

PEMODELAN DAN SIMULASI ROBOT MOBIL BERODA

ABSTRAK

Harry Wijaya / 0522073

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha
Jl. Prof. Drg. Suria Sumantri, M.P.H. No.65, Bandung 40164, Indonesia

E-mail: h_12ry@yahoo.com

Penentuan parameter robot sangat diperlukan dalam perancangan sebuah robot. Parameter yang mempengaruhi adalah: (1) massa robot; (2) tegangan, resistansi, dan induktansi motor; (3) perbandingan *gear*; (4) torsi konstan; (5) jari-jari roda; dan (6) lebar robot mobil. Dengan demikian, simulasi dilakukan agar dapat menentukan nilai parameter yang sesuai dengan kebutuhan.

Pada penelitian ini, model matematika yang digunakan merupakan hasil kombinasi dari penurunan model matematika Randal W. Beard (2002) dan beberapa hukum kinematika dan dinamika. Untuk mencapai koordinat acuan (*set point*), pengendali *on/off* ditambahkan pada model tersebut. Simulasi yang dilakukan adalah menguji robot mobil sehingga dapat: (1) bergerak dari koordinat ke koordinat lain dengan atau tanpa gangguan; (2) bergerak mengikuti trayektori dengan atau tanpa gangguan.

Hasil simulasi menunjukkan pada waktu cacah (*sampling time*) 0.01 detik dan tegangan 5 Volt, maka kesalahan (*error*) yang terjadi berkisar 0.1%-0.5%. Untuk waktu cacah (*sampling time*) 0.1 detik dan tegangan 8 Volt, kesalahan (*error*) yang terjadi berkisar 0.8%-10%. Waktu pencapaian koordinat acuan (*set point*) untuk tegangan 5 Volt lebih lama dibandingkan tegangan 8 Volt. Dalam simulasi, hasil yang optimal diperoleh bila waktu cacah (*sampling time*) 0.01 detik dengan tegangan 8 Volt maka kesalahan (*error*) yang terjadi berkisar 0.17%-1.4%.

Kata kunci : Model Robot Mobil Beroda, Pengendali *On/Off*, koordinat ke koordinat, Mengikuti Trayektori

MODELLING AND SIMULATION OF MOBILE CAR ROBOT

ABSTRACT

Harry Wijaya / 0522073

Department of Electrical Engineering, Maranatha Christian University
Prof. Drg. Suria Sumantri, M.P.H. 65 Street, Bandung 40164, Indonesia

E-mail: h_12ry@yahoo.com

Determination of robot parameters are needed in robot designing. The parameters are include: (1) mass of robot; (2) voltage, resistance, and inductance of motor; (3) gear ratio; (4) torque constant; (5) radius of wheel; and (6) length of car robot. Therefore, simulation is conducted to determine the parameters.

In this research, the mathematical model used is combination of model from Randal W. Beard (2002) and some kinematic and dynamic formula. On/off controller is used to reach set point. In this simulation, mobile car robot is tested in: (1) move from coordinate to other coordinate, with or without noise; (2) move through particular trajectory, with or without noise.

The conclusions are, when sampling time 0.01 s and motor voltage 5 V, error is about 0.1%-0.5%. When sampling time 0.1 s and motor voltage 8 V, error is about 0.8%-10%. Time duration to reach the set point in 5 V-supplied motor is greater than 8 V-supplied motor. Optimal result in simulation is when sampling time 0.01 s and motor voltage 8 V with error is about 0.17%-1.4%.

Keyword : Mobile Car Robot Model, On/Off Controller, Point to Point, Through Particular Trajectory

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GRAFIK	xi
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang Masalah.....	1
I.2 Identifikasi Masalah.....	1
I.3 Perumusan Masalah.....	2
I.4 Tujuan Penelitian.....	2
I.5 Batasan Masalah.....	2
I.6 Sistematika Pembahasan.....	3
BAB II LANDASAN TEORI	
II.1 Motor DC.....	4
II.1.1 Cara Kerja Motor DC.....	6
II.1.1.1 Definisi torsi	8
II.1.1.2 Momen kutub inertia	8
II.1.2 Hasil Penurunan Rumus pada Motor DC	9
II.2 Dinamika Robot Mobil Beroda	13
II.3 Kinematika Robot Mobil Beroda	15
II.4 Persamaan Gerak	16
II.5 <i>Feedback Linearization</i>	18
II.6 Sistem Kendali.....	19

