### BAB 1 PENDAHULUAN

1.1	Latar	
	Belakang.....	1
1.2	Ruang Lingkup.....	3
1.3	Tujuan dan Manfaat.....	4
1.4	Metodologi Penelitian.....	4
	1.4.1 Studi Kepustakaan.....	4
	1.4.2 Studi Simulasi .....	4
1.5	Sistematika Penulisan.....	5

### BAB 2 LANDASAN TEORI

2.1 Definisi Robot.....	7
2.1.1 Klasifikasi Umum dari Robot.....	7
2.1.2 Robot Mobil Beroda.....	9
2.1.3 Differential Drive.....	11
2.2 Navigasi Robot Mobil.....	12
2.3 Kinematika Robot Mobil.....	14
2.3.1 Persamaan Kinematika Differential Drive.....	15
2.3.2 Forward Kinematics.....	16
2.3.3 Inverse Kinematics.....	17
2.4 Fuzzy Logic.....	17
2.4.1 Konsep Fuzzy Logic.....	17
2.4.1.1 Perbedaan Antara Himpunan Crips dan Himpunan Fuzzy.....	17
2.4.1.2 Membership Function (Fungsi Keanggotaan).....	19
2.4.1.3 Operasi Himpunan Fuzzy.....	20
2.4.2 Fuzzy Logic Controller (FLC) .....	23

### BAB 3 IMPLEMENTASI ALGORITMA SISTEM DALAM SIMULASI

3.1 Karakteristik Robot Mobil.....	30
3.2 Alternatif Sistem Navigasi Pada Robot Mobil.....	31
3.3 Perancangan Program Simulasi.....	35
3.3.1 MATLAB Sebagai Lingkungan Pemrograman.....	36
3.3.2 Modul Input Secara Umum.....	37
3.3.3 Modul Proses Secara Umum.....	38
3.3.4 Modul Output Secara Umum.....	38

3.4 Perancangan Fuzzy Logic Controller.....	38
3.4.1 Fuzzification (Fuzzifikasi).....	39
3.4.2 Rule Evaluation (Perancangan Aturan Bahasa).....	47
3.4.3 Defuzzification (Defuzzifikasi).....	48
3.5 Perancangan Program Navigasi untuk Robot Mobil .....	48
3.5.1 Modul Input.....	49
3.5.2 Modul Proses.....	50
3.5.2.1 Trajectory Generation.....	58
3.5.2.2 Inverse Kinematics.....	58
3.5.3 Modul Output.....	58
3.6 Modul Simulasi Kinematika Robot Mobil dengan Fuzzy Logic.....	58
3.6.1 Pesan Error Pada Simulator.....	64

## BAB 4 ANALISA SISTEM

4.1 Analisa Input.....	67
4.1.1 Input Posisi Awal ( $x_{awal}$ , $y_{awal}$ ) dan Akhir ( $x_{akhir}$ , $y_{akhir}$ ).....	68
4.1.2 Input $\phi_{awal}$ dan $\phi_{akhir}$ .....	68
4.1.3 Input Halangan ( $halangan_{x1}$ , $halangan_{y1}$ , $halangan_{x2}$ , $halangan_{y2}$ ).....	70
4.2 Analisa Proses.....	72
4.3 Analisa Ouput.....	73
4.3.1 Menggunakan 3 Output Membership Function dengan Jarak Antara 2 Roda 47 cm.....	76

