

IMPLEMENTASI PENGONTROL PID PADA ROBOT PENGIKUT GARIS

Disusun oleh :

Name : Topan Setyawan

NRP : 0622083

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha,
Jln. Prof. Drg. Suria Sumantri, MPH no. 65, Bandung 40164, Indonesia,
email: detovanytopan@yahoo.co.id

ABSTRAK

Kemajuan teknologi telah meningkatkan kualitas hidup manusia. Salah satu hasilnya adalah robot. Keberadaan robot telah banyak membantu manusia untuk meringankan pekerjaan. Salah satu bentuk robot yang paling populer adalah robot beroda.

Dalam Tugas Akhir ini telah dirancang dan direalisasikan pengontrol PID pada robot pengikut garis agar pergerakan robot tidak terputah – putah saat melewati lintasan. Lintasan yang dilalui adalah garis hitam di atas bidang berwarna putih. Robot pengikut garis ini dikontrol dengan menggunakan pengontrol mikro ATMEGA 16. Selain itu digunakan tujuh buah sensor garis yang terdiri dari led inframerah dan fotodiode inframerah. Dari 7 buah sensor garis tersebut, 5 sensor digunakan untuk mendeteksi lintasan lurus, putus – putus dan bergelombang, sedangkan 2 sensor yang berada di ujung kiri dan kanan digunakan untuk mendeteksi lintasan bersudut.

Algoritma yang digunakan yaitu 5 sensor garis yang berada di tengah, terlebih dahulu dilakukan pemetaan. Tujuan dari pemetaan agar hasil bacaan dari sensor garis berupa sebuah angka. Dari hasil pemetaan tersebut didapat nilai *error*. Nilai *error* ini akan digunakan untuk menentukan nilai PWM pada motor dc. Nilai PWM ini akan menyebabkan perubahan trayektori pergerakan robot sehingga pergerakan robot tidak terputah – putah saat melewati lintasan.

Setelah melalui *tuning* parameter PID melalui metode *trial and error* didapat nilai konstanta $K_p = 3/2$, $K_i = 1/1000$, dan $K_d = 3/2$. Dari hasil pengujian yang dilakukan, robot dapat mengikuti lintasan dengan presentase keberhasilan 100 %. Robot dapat melintasi garis lurus dengan rata – rata kelajuan 39,4842 cm/s, garis lurus putus- putus dengan celah 5 cm, 10 cm, dan 20 cm dengan rata – rata kelajuan 32,0725 cm/s, garis melingkar bergelombang dengan diameter lingkaran 35 cm, 40 cm dan 50 cm dengan rata – rata kelajuan 29,3617 cm/s, garis yang membentuk sudut 60°, 90°, 120°, dan 145° dengan rata – rata kelajuan 18,5642 cm/s. Ketika melewati lintasan bersudut 60°, robot sedikit mengalami *overshoot*.

Kata kunci: Pengikut garis, PID, ATMEGA 16, *trial and error*, led inframerah, fotodiode inframerah.

IMPLEMENTATION OF PID CONTROL ON ROBOT LINE FOLLOWER

Author :

Name : Topan Setyawan

NRP : 0622083

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Maranatha

Christian University,

Jln. Prof. Drg. Suria Sumantri, MPH no. 65, Bandung 40164, Indonesia,

email: detovanytopan@yahoo.co.id

ABSTRACT

Advances in technology have increased the quality of human life. One result is a robot. The existence of robots has helped many people to ease the job. One of the most popular form of the robot is a wheeled robot.

In this final project has been designed and realized on the PID controller robots line follower robot in order not movement - broke through the trajectory. The path traversed by a black line above the white fields. Line follower robot is controlled by using micro controller ATMEGA 16. Also used are seven-line sensor consisting of an infrared LED and infrared photodiode. Of the seven of the line sensors, 5 sensors used to detect the straight path, break and wavy, while the two sensors located at the far left and right are used to detect the trajectory angle.

The algorithm used is the five sensors in the middle line, the mapping first. The purpose of the mapping that result from sensor readings in the form of a digit line. From the mapping result obtained error value. This error value will be used to determine the value of PWM dc motor. PWM value will cause the robot movement trajectory of change so that the robot does not movement broke through the trajectory.

After going through the tuning of PID parameters through trial and error method to get a constant value of $K_p = 3 / 2$, $K_i = 1 / 1000$, and $K_d = 3 / 2$. From the results of tests conducted, the robot can follow the path with the percentage of success 100%. Robot can traverse a straight line - average rate of 39.4842 cm/s, the dashed straight line with a gap of 5 cm, 10 cm and 20 cm - average rate of 32.0725 cm/s, a circular line with diameter corrugated circle of 35 cm, 40 cm and 50 cm - average rate of 29.3617 cm/s, a line that forms an angle 60°, 90°, 120°, and 145° with - average rate of 18.5642 cm/s. When passed the trajectory angle of 60°, the robot slightly overshoot.