II.7 Pengendali 'On/Off'	21
--------------------------------	----

BAB III PERANCANGAN SISTEM ROBOT MOBIL BERODA

III.1 Pembuatan <i>Plant</i>	24
III.1.1 Asumsi	25
III.1.2 Penurunan Rumus.....	25
III.1.2 1 Motor DC	26
III.1.2 2 Dinamika Robot Mobil Beroda	34
III.1.2 3 Kinematika Robot Mobil Beroda.....	37
III.2 Konsep Pengendali.....	40
III.3 Perancangan Simulasi.....	46
III.3.1 Robot Mobil Beroda Akan Bergerak dari koordinat ke koordinat Lain Tanpa Gangguan	47
III.3.2 Robot Mobil Beroda Akan Bergerak dari koordinat ke koordinat Lain dengan Gangguan	50
III.3.3 Robot Mobil Beroda Akan Bergerak Melalui Tiga koordinat yang Berbeda	56
III.3.4 Robot Mobil Beroda Akan Bergerak Mengikuti Trayektori yang Memiliki Persamaan	61
III.3.5 Robot Mobil Beroda Akan Bergerak Mengikuti Trayektori yang Memiliki Persamaan dengan Gangguan	65

BAB IV DATA PENGAMATAN DAN ANALISIS

IV.1 Simulasi Pergerakan Robot Mobil Beroda dari koordinat ke koordinat	70
IV.1.1 Simulasi Pergerakan Robot Mobil Beroda dari koordinat ke koordinat Tanpa Gangguan	71
IV.1.1.1 Simulasi Pergerakan Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan dengan Mengubah Parameter Perbandingan <i>Gear</i> 50:1 dan 12.5:1.....	84

IV.1.1.2 Simulasi Pergerakan Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan dengan Mengubah Parameter Torsi Konstan 0.03 Nm/A dan 3 Nm/A.....	88
IV.1.1.3 Simulasi Pergerakan Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan dengan Mengubah Parameter Resistansi Motor 1000 Ω , Induktansi Motor 0.063 H dan Resistansi Motor 100000 Ω , Induktansi Motor 6.3 H	92
IV.1.1.4 Simulasi Pergerakan Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan dengan Mengubah Parameter Massa Robot = 1 kg dan 5 kg.....	96
IV.1.1.5 Simulasi Pergerakan Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan dengan Mengubah Parameter Setengah Lebar Badan Robot Mobil Beroda (b) 0.2 m, Jarak koordinat Pusat Robot ke Letak Sensor (L) 0.5 m dan b = 0.01 m, L = 0.05 m.....	100
IV.1.1.6 Simulasi Pergerakan Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan dengan Mengubah Parameter Jari-Jari Luar Roda 0.1 m dan 0.01 m....	104
IV.1.2 Simulasi Pergerakan Robot Mobil Beroda dari koordinat ke koordinat dengan Gangguan	108
IV.1.3 Simulasi Pergerakan Robot Mobil Beroda Melalui Tiga koordinat yang Berbeda.....	118
IV.2 Simulasi Pergerakan Robot Mobil Beroda Mengikuti Suatu Trayektori yang Memiliki Persamaan	127
IV.2.1 Simulasi Pergerakan Robot Mobil Beroda Mengikuti Trayektori yang Memiliki Persamaan Tanpa Gangguan	128
IV.2.2 Simulasi Pergerakan Robot Mobil Beroda Mengikuti Trayektori yang Memiliki Persamaan dengan Gangguan.....	136

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan.....146
V.2 Saran.....148