4.3.1.1 Kondisi Input $x_{\text{awal}} < x_{\text{akhir}}$ dan $y_{\text{awal}} < y_{\text{akhir}}$ dan	
Model Halangan 1 dengan $\phi_{\text{awal}} = 0^\circ$ dan $\phi_{\text{akhir}} = 180^\circ$ .....	76
4.3.1.2 Kondisi Input $x_{\text{awal}} < x_{\text{akhir}}$ dan $y_{\text{awal}} < y_{\text{akhir}}$ dan	
Model Halangan 1 dengan $\phi_{\text{awal}} = 0^\circ$ dan $\phi_{\text{akhir}} = 90^\circ$ .....	85
4.3.1.3 Kondisi Input $x_{\text{awal}} < x_{\text{akhir}}$ dan $y_{\text{awal}} < y_{\text{akhir}}$ dan	
Model Halangan 1 dengan $\phi_{\text{awal}} = 0^\circ$ dan $\phi_{\text{akhir}} = 45^\circ$ .....	90
4.3.2 Menggunakan 5 Output Membership Function dengan Jarak	
Antara 2 Roda 47 cm.....	95
4.3.2.1 Kondisi Input $x_{\text{awal}} < x_{\text{akhir}}$ dan $y_{\text{awal}} < y_{\text{akhir}}$ dan	
Model Halangan 1 dengan $\phi_{\text{awal}} = 0^\circ$ dan $\phi_{\text{akhir}} = 180^\circ$ .....	95
4.3.2.2 Kondisi Input $x_{\text{awal}} < x_{\text{akhir}}$ dan $y_{\text{awal}} < y_{\text{akhir}}$ dan	
Model Halangan 1 dengan $\phi_{\text{awal}} = 0^\circ$ dan $\phi_{\text{akhir}} = 90^\circ$ .....	101
4.3.2.3 Kondisi Input $x_{\text{awal}} < x_{\text{akhir}}$ dan $y_{\text{awal}} < y_{\text{akhir}}$ dan	
Model Halangan 1 dengan $\phi_{\text{awal}} = 0^\circ$ dan $\phi_{\text{akhir}} = 45^\circ$ .....	106
4.3.3 Menggunakan 5 Output Membership Function dengan Jarak	
Antara 2 Roda 30 cm.....	111
4.3.3.1 Kondisi Input $x_{\text{awal}} < x_{\text{akhir}}$ dan $y_{\text{awal}} < y_{\text{akhir}}$ dan	
Model Halangan 1 dengan $\phi_{\text{awal}} = 0^\circ$ dan $\phi_{\text{akhir}} = 180^\circ$ .....	111
4.3.3.2 Kondisi Input $x_{\text{awal}} < x_{\text{akhir}}$ dan $y_{\text{awal}} < y_{\text{akhir}}$ dan	
Model Halangan 1 dengan $\phi_{\text{awal}} = 0^\circ$ dan $\phi_{\text{akhir}} = 90^\circ$ .....	116
4.3.3.3 Kondisi Input $x_{\text{awal}} < x_{\text{akhir}}$ dan $y_{\text{awal}} < y_{\text{akhir}}$ dan	
Model Halangan 1 dengan $\phi_{\text{awal}} = 0^\circ$ dan $\phi_{\text{akhir}} = 45^\circ$ .....	120
4.3.3.4 Kondisi Input $x_{\text{awal}} < x_{\text{akhir}}$ dan $y_{\text{awal}} < y_{\text{akhir}}$ dan	