Keywords: Follower of the line, PID, ATMEGA 16, trial and error, infrared LED, photodiode infrared.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang selalu setia dalam segala hal, atas segala rahmat dan karunia-Nya yang tidak terhingga sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik dan tepat waktu. Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Implementasi Pengontrol PID pada Robot Pengikut Garis ” ini disusun untuk memenuhi persyaratan program studi sarjana Strata Satu (S1) Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Kristen Maranatha Bandung. Selama pelaksanaan Tugas Akhir ini, penulis telah mendapat banyak bimbingan, dorongan, bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada beberapa pihak yang telah membantu dan mendukung dalam pelaksanaan Tugas Akhir :

1. Muliady, ST., MT, selaku pembimbing Tugas Akhir yang telah menyumbangkan pengetahuan, memberikan masukan, kritik serta saran - saran, sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya.
2. Dr. Erwani Merry Sartika, ST., MT., Heri Andrianto, ST., MT., dan Ir. Yohana Susanthi, ST., MT, selaku para penguji yang telah memberikan saran, kritik dan ide untuk pengembangan selama Seminar dan Sidang Tugas Akhir.
3. Dr. Ir. Daniel Setiadikarunia, MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Kristen Maranatha.
4. Ir. Anita Soepartono, M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Universitas Kristen Maranatha.
5. Suwito (Ayah), Nurdiyati (Ibu), Fredi dan Deki (Kakak), Janu dan Tika (Adik) sebagai keluarga yang telah banyak memberikan dukungan baik secara moral maupun materi dan juga dukungan doa yang tiada henti.
6. Staf Pengajar di Jurusan Teknik Elektro Universitas Kristen Maranatha yang telah membekali penulis dengan pengetahuan yang sangat berguna.
7. Staf Tata Usaha di Jurusan Teknik Elektro Universitas Kristen Maranatha yang secara tidak langsung membantu pelaksanaan Tugas Akhir.

8. Sufendi, ST, Albert Ardiyanto ST, Andre Susanto ST, Antonius Agustriandi, ST, Yohanes Budi, Irwing, Kris, Earline, Rikian, Mulyawan, dan teman – teman angkatan 2006 sebagai teman seperjuangan dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
9. Rekan-rekan di Laboratorium Robotika dan Mekatronika yang selalu memberikan bantuan dan dorongan semangat untuk penulis.
10. Semua rekan yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa masih terdapat banyak kekurangan dan kesalahan dalam penyusunan laporan ini. Oleh sebab itu penulis bersedia menerima kritik, saran dan masukan yang membangun untuk menyempurnakan Laporan Tugas Akhir ini dengan hati terbuka.

Akhir kata penulis berharap agar Laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat yang membangun bagi semua pihak yang membutuhkan, khususnya mahasiswa/i Jurusan Teknik Elektro Universitas Kristen Maranatha.

Bandung, Juli 2010

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Identifikasi Masalah	1
I.3 Tujuan	1
I.4 Pembatasan Masalah	2
I.5 Spesifikasi Alat yang Digunakan	2
I.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II LANDASAN TEORI	
II.1 Definisi Robot.....	4
II.1.1 Klasifikasi Robot Berdasarkan Tingkat Kemampuan Melakukan Tugas.....	4
II.1.2 Klasifikasi Robot Berdasarkan Mobilitas	5
II.1.4 Sistem Gerak <i>Mobile Robot</i> Beroda	6
II.1.3.1 <i>Differential Drive</i>	6
II.1.3.2 <i>Tricycle Drive</i>	7
II.1.3.3 <i>Synchronous Drive</i>	7
II.1.4.4 <i>Holonomic Drive</i>	8
II.1.5 Sistem Kontrol Robot	9
II.2 Pengontrol Mikro	11
II.2.1 Pengenalan ATMEL AVR RISC	11
II.2.2 Pengontrol Mikro ATmega16	12

II.2.3	Fitur ATmega16	12
II.2.4	Konfigurasi Pin Mikrokontroler ATmega16.....	13
II.2.5	Blok Diagram Arsitektur ATmega16	16
II.2.6	<i>General Purpose Register</i> ATmega16	17
II.2.7	Peta Memori ATmega16	18
II.2.8	Port I/O Mikrokontroler ATmega16	20
II.2.9	<i>Pulse Width Modulation</i> (PWM)	21
II.3	Sensor Garis	23
II.4	Teori Pengontrol PID	24
II.4.1	Pengontrol Proporsional	25
II.4.2	Pengontrol Integral	26
II.4.3	Pengontrol Diferensial	28
II.4.4	Pengontrol PID	30
II.4.4.1	Pengontrol PID untuk Pengontrol Mikro	31
II.4.4.2	Pemetaan Sensor	34
II.4.4.3	Penalaan Parameter Pengontrol PID	35
II.4.4.4	Pengaruh Sistem Terhadap Aksi Pengontrol PID	36
BAB III PERANCANGAN DAN REALISASI		
III.1	Perancangan Sistem Robot Pengikut Garis dengan Pengontrol PID	37
III.1.1	Diagram Blok Sistem Robot Pengikut Garis Menggunakan Pengontrol PID	37
III.2	Perancangan dan Realisasi Robot Pengikut Garis Menggunakan Pengontrol PID	38
III.3	Perancangan dan Realisasi Rangkaian Sensor dan Pengontrol.....	41
III.3.1	Sensor.....	41
III.3.1.1	Sensor Garis	41
III.3.2	Pengontrol.....	43
III.3.2.1	Skematik Motor <i>Driver</i> Pengontrol Motor DC.....	43