DAFTAR PUSTAKA..... 149

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel IV.1	Tabel Perbandingan Posisi Arah Akhir Robot Mobil Beroda dari koordinat ke koordinat Tanpa Gangguan.....	82
Tabel IV.2	Tabel Perbandingan Posisi koordinat Akhir Robot Mobil Beroda dari koordinat ke koordinat Tanpa Gangguan.....	83
Tabel IV.3	Tabel Perbandingan Waktu Belok, Waktu Percepatan, Waktu Kecepatan konstan, dan Kecepatan Konstan Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan dengan Mengubah Perbandingan <i>Gear</i> 50:1 dan 12.5:1.....	87
Tabel IV.4	Tabel Perbandingan Waktu Belok, Waktu Percepatan, Waktu Kecepatan konstan, dan Kecepatan Konstan Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan dengan Mengubah Torsi Konstan 0.03 Nm/A dan 3 Nm/A	91
Tabel IV.5	Tabel Perbandingan Waktu Belok, Waktu Percepatan, Waktu Kecepatan konstan, dan Kecepatan Konstan Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan dengan Mengubah Resistansi Motor 1000 Ω , Induktansi Motor 0.063H dan Resistansi Motor 100000 Ω , Induktansi Motor 6.3H.....	96
Tabel IV.6	Tabel Perbandingan Waktu Belok, Waktu Percepatan, Waktu Kecepatan konstan, dan Kecepatan Konstan Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan dengan Mengubah Massa Robot 1 kg dan Massa Robot 5 kg	99
Tabel IV.7	Tabel Perbandingan Waktu Belok, Waktu Percepatan, Waktu Kecepatan konstan, dan Kecepatan Konstan Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan dengan Mengubah $L = 0.5$ m, $b = 0.2$ m dan $L = 0.05$ m, $b = 0.01$ m.....	103
Tabel IV.8	Tabel Perbandingan Waktu Belok, Waktu Percepatan, Waktu Kecepatan konstan, dan Kecepatan Konstan Robot Mobil Beroda	

	dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan dengan Mengubah Jari-Jari Luar Roda 0.1 m dan 0.01 m... ..	108
Tabel IV.9	Tabel Perbandingan Koordinat Akhir Percobaan dari koordinat ke koordinat dengan Gangguan	118
Tabel IV.10	Tabel Perbandingan Koordinat Akhir Percobaan Melalui Tiga koordinat yang Berbeda	127
Tabel IV.11	Tabel Perbandingan Koordinat Akhir Mengikuti Trayektori Tanpa Gangguan	135
Tabel IV.12	Tabel Perbandingan Koordinat Akhir Mengikuti Trayektori dengan Gangguan	145

DAFTAR GRAFIK

Grafik IV.1	Grafik Tegangan Motor Kiri dan Kanan, Kecepatan, dan Jarak Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan dengan Waktu Sampling 0.01 s dan Tegangan Motor 5 V 72
Grafik IV.2	Grafik Sudut yang dibentuk Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,3) Tanpa Gangguan dengan Waktu Sampling 0.01 s dan Tegangan 5 V 73
Grafik IV.3	Grafik-grafik untuk menghasilkan Posisi Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan dengan Waktu Sampling 0.01 s dan Tegangan 5 V 74
Grafik IV.4	Grafik Tegangan Motor Kiri dan Kanan, Kecepatan, dan Jarak Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan dengan Waktu Sampling 0.01 s dan Tegangan 8 V ... 75
Grafik IV.5	Grafik Sudut yang dibentuk Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,3) Tanpa Gangguan dengan Waktu Sampling 0.01 s dan Tegangan 8 V 76
Grafik IV.6	Grafik-grafik untuk menghasilkan Posisi Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan dengan Waktu Sampling 0.01 s dan Tegangan 8 V 76
Grafik IV.7	Grafik Tegangan Motor Kiri dan Kanan, Kecepatan, dan Jarak Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan dengan Waktu Sampling 0.1 s dan Tegangan 5 V 77
Grafik IV.8	Grafik Sudut yang dibentuk Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,3) Tanpa Gangguan dengan Waktu Sampling 0.1 s dan Tegangan 5 V 78
Grafik IV.9	Grafik-grafik untuk menghasilkan Posisi Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan dengan Waktu Sampling 0.1 s dan Tegangan 5 V 79

Grafik IV.10	Grafik Tegangan Motor Kiri dan Kanan, Kecepatan, dan Jarak Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan dengan Waktu Sampling 0.1 s dan Tegangan 8 V	80
Grafik IV.11	Grafik Sudut yang dibentuk Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,3) Tanpa Gangguan dengan Waktu Sampling 0.1 s dan Tegangan 8 V	80
Grafik IV.12	Grafik-grafik untuk menghasilkan Posisi Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan dengan Waktu Sampling 0.1 s dan Tegangan 8 V	81
Grafik IV.13	Grafik Tegangan Motor Kiri dan Kanan, Kecepatan, dan Jarak Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan dengan Perbandingan <i>Gear</i> 50:1.....	84
Grafik IV.14	Grafik-grafik untuk menghasilkan Posisi Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan dengan Perbandingan <i>Gear</i> 50:1.....	85
Grafik IV.15	Grafik Tegangan Motor Kiri dan Kanan, Kecepatan, dan Jarak Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan dengan Perbandingan <i>Gear</i> 12.5:1.....	86
Grafik IV.16	Grafik-grafik untuk menghasilkan Posisi Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan dengan Perbandingan <i>Gear</i> 12.5:1.....	87
Grafik IV.17	Grafik Tegangan Motor Kiri dan Kanan, Kecepatan, dan Jarak Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan dengan Torsi Konstan 0.03 Nm/A	89
Grafik IV.18	Grafik-grafik untuk menghasilkan Posisi Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan dengan Torsi Konstan 0.03 Nm/A	89
Grafik IV.19	Grafik Tegangan Motor Kiri dan Kanan, Kecepatan, dan Jarak Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan dengan Torsi Konstan 3 Nm/A	90