Model Halangan 2 dengan $\phi_{\text{awal}} = 0^\circ$ dan $\phi_{\text{akhir}} = 0^\circ$ .....	125
4.3.3.5 Kondisi Input $x_{\text{awal}} < x_{\text{akhir}}$ dan $y_{\text{awal}} < y_{\text{akhir}}$ dan	
Model Halangan 2 dengan $\phi_{\text{awal}} = 90^\circ$ dan $\phi_{\text{akhir}} = 90^\circ$ .....	129
4.3.3.6 Kondisi Input $x_{\text{awal}} < x_{\text{akhir}}$ dan $y_{\text{awal}} < y_{\text{akhir}}$ dan	
Model Halangan 2 dengan $\phi_{\text{awal}} = 145^\circ$ dan $\phi_{\text{akhir}} = -45^\circ$ .....	133
4.3.3.7 Kondisi Input $x_{\text{awal}} < x_{\text{akhir}}$ dan $y_{\text{awal}} < y_{\text{akhir}}$ dan	
Model Halangan 2 dengan $\phi_{\text{awal}} = -180^\circ$ dan $\phi_{\text{akhir}} = 0^\circ$ .....	137
4.3.3.8 Kondisi Input $x_{\text{awal}} < x_{\text{akhir}}$ dan $y_{\text{awal}} > y_{\text{akhir}}$ dan	
Model Halangan 3 dengan $\phi_{\text{awal}} = 0^\circ$ dan $\phi_{\text{akhir}} = 0^\circ$ .....	141
4.3.3.9 Kondisi Input $x_{\text{awal}} < x_{\text{akhir}}$ dan $y_{\text{awal}} > y_{\text{akhir}}$ dan	
Model Halangan 3 dengan $\phi_{\text{awal}} = 90^\circ$ dan $\phi_{\text{akhir}} = 90^\circ$ .....	145
4.3.3.10 Kondisi Input $x_{\text{awal}} < x_{\text{akhir}}$ dan $y_{\text{awal}} > y_{\text{akhir}}$ dan	
Model Halangan 3 dengan $\phi_{\text{awal}} = 145^\circ$ dan $\phi_{\text{akhir}} = -45^\circ$ .....	149
4.3.3.11 Kondisi Input $x_{\text{awal}} < x_{\text{akhir}}$ dan $y_{\text{awal}} > y_{\text{akhir}}$ dan	
Model Halangan 3 dengan $\phi_{\text{awal}} = -180^\circ$ dan $\phi_{\text{akhir}} = 0^\circ$ .....	153
4.3.3.12 Kondisi Input $x_{\text{awal}} > x_{\text{akhir}}$ dan $y_{\text{awal}} > y_{\text{akhir}}$ dan	
Model Halangan 4 dengan $\phi_{\text{awal}} = 0^\circ$ dan $\phi_{\text{akhir}} = 0^\circ$ .....	157
4.3.3.13 Kondisi Input $x_{\text{awal}} > x_{\text{akhir}}$ dan $y_{\text{awal}} > y_{\text{akhir}}$ dan	
Model Halangan 4 dengan $\phi_{\text{awal}} = 90^\circ$ dan $\phi_{\text{akhir}} = 90^\circ$ .....	161
4.3.3.14 Kondisi Input $x_{\text{awal}} > x_{\text{akhir}}$ dan $y_{\text{awal}} > y_{\text{akhir}}$ dan	
Model Halangan 4 dengan $\phi_{\text{awal}} = 145^\circ$ dan $\phi_{\text{akhir}} = -45^\circ$ .....	165
4.3.3.15 Kondisi Input $x_{\text{awal}} > x_{\text{akhir}}$ dan $y_{\text{awal}} > y_{\text{akhir}}$ dan	
Model Halangan 4 dengan $\phi_{\text{awal}} = -180^\circ$ dan $\phi_{\text{akhir}} = 0^\circ$ .....	169



BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....	174
5.2 Saran.....	174
DAFTAR PUSTAKA.....	175
RIWAYAT HIDUP.....	176
LAMPIRAN-LAMPIRAN.....	L1

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Label dan Domain.....	25
Tabel 3.1 Sistem Satuan Variabel.....	35
Tabel 3.2 Batasan Variabel-variabel Input.....	50

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Fixed Robot.....	8
Gambar 2.2 Robot Beroda.....	9
Gambar 2.3 Robot Berkaki.....	9
Gambar 2.4 Pergerakan Roda pada Kinematika Non-holonomic.....	10
Gambar 2.5 Robot Differential Drive.....	11
Gambar 2.6 Diagram Blok Navigasi Robot Mobil.....	12
Gambar 2.7 Simulasi Robot Mobil Menggunakan Logika Fuzzy.....	13
Gambar 2.8 Kinematika Robot Mobil.....	14
Gambar 2.9a Jarak Antara 2 Roda.....	15
Gambar 2.9b Sudut Roda.....	15
Gambar 2.10 Jarak dan Sudut Antara 2 Roda dengan Kecepatan Berbeda.....	15
Gambar 2.11 Diagram Blok Hubungan Inverse Kinematics dan Forward Kinematics	16
Gambar 2.12a Crips Dewasa Non Fuzzy.....	18
Gambar 2.12b Crips Dewasa Fuzzy.....	18
Gambar 2.13 Fungsi Keanggotaan.....	19
Gambar 2.14 Bentuk- bentuk Fungsi Keanggotaan.....	20
Gambar 2.15 Operasi Union.....	21
Gambar 2.16 Operasi Intersection.....	21
Gambar 2.17 Operasi Complement.....	22
Gambar 2.18 Fuzzy Logic Controller.....	23
Gambar 2.19 Fungsi Keanggotaan dari Input Out Door Temperature.....	24