III.3.2.2 Skematik Pengontrol Berbasis Pengontrol Mikro ATmega16.....	44
III.4 Algoritma Pemograman Robot Pengikut Garis dengan Pengontrol PID	45
III.5 Penentuan Konstanta Pengontrol PID Melalui Metode <i>Trial and Error</i> pada Robot Pengikut Garis pada Jalur Melingkar Berdiameter 50 cm.....	50
III.5.1 <i>Tuning Parameter</i> PID dengan Nilai $K_p = 1$; $K_i = 0$; $K_d = 0$	51
III.5.2 <i>Tuning Parameter</i> PID dengan Nilai $K_p = 1,25$; $K_i = 0$; $K_d = 0$..	52
III.5.3 <i>Tuning Parameter</i> PID dengan Nilai $K_p = 1,5$; $K_i = 0$; $K_d = 0$...	52
III.5.4 <i>Tuning Parameter</i> PID dengan Nilai $K_p = 1,5$; $K_i = 0$; $K_d = 1$	54
III.5.5 <i>Tuning Parameter</i> PID dengan Nilai $K_p = 1,5$; $K_i = 0$; $K_d = 1,25$	54
III.5.6 <i>Tuning Parameter</i> PID dengan Nilai $K_p = 1,5$; $K_i = 0$; $K_d = 1,5$	55
III.5.7 <i>Tuning Parameter</i> PID dengan Nilai $K_p = 1,5$; $K_i = 1/500$; $K_d = 1,5$	56
III.5.8 <i>Tuning Parameter</i> dengan Nilai $K_p = 1,5$; $K_i = 1/800$; $K_d = 1,5$	57
III.5.9 <i>Tuning Parameter</i> dengan Nilai $K_p = 1,5$; $K_i = 1/1000$; $K_d = 1,5$	58
 BAB IV ANALISA DAN DATA PENGAMATAN	
IV.1 Pengujian Robot Pada Jalur Hitam	60
IV.1.1 Pengujian Robot Pada Jalur Hitam Lurus Berjarak 1 Meter	60
IV.1.2 Pengujian Robot Pada Jalur Hitam Putus – Putus Berjarak 1 meter.....	62
IV.1.2.1 Pengujian Robot Pada Jalur Hitam Putus – Putus dengan Dengan Celah 5 cm Berjarak 1 Meter.....	62

IV.1.2.2 Pengujian Robot Pada Jalur Hitam Putus – Putus dengan Dengan Celah 10 cm Berjarak 1 Meter.....	63
IV.1.2.3 Pengujian Robot Pada Jalur Hitam Putus – Putus dengan Dengan Celah 20 cm Berjarak 1 Meter.....	65
IV.1.3 Pengujian Robot pada Jalur Melingkar Berjarak 1 Meter.....	66
IV.1.3.1 Pengujian Robot pada Jalur Hitam Melingkar dengan Diameter Lingkaran 35 cm Berjarak 1 meter.....	66
IV.1.3.2 Pengujian Robot pada Jalur Hitam Melingkar dengan Diameter Lingkaran 40 cm Berjarak 1 meter.....	68
IV.1.3.3 Pengujian Robot pada Jalur Hitam Melingkar dengan Diameter Lingkaran 50 cm Berjarak 1 meter.....	69
IV.1.4 Pengujian Robot pada Jalur Hitam Membentuk Sudut Berjarak 1 Meter.....	70
IV.1.4.1 Pengujian Robot pada Jalur Hitam Membentuk Sudut 60° Berjarak 1 Meter.....	71
IV.1.4.2 Pengujian Robot pada Jalur Hitam Membentuk Sudut 90° Berjarak 1 Meter.....	72
IV.1.4.3 Pengujian Robot pada Jalur Hitam Membentuk Sudut 120° Berjarak 1 Meter.....	73
IV.1.4.4 Pengujian Robot pada Jalur Hitam Membentuk Sudut 145° Berjarak 1 Meter.....	74
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
V.1 Kesimpulan	76
V.2 Saran	77
 DAFTAR PUSTAKA	78
 LAMPIRAN A FOTO