Grafik IV.20	Grafik-grafik untuk menghasilkan Posisi Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan dengan Torsi Konstan 3 Nm/A	91
Grafik IV.21	Grafik Tegangan Motor Kiri dan Kanan, Kecepatan, dan Jarak Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan dengan Resistansi Motor 1000 Ω dan Induktansi Motor 0.063 H.....	93
Grafik IV.22	Grafik-grafik untuk menghasilkan Posisi Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan dengan Resistansi Motor 1000 Ω dan Induktansi Motor 0.063H	93
Grafik IV.23	Grafik Tegangan Motor Kiri dan Kanan, Kecepatan, dan Jarak Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan dengan Resistansi Motor 100000 Ω dan Induktansi Motor 6.3 H.....	94
Grafik IV.24	Grafik-grafik untuk menghasilkan Posisi Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan dengan Resistansi Motor 100000 Ω dan Induktansi Motor 6.3H	95
Grafik IV.25	Grafik Tegangan Motor Kiri dan Kanan, Kecepatan, dan Jarak Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan dengan Massa Robot 1 kg	97
Grafik IV.26	Grafik-grafik untuk menghasilkan Posisi Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan dengan Massa Robot 1 kg	97
Grafik IV.27	Grafik Tegangan Motor Kiri dan Kanan, Kecepatan, dan Jarak Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan dengan Massa Robot 5 kg	98
Grafik IV.28	Grafik-grafik untuk menghasilkan Posisi Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan dengan Massa Robot 5 kg	99

Grafik IV.29	Grafik Tegangan Motor Kiri dan Kanan, Kecepatan, dan Jarak Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan dengan $L = 0.5$ m dan $b = 0.2$ m	101
Grafik IV.30	Grafik-grafik untuk menghasilkan Posisi Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan dengan $L = 0.5$ m dan $b = 0.2$ m	101
Grafik IV.31	Grafik Tegangan Motor Kiri dan Kanan, Kecepatan, dan Jarak Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan dengan $L = 0.05$ m dan $b = 0.01$ m	102
Grafik IV.32	Grafik-grafik untuk menghasilkan Posisi Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan dengan $L = 0.15$ m dan $b = 0.01$ m	103
Grafik IV.33	Grafik Tegangan Motor Kiri dan Kanan, Kecepatan, dan Jarak Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan dengan Jari-Jari Luar Roda 0.1 m	105
Grafik IV.34	Grafik-grafik untuk menghasilkan Posisi Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan dengan Jari-Jari Luar Roda 0.1 m	105
Grafik IV.35	Grafik Tegangan Motor Kiri dan Kanan, Kecepatan, dan Jarak Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan dengan Jari-Jari Luar Roda 0.01 m	106
Grafik IV.36	Grafik-grafik untuk menghasilkan Posisi Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan dengan Jari-Jari Luar Roda 0.01 m	107
Grafik IV.37	Grafik Tegangan Motor Kiri dan Kanan, Kecepatan, dan Jarak Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,4) ke koordinat (5,8) dengan Gangguan pada koordinat (4.6,4.8) sudut 260.12° , Waktu Sampling 0.01 s dan Tegangan 5 V	110
Grafik IV.38	Grafik-grafik untuk menghasilkan Posisi Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,4) ke koordinat (5,8) dengan Gangguan pada	