Gambar 2.20 Fungsi Keanggotaan dari Input Soil Moisture.....	25
Gambar 2.21 Fungsi Keanggotaan untuk Output Watering Duration.....	25
Gambar 2.22 Rule (Aturan) Sistem Penyiram Rumpun.....	26
Gambar 2.23 Fungsi Keanggotaan Pada Air Temperature dan Soil Moisture.....	26
Gambar 2.24 Fungsi Keanggotaan Output.....	27
Gambar 2.25 Crips Output untuk Watering Duration.....	28
Gambar 2.26 Crips Output Tipe Singleton.....	29
Gambar 3.1 Robot dengan Platform Berbentuk Lingkaran.....	30
Gambar 3.2 Perbedaan Antara Robot Berbentuk Persegi dan Lingkaran.....	31
Gambar 3.3 Trajectory 1 Segmen.....	34
Gambar 3.4 Trajectory 2 Segmen.....	34
Gambar 3.5 Lingkungan Pemrograman MATLAB.....	37
Gambar 3.6 Diagram Blok FLC.....	39
Gambar 3.7 Orientasi Kiri.....	40
Gambar 3.8 Orientasi Zero.....	40
Gambar 3.9 Orientasi Kanan.....	41
Gambar 3.10 Sensor Robot Mobil.....	42
Gambar 3.11 Membership Function Orientasi.....	43
Gambar 3.12 Membership Function Jarak Tujuan.....	44
Gambar 3.13 Membership Function Sensor.....	45
Gambar 3.14 Membership Function $\dot{\theta}_L$ dan $\dot{\theta}_R$ .....	46
Gambar 3.15 Robot Mobil Menghindari Halangan.....	47
Gambar 3.16 Diagram Alir Main Program.....	51

Gambar 3.17 Prosedur Hitung Jarak Tujuan Dan Sudut.....	52
Gambar 3.18 Diagram Alir Gambar Mobil.....	53
Gambar 3.19 Diagram Alir Gambar Sensor.....	53
Gambar 3.20 Diagram Alir Hitung Sensor.....	54
Gambar 3.21 Diagram Alir Jarak Sensor.....	56
Gambar 3.22 Diagram Alir Hitung Titik Bantu.....	57
Gambar 3.23 Diagram Alir Konversi.....	57
Gambar 3.24 Menu Awal.....	59
Gambar 3.25 Menu Input.....	60
Gambar 3.26 Pergerakan Robot Mobil.....	61
Gambar 3.27 Grafik Trajectory.....	62
Gambar 3.28 Grafik Trajectory Setelah Diplot.....	63
Gambar 3.29 Grafik $\theta_L$ dan $\theta_R$ .....	64
Gambar 3.30 Input yang Dimasukkan Bukan Numerik.....	65
Gambar 3.31 Input x awal Kurang dari Batas Minimum.....	65
Gambar 3.32 Input x awal Melebihi Batas Maksimum.....	66
Gambar 4.1 Batas Orientasi ( $\phi$ ) Robot Mobil.....	69
Gambar 4.2 Titik Bantu dengan $\phi_{akhir} = 45^\circ$ .....	69
Gambar 4.3 Model Bentuk Halangan.....	72
Gambar 4.4 Trajectory.....	73
Gambar 4.5 Grafik Trajectory dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal}$ $< y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 180^\circ$ .....	77