	koordinat (4.6,4.8) sudut 260.12° , Waktu Sampling 0.01 s dan Tegangan 5 V	111
Grafik IV.39	Grafik Tegangan Motor Kiri dan Kanan, Kecepatan, dan Jarak Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,4) ke koordinat (5,8) dengan Gangguan pada koordinat (1.3,0.8) sudut 122.04° , Waktu Sampling 0.01 s dan Tegangan 8 V	112
Grafik IV.40	Grafik-grafik untuk menghasilkan Posisi Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,4) ke koordinat (5,8) dengan Gangguan pada koordinat (1.3,0.8) sudut 122.04° , Waktu Sampling 0.01s dan Tegangan 8 V	113
Grafik IV.41	Grafik Tegangan Motor Kiri dan Kanan, Kecepatan, dan Jarak Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,4) ke koordinat (5,8) dengan Gangguan pada koordinat (1.2,6.8) sudut 355.81° , Waktu Sampling 0.1 s dan Tegangan 5V	114
Grafik IV.42	Grafik-grafik untuk menghasilkan Posisi Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,4) ke koordinat (5,8) dengan Gangguan pada koordinat (1.2,6.8) sudut 355.81° .Waktu Sampling 0.1 s dan Tegangan 5 V	115
Grafik IV.43	Grafik Tegangan Motor Kiri dan Kanan, Kecepatan, dan Jarak Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,4) ke koordinat (5,8) dengan Gangguan pada koordinat (0.5,0.2) sudut 197.10° , Waktu Sampling 0.1 s dan Tegangan 8 V	116
Grafik IV.44	Grafik-grafik untuk menghasilkan Posisi Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,4) ke koordinat (5,8) dengan Gangguan pada koordinat (0.5,0.2) sudut 197.10° , Waktu Sampling 0.1 s dan Tegangan 8 V	117
Grafik IV.45	Grafik Tegangan Motor Kiri dan Kanan, Kecepatan, dan Jarak Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,2) ke koordinat (4,5) lalu ke koordinat (3,6) dengan Waktu Sampling 0.01 s dan Tegangan 5 V	120

Grafik IV.46	Grafik-grafik untuk menghasilkan Posisi Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,2) ke koordinat (4,5) lalu ke koordinat (3,6) dengan Waktu Sampling 0.01 s dan Tegangan 5V	120
Grafik IV.47	Grafik Tegangan Motor Kiri dan Kanan, Kecepatan, dan Jarak Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,2) ke koordinat (4,5) lalu ke koordinat (3,6) dengan Waktu Sampling 0.01 s dan Tegangan 8 V	121
Grafik IV.48	Grafik-grafik untuk menghasilkan Posisi Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,2) ke koordinat (4,5) lalu ke koordinat (3,6) dengan Waktu Sampling 0.01 s dan Tegangan 8 V	122
Grafik IV.49	Grafik Tegangan Motor Kiri dan Kanan, Kecepatan, dan Jarak Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,2) ke koordinat (4,5) lalu ke koordinat (3,6) dengan Waktu Sampling 0.1 s dan Tegangan 5V ..	123
Grafik IV.50	Grafik-grafik untuk menghasilkan Posisi Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,2) ke koordinat (4,5) lalu ke koordinat (3,6) dengan Waktu Sampling 0.1 s dan Tegangan 5 V	124
Grafik IV.51	Grafik Tegangan Motor Kiri dan Kanan, Kecepatan, dan Jarak Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,2) ke koordinat (4,5) lalu ke koordinat (3,6) dengan Waktu Sampling 0.1 s dan Tegangan 8V.....	125
Grafik IV.52	Grafik-grafik untuk menghasilkan Posisi Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,2) ke koordinat (4,5) lalu ke koordinat (3,6) dengan Waktu Sampling 0.1 s dan Tegangan 8 V	126
Grafik IV.53	Grafik Tegangan Motor Kiri dan Kanan Robot Mobil Beroda dari koordinat (1,1) ke koordinat (2,4) dengan pangkat persamaan trayektori $Y=X^n$ adalah dua ($n=2$), Tegangan 5.5 V, Sampling X 0.1 m, dan Waktu Sampling 0.1 s.....	129
Grafik IV.54	Grafik Posisi Robot Mobil Beroda mengikuti Trayektori dengan pangkat persamaan trayektori $Y=X^n$ adalah dua ($n=2$), Tegangan 5.5 V, Sampling X 0.1 m, dan Waktu Sampling 0.1 s	130

Grafik IV.55	Grafik Tegangan Motor Kiri dan Kanan Robot Mobil Beroda dari koordinat (1,1) ke koordinat (2,4) dengan pangkat persamaan trayektori $Y=X^n$ adalah dua ($n=2$), Tegangan 5.5 V, Sampling X 0.01 m, dan Waktu Sampling 0.1 s.....	131
Grafik IV.56	Grafik Posisi Robot Mobil Beroda mengikuti Trayektori dengan pangkat persamaan trayektori $Y=X^n$ adalah dua ($n=2$), Tegangan 5.5 V, Sampling X 0.01 m, dan Waktu Sampling 0.1 s	131
Grafik IV.57	Grafik Tegangan Motor Kiri dan Kanan Robot Mobil Beroda dari koordinat (1,1) ke koordinat (2,4) dengan pangkat persamaan trayektori $Y=X^n$ adalah dua ($n=2$), Tegangan 5.5 V, Sampling X 0.1 m, dan Waktu Sampling 0.01 s.....	132
Grafik IV.58	Grafik Posisi Robot Mobil Beroda mengikuti Trayektori dengan pangkat persamaan trayektori $Y=X^n$ adalah dua ($n=2$), Tegangan 5.5 V, Sampling X 0.1 m, dan Waktu Sampling 0.01 s	133
Grafik IV.59	Grafik Tegangan Motor Kiri dan Kanan Robot Mobil Beroda dari koordinat (1,1) ke koordinat (2,4) dengan pangkat persamaan trayektori $Y=X^n$ adalah dua ($n=2$), Tegangan 5.5 V, Waktu Sampling 0.01 s, Sampling X 0.01 m, dan Tegangan=5.5V.....	134
Grafik IV.60	Grafik Posisi Robot Mobil Beroda mengikuti Trayektori dengan pangkat persamaan trayektori $Y=X^n$ adalah dua ($n=2$), Tegangan 5.5 V, Sampling X 0.01 m, dan Waktu Sampling 0.01 s	135
Grafik IV.61	Grafik Tegangan Motor Kiri dan Kanan Robot Mobil Beroda mengikuti Trayektori dari koordinat (1,1) ke koordinat (2,4) dengan Gangguan pada koordinat (2.78,3.2) sudut 303.67° , persamaan trayektori $Y=X^n$, $n=2$, Tegangan 5.5 V, Sampling X 0.1 m, dan Waktu Sampling 0.1 s.....	137
Grafik IV.62	Grafik Posisi Robot Mobil Beroda mengikuti Trayektori dengan Gangguan dari koordinat (1,1) ke koordinat (2,4), persamaan trayektori $Y=X^n$, $n=2$, Tegangan 5.5 V, Sampling X 0.1 m, Waktu Sampling 0.1 s, arah gangguan pada sudut 303.67° , dan koordinat gangguan pada koordinat (2.78,3.2).....	138

Grafik IV.63	Grafik Tegangan Motor Kiri dan Kanan Robot Mobil Beroda mengikuti Trayektori dari koordinat (1,1) ke koordinat (2,4) dengan Gangguan pada koordinat (3.3,2.8) sudut 311.12° , persamaan trayektori $Y=X^n$, $n=2$, Tegangan 5.5 V, Sampling X 0.01 m, dan Waktu Sampling 0.1 s.....	139
Grafik IV.64	Grafik Posisi Robot Mobil Beroda mengikuti Trayektori dengan Gangguan dari koordinat (1,1) ke koordinat (2,4), persamaan trayektori $Y=X^n$, $n=2$, Tegangan 5.5 V, Sampling X 0.01 m, Waktu Sampling 0.1 s, arah gangguan pada sudut 311.12° , dan koordinat gangguan pada koordinat (3.3,2.8).....	140
Grafik IV.65	Grafik Tegangan Motor Kiri dan Kanan Robot Mobil Beroda mengikuti Trayektori dari koordinat (1,1) ke koordinat (2,4) dengan Gangguan pada koordinat (6.5,1.1) sudut 28.65° , persamaan trayektori $Y=X^n$, $n=2$, Tegangan 5.5 V, Sampling X 0.1 m, dan Waktu Sampling 0.01 s.....	141
Grafik IV.66	Grafik Posisi Robot Mobil Beroda mengikuti Trayektori dengan Gangguan dari koordinat (1,1) ke koordinat (2,4), persamaan trayektori $Y=X^n$, $n=2$, Tegangan 5.5 V, Sampling X 0.1 m, Waktu Sampling 0.01 s, arah gangguan pada sudut 28.65° , dan koordinat gangguan pada koordinat (6.5,1.1).....	142
Grafik IV.67	Grafik Tegangan Motor Kiri dan Kanan Robot Mobil Beroda mengikuti Trayektori dari koordinat (1,1) ke koordinat (2,4) dengan Gangguan pada koordinat (1.18,5.44) sudut 217.72° , persamaan trayektori $Y=X^n$, $n=2$, Tegangan 5.5 V, Sampling X 0.01 m, dan Waktu Sampling 0.01 s.....	143
Grafik IV.68	Grafik Posisi Robot Mobil Beroda mengikuti Trayektori dengan Gangguan dari koordinat (1,1) ke koordinat (2,4), persamaan trayektori $Y=X^n$, $n=2$, Tegangan 5.5 V, Sampling X 0.01 m, Waktu Sampling 0.01 s, arah gangguan pada sudut 217.72° , dan koordinat gangguan pada koordinat (1.18,5.44).....	144