Gambar 4.6 Grafik Nilai dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal}$ $< y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 180^\circ$ .....	78
Gambar 4.7 Gambar Input Fuzzy dengan Hasil Output COG dengan Kondisi orientasi = kiri, jarak_tujuan = far, halangan_kiri = medium, halangan_tengah = very_far, halangan_kanan = very_far.....	80
Gambar 4.8 Gambar Input Fuzzy dengan Hasil Output COG dengan Kondisi orientasi = kiri, jarak_tujuan = far, halangan_kiri = medium, halangan_tengah = very_far, halangan_kanan = very_far.....	81
Gambar 4.9 Gambar Input Fuzzy dengan Hasil Output COG dengan Kondisi orientasi = kiri, jarak_tujuan = far, halangan_kiri = very_far, halangan_tengah = very_far, halangan_kanan = very_far.....	82
Gambar 4.10 Gambar Input Fuzzy dengan Hasil Output COG dengan Kondisi orientasi = zero, jarak_tujuan = far, halangan_kiri = very_far, halangan_tengah = very_far, halangan_kanan = very_far.....	83
Gambar 4.11 Pergerakan Robot Mobil dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} < y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 180^\circ$ .....	84
Gambar 4.12 Grafik Trajectory dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal}$ $< y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 90^\circ$ .....	86
Gambar 4.13 Grafik Nilai Theta dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal}$ $< y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 90^\circ$ .....	87
Gambar 4.14 Gambar Input Fuzzy dengan Hasil Output COG dengan Kondisi orientasi = kiri, jarak_tujuan = near, halangan_kiri = very_far, halangan_tengah = very_far, halangan_kanan = very_far.....	88

Gambar 4.15 Pergerakan Robot Mobil dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} < y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 90^\circ$ .....	89
Gambar 4.16 Grafik Trajectory dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} < y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 45^\circ$ .....	91
Gambar 4.17 Grafik Nilai Theta dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} < y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 45^\circ$ .....	92
Gambar 4.18 Pergerakan Robot Mobil dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} < y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 45^\circ$ .....	94
Gambar 4.19 Grafik Trajectory dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} < y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 180^\circ$ .....	97
Gambar 4.20 Grafik Nilai Theta dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} < y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 180^\circ$ .....	98
Gambar 4.21 Pergerakan Robot Mobil dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} < y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 180^\circ$ .....	100
Gambar 4.22 Grafik Trajectory dengan Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} < y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 90^\circ$ .....	102
Gambar 4.23 Grafik Nilai dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} < y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 90^\circ$ .....	103
Gambar 4.24 Pergerakan Robot Mobil dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} < y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 90^\circ$ .....	105
Gambar 4.25 Grafik Trajectory dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} < y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 45^\circ$ .....	107

Gambar 4.26 Grafik Nilai Theta dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} < y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 45^\circ$ .....	108
Gambar 4.27 Pergerakan Robot Mobil dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} < y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 45^\circ$ .....	110
Gambar 4.28 Grafik Trajectory dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} < y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 180^\circ$ .....	112
Gambar 4.29 Grafik Nilai Theta dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} < y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 180^\circ$ .....	113
Gambar 4.30 Pergerakan Robot Mobil dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} < y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 180^\circ$ .....	115
Gambar 4.31 Grafik Trajectory dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} < y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 90^\circ$ .....	117
Gambar 4.32 Grafik Nilai Theta dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} < y_{akhir}$ dan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 90^\circ$ .....	118
Gambar 4.33 Pergerakan Robot Mobil dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} < y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 90^\circ$ .....	119
Gambar 4.34 Grafik Trajectory dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} < y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 45^\circ$ .....	121
Gambar 4.35 Grafik Nilai Theta dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} < y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 45^\circ$ .....	122
Gambar 4.36 Pergerakan Robot Mobil dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} < y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 45^\circ$ .....	124



Gambar 4.37 Grafik Trajectory dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal}$	
= $y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 0^\circ$ .....	126
Gambar 4.38 Grafik Nilai Theta dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal}$	
= $y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 0^\circ$ .....	127
Gambar 4.39 Pergerakan Robot Mobil dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$	
dan $y_{awal} = y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 0^\circ$ .....	128
Gambar 3.40 Grafik Trajectory dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal}$	
= $y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 90^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 90^\circ$ .....	130
Gambar 4.41 Grafik Nilai Theta dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal}$	
= $y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 90^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 90^\circ$ .....	131
Gambar 4.42 Pergerakan Robot Mobil dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$	
dan $y_{awal} = y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 90^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 90^\circ$ .....	132
Gambar 4.43 Grafik Trajectory dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal}$	
= $y_{akhir}$ dan $\phi_{awal} = 145^\circ$ dan $\phi_{akhir} = -45^\circ$ .....	134
Gambar 4.44 Grafik Theta dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal}$	
= $y_{akhir}$ dan $\phi_{awal} = 145^\circ$ dan $\phi_{akhir} = -45^\circ$ .....	135
Gambar 4.45 Pergerakan Robot Mobil dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$	
dan $y_{awal} = y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 145^\circ$ dan $\phi_{akhir} = -45^\circ$ .....	136
Gambar 4.46 Grafik Trajectory dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal}$	
= $y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = -180^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 0^\circ$ .....	138
Gambar 4.47 Grafik Theta dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal}$	
= $y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = -180^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 0^\circ$ .....	139

Gambar 4.48 Pergerakan Robot Mobil dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} = y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = -180^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 0^\circ$ .....	140
Gambar 4.49 Grafik Trajectory dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal}$ $> y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 0^\circ$ .....	142
Gambar 4.50 Grafik Nilai Theta dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal}$ $> y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 0^\circ$ .....	143
Gambar 4.51 Pergerakan Robot Mobil dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} > y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 0^\circ$ .....	144
Gambar 4.52 Grafik Trajectory dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal}$ $> y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 90^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 90^\circ$ .....	146
Gambar 4.53 Grafik Nilai Theta dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal}$ $> y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 90^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 90^\circ$ .....	147
Gambar 4.54 Pergerakan Robot Mobil dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} > y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 90^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 90^\circ$ .....	148
Gambar 4.55 Grafik Trajectory dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal}$ $> y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 145^\circ$ dan $\phi_{akhir} = -45^\circ$ .....	150
Gambar 4.56 Grafik Nilai Theta dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal}$ $> y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 145^\circ$ dan $\phi_{akhir} = -45^\circ$ .....	151
Gambar 4.57 Pergerakan Robot Mobil dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} > y_{akhir}$ dan $\phi_{awal} = 145^\circ$ dan $\phi_{akhir} = -45^\circ$ .....	152
Gambar 4.58 Grafik Trajectory dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal}$ $> y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = -180^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 0^\circ$ .....	154

Gambar 4.59 Grafik Nilai Theta dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal}$ > $y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = -180^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 0^\circ$ .....	155
Gambar 4.60 Pergerakan Robot Mobil dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} > y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = -180^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 0^\circ$ .....	156
Gambar 4.61 Grafik Trajectory dengan Kondisi Input $x_{awal} > x_{akhir}$ dan $y_{awal}$ > $y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 0^\circ$ .....	158
Gambar 4.62 Grafik Nilai Theta dengan Kondisi Input $x_{awal} > x_{akhir}$ dan $y_{awal}$ > $y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 0^\circ$ .....	159
Gambar 4.63 Pergerakan Robot Mobil dengan Kondisi Input $x_{awal} > x_{akhir}$ dan $y_{awal} > y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 0^\circ$ .....	160
Gambar 4.64 Grafik Trajectory dengan Kondisi Input $x_{awal} > x_{akhir}$ dan $y_{awal}$ > $y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 90^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 90^\circ$ .....	162
Gambar 4.65 Grafik Nilai Theta dengan Kondisi Input $x_{awal} > x_{akhir}$ dan $y_{awal}$ > $y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 90^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 90^\circ$ .....	163
Gambar 4.66 Pergerakan Robot Mobil dengan Kondisi Input $x_{awal} > x_{akhir}$ dan $y_{awal} > y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 90^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 90^\circ$ .....	164
Gambar 4.67 Grafik Trajectory dengan Kondisi Input $x_{awal} > x_{akhir}$ dan $y_{awal}$ > $y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 145^\circ$ dan $\phi_{akhir} = -45^\circ$ .....	166
Gambar 4.68 Grafik Nilai Theta dengan Kondisi Input $x_{awal} > x_{akhir}$ dan $y_{awal}$ > $y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 145^\circ$ dan $\phi_{akhir} = -45^\circ$ .....	167
Gambar 4.69 Pergerakan Robot Mobil dengan Kondisi Input $x_{awal} > x_{akhir}$ dan $y_{awal} > y_{akhir}$ dengan $\phi_{awal} = 145^\circ$ dan $\phi_{akhir} = -45^\circ$ .....	168