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1	Motor DC	4
Gambar II.2	Mekanisme Kerja Motor DC	6
Gambar II.3	Arah Gerak Rotasi Motor DC	7
Gambar II.4	Arah Torsi dan Gaya	8
Gambar II.5	Total Momen Inersia	8
Gambar II.6	Model Sederhana Untuk Motor DC	10
Gambar II.7	Standar Pemasangan Roda Untuk Robot Mobil Beroda	13
Gambar II.8	Model Gaya Robot Mobil Beroda.....	14
Gambar II.9	Koordinat Inertia untuk Robot Mobil Beroda	15
Gambar II.10	Koordinat Persamaan Gerak Robot Mobil Beroda	16
Gambar II.11	Skematik untuk <i>Feedback Linearization</i>	19
Gambar II.12	Diagram blok sistem kendali <i>loop</i> terbuka	19
Gambar II.13	Diagram blok sistem kendali <i>loop</i> tertutup	20
Gambar II.14	Pengendali ' <i>On/Off</i> '	21
Gambar III.1	<i>Plant</i> Robot Mobil Beroda.....	23
Gambar III.2	Diagram Blok Sistem Robot Mobil Beroda.....	24
Gambar III.3	Rangkaian Pada Motor DC	26
Gambar III.4	Rangkaian Motor DC dan <i>Off</i> pada waktu $t=t_0$	28
Gambar III.5	Gambar Perbandingan Jari-Jari <i>Gear</i>	30
Gambar III.6	Skema Standar Pemasangan Roda Robot Mobil Beroda	32
Gambar III.7	Skema Robot Mobil Beroda	35
Gambar III.8	Hubungan Jarak, Sudut, dan Kecepatan	38
Gambar III.9	Letak Sensor Posisi pada Robot Mobil Beroda	39
Gambar III.10	Konsep Pengendali	40
Gambar III.11	Skema Pengendalian kecepatan	41
Gambar III.12	Perbandingan Jari-jari <i>Gear</i> dengan Jari-Jari Roda	42
Gambar III.13	Diagram Alir Robot Mobil Beroda dari koordinat ke koordinat Lain.....	47

Gambar III.14	Posisi Awal Robot Mobil Beroda dari koordinat ke koordinat Tanpa Gangguan	48
Gambar III.15	Posisi Robot Mobil Beroda dari koordinat ke koordinat Tanpa Gangguan Setelah Berputar	49
Gambar III.16	Posisi Robot Mobil Beroda dari koordinat ke koordinat Tanpa Gangguan Mencapai koordinat Tujuan	50
Gambar III.17(a)	Diagram Alir Robot Mobil Beroda dari koordinat ke koordinat dengan Gangguan.....	51
Gambar III.17(b)	Diagram Alir Robot Mobil Beroda dari koordinat ke koordinat dengan Gangguan.....	52
Gambar III.18	Posisi Robot Mobil Beroda dari koordinat ke koordinat dengan Gangguan Menuju Arah koordinat Tujuan dan Belum Terganggu	53
Gambar III.19	Gambar Robot Mobil Beroda dari koordinat ke koordinat dengan Gangguan Sesaat Sebelum Terganggu Menuju koordinat Akhir.....	54
Gambar III.20	Gambar Robot Mobil Beroda dari koordinat ke koordinat dengan Gangguan Saat Terganggu.....	54
Gambar III.21	Gambar Robot Mobil Beroda dari koordinat ke koordinat dengan Gangguan setelah Terganggu akan Berputar Menuju Arah koordinat Tujuan	55
Gambar III.22	Gambar Robot Mobil Beroda dari koordinat ke koordinat dengan Gangguan Sampai di koordinat Tujuan Setelah diberi Gangguan.....	56
Gambar III.23(a)	Diagram Alir Robot Mobil Beroda Melalui Tiga koordinat yang Berbeda.....	57
Gambar III.23(b)	Diagram Alir Robot Mobil Beroda Melalui Tiga koordinat yang Berbeda.....	58
Gambar III.24	Robot Mobil Beroda Melalui Tiga koordinat yang Berbeda Menuju Arah koordinat Tujuan yang Pertama.....	59

Gambar III.25	Robot Mobil Beroda Melalui Tiga koordinat yang Berbeda Menuju Posisi koordinat Tujuan yang Pertama	59
Gambar III.26	Robot Mobil Beroda Melalui Tiga koordinat yang Berbeda Menuju Arah koordinat Tujuan yang Kedua	60
Gambar III.27	Robot Mobil Beroda Melalui Tiga koordinat yang Berbeda Menuju Posisi koordinat Tujuan yang Kedua.....	60
Gambar III.28(a)	Diagram Alir Robot Mobil Beroda Mengikuti Trayektori yang Memiliki Persamaan.....	61
Gambar III.28(b)	Diagram Alir Robot Mobil Beroda Mengikuti Trayektori yang Memiliki Persamaan.....	62
Gambar III.29	Posisi awal Robot Mobil Beroda mengikuti Trayektori.....	63
Gambar III.30	Robot Mobil Beroda mengikuti Trayektori Menuju koordinat Pertama Trayektori.....	63
Gambar III.31	Robot Mobil Beroda mengikuti Trayektori Menuju koordinat Pertama pada Trayektori.....	64
Gambar III.32	Robot Mobil Beroda mengikuti Trayektori Akan Berputar Menuju Arah koordinat Tujuan Selanjutnya Trayektori	64
Gambar III.33	Robot Mobil Beroda Akan Bergerak Mengikuti Trayektori yang Memiliki Persamaan.....	65
Gambar III.34(a)	Diagram Alir Robot Mobil Beroda Mengikuti Trayektori yang Memiliki Persamaan dengan Gangguan	66
Gambar III.34(b)	Diagram Alir Robot Mobil Beroda Mengikuti Trayektori yang Memiliki Persamaan dengan Gangguan.....	67
Gambar III.35	Posisi dan Arah Robot Mobil Beroda yang Terganggu Saat Menyusuri Trayektori.....	68
Gambar III.36	Robot Mobil Beroda Mengikuti Trayektori dengan Gangguan Berputar Menuju koordinat Akhir Trayektori	68
Gambar III.37	Robot Mobil Beroda Mengikuti Trayektori dengan Gangguan Akan Bergerak Menuju Posisi Akhir Trayektori	69
Gambar IV.1	Gambar Pergerakan Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,3) ke koordinat (4,8) Tanpa Gangguan	71

Gambar IV.2	Gambar Pergerakan Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,4) ke koordinat (5,8) dengan Gangguan pada arah 260.12° dan koordinat (4.6,4.8).....	109
Gambar IV.3	Gambar Pergerakan Robot Mobil Beroda dari koordinat (2,2) ke koordinat (4,5) kemudian ke koordinat (3,6) Tanpa Gangguan....	118
Gambar IV.4	Gambar Pergerakan Robot Mobil Beroda mengikuti Trayektori dengan persamaan $Y=X^n$ Tanpa Gangguan dari koordinat (1,1) ke koordinat (2,4) dan $n=2$	128
Gambar IV.5	Gambar Pergerakan Robot Mobil Beroda mengikuti Trayektori dengan Gangguan dari koordinat (1,1) ke koordinat (2,4), persamaan trayektori $Y=X^n$, $n=2$, dan arah gangguan pada sudut 303.67°	136

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	Program Simulasi Pergerakan Robot Mobil Beroda dari Koordinat ke Koordinat Lain Tanpa Gangguan.....	A-1
Lampiran B	Program Simulasi Pergerakan Robot Mobil Beroda dari Koordinat ke Koordinat Lain dengan Gangguan	B-1
Lampiran C	Program Simulasi Pergerakan Robot Mobil Beroda Melalui Tiga Koordinat Lain	C-1
Lampiran D	Program Simulasi Pergerakan Robot Mobil Beroda Melalui Trayektori Tanpa Gangguan	D-1
Lampiran E	Program Simulasi Pergerakan Robot Mobil Beroda Melalui Trayektori dengan Gangguan.....	E-1