Gambar 4.70 Grafik Trajectory dengan Kondisi Input  $x_{\text{awal}} > x_{\text{akhir}}$  dan  $y_{\text{awal}} > y_{\text{akhir}}$  dengan  $\phi_{\text{awal}} = -180^\circ$  dan  $\phi_{\text{akhir}} = 0^\circ$  .....170

Gambar 4.71 Grafik Nilai Theta dengan Kondisi Input  $x_{\text{awal}} > x_{\text{akhir}}$  dan  $y_{\text{awal}} > y_{\text{akhir}}$  dengan  $\phi_{\text{awal}} = -180^\circ$  dan  $\phi_{\text{akhir}} = 0^\circ$  .....171

Gambar 4.72 Pergerakan Robot Mobil dengan Kondisi Input  $x_{\text{awal}} > x_{\text{akhir}}$  dan  $y_{\text{awal}} > y_{\text{akhir}}$  dengan  $\phi_{\text{awal}} = -180^\circ$  dan  $\phi_{\text{akhir}} = 0^\circ$  .....172

## DAFTAR LAMPIRAN

Tabel L1 Output dengan Menggunakan 3 Output Membership Function dengan Jarak Antara 2 Roda 47 cm Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} < y_{akhir}$ dan Model Halangan 1 dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 180^\circ$ .....	L1
Tabel L2 Output dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} < y_{akhir}$ dan Model Halangan 1 dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 90^\circ$ .....	L4
Tabel L3 Output dengan Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} < y_{akhir}$ dan Model Halangan 1 dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 45^\circ$ .....	L8
Tabel L4 Output Menggunakan 5 Output Membership Function dengan Jarak Antara Dua Roda 47 cm Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} < y_{akhir}$ dan Model Halangan 1 dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 180^\circ$ .....	L12
Tabel L5 Output Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} < y_{akhir}$ dan Model Halangan 1 dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 90^\circ$ .....	L14
Tabel L6 Output Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} < y_{akhir}$ dan Model Halangan 1 dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 45^\circ$ .....	L16
Tabel L7 Output Menggunakan 5 <i>Output Membership Function</i> dengan Jarak Antara 2 Roda 30 cm Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} < y_{akhir}$ dan Model Halangan 1 dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 180^\circ$ .....	L19
Tabel L8 Output Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} < y_{akhir}$ dan Model Halangan 1 dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 90^\circ$ .....	L20
Tabel L9 Output Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} < y_{akhir}$ dan Model Halangan 1 dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 45^\circ$ .....	L24

Tabel L10 Output Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} = y_{akhir}$ dan Model Halangan 2 dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 0^\circ$ .....	L26
Tabel L11 Output Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} = y_{akhir}$ dan Model Halangan 2 dengan $\phi_{awal} = 90^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 90^\circ$ .....	L28
Tabel L12 Output Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} = y_{akhir}$ dan Model Halangan 2 dengan $\phi_{awal} = 145^\circ$ dan $\phi_{akhir} = -45^\circ$ .....	L29
Tabel L13 Output Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} = y_{akhir}$ dan Model Halangan 2 dengan $\phi_{awal} = -180^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 0^\circ$ .....	L31
Tabel L14 Output Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} > y_{akhir}$ dan Model Halangan 3 dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 0^\circ$ .....	L33
Tabel L15 Output Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} > y_{akhir}$ dan Model Halangan 3 dengan $\phi_{awal} = 90^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 90^\circ$ .....	L35
Tabel L16 Output Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} > y_{akhir}$ dan Model Halangan 3 dengan $\phi_{awal} = 145^\circ$ dan $\phi_{akhir} = -45^\circ$ .....	L38
Tabel L17 Output Kondisi Input $x_{awal} < x_{akhir}$ dan $y_{awal} > y_{akhir}$ dan Model Halangan 3 dengan $\phi_{awal} = -180^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 0^\circ$ .....	L40
Tabel L18 Output Kondisi Input $x_{awal} > x_{akhir}$ dan $y_{awal} > y_{akhir}$ dan Model Halangan 4 dengan $\phi_{awal} = 0^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 0^\circ$ .....	L42
Tabel L19 Output Kondisi Input $x_{awal} > x_{akhir}$ dan $y_{awal} > y_{akhir}$ dan Model Halangan 4 dengan $\phi_{awal} = 90^\circ$ dan $\phi_{akhir} = 90^\circ$ .....	L45
Tabel L20 Output Kondisi Input $x_{awal} > x_{akhir}$ dan $y_{awal} > y_{akhir}$ dan Model Halangan 4 dengan $\phi_{awal} = 145^\circ$ dan $\phi_{akhir} = -45^\circ$ .....	L47
Tabel L21 Output Kondisi Input $x_{awal} > x_{akhir}$ dan $y_{awal} > y_{akhir}$ dan	

Model Halangan 4 dengan $\phi_{\text{awal}} = -180^\circ$ dan $\phi_{\text{akhir}} = 0^\circ$ .....	L49
Fuzzy Rules.....	L52
Listing Program menu_awal.m.....	L54
Listing Program menu_input.m.....	L56
Listing Program simulasi.m .....	L66
Listing Program grafik_trajectory.m.....	L71
Listing Program grafik_theta.m.....	L74
Listing Program open_graph_window.m .....	L77
Listing Program set_default_value.m .....	L79
Listing Program draw_box.m .....	L80
Listing Program hitung3titik.m .....	L82
Listing Program gambar_mobil.m .....	L82
Listing Program gambar_sensor.m .....	L83
Listing Program hitung_sensor.m .....	L84
Listing Program hitung_jarak_sudut.m .....	L85
Listing Program konversi.m .....	L86
Listing Program close_graph_window.m .....	L86
Listing Program jarak_sensor.m .....	L86
Listing Program mouse_button_pressed.m .....	L90
Gambar L1 Input yang Dimasukkan Bukan Numerik.....	L91
Gambar L2 Input x awal Kurang dari Batas Minimum.....	L91
Gambar L3 Input x awal Melebihi Batas Maksimum.....	L91
Gambar L4 Input y awal Kurang dari Batas Minimum.....	L92

Gambar L5 Input $y$ awal Melebihi Batas Maksimum.....	L92
Gambar L6 Input $x$ akhir Kurang dari Batas Minimum.....	L93
Gambar L7 Input $x$ akhir Melebihi Batas Maksimum.....	L93
Gambar L8 Input $y$ akhir Kurang dari Batas Minimum....	L93
Gambar L9 Input $y$ akhir Melebihi Batas Maksimum.....	L94
Gambar L10 Input $\phi_{awal}$ Kurang dari Batas Minimum .....	L94
Gambar L11 Input $\phi_{awal}$ Melebihi Batas Maksimum.....	L94
Gambar L12 Input $\phi_{akhir}$ Kurang dari Batas Minimum.....	L95
Gambar L13 Input $\phi_{akhir}$ Melebihi Batas Maksimum.....	L95
Gambar L14 Input Halangan $x_1$ Kurang dari Batas Minimum.....	L96
Gambar L15 Input Halangan $x_1$ Melebihi Batas Maksimum.....	L96
Gambar L16 Input Halangan $y_1$ Kurang dari Batas Minimum.....	L96
Gambar L17 Input Halangan $y_1$ Melebihi Batas Maksimum.....	L97
Gambar L18 Input Halangan $x_2$ Kurang dari Batas Minimum.....	L97
Gambar L19 Input Halangan $x_2$ Melebihi Batas Maksimum.....	L97
Gambar L20 Input Halangan $y_2$ Kurang dari Batas Minimum.....	L98
Gambar L21 Input Halangan $y_2$ Melebihi Batas Maksimum.....	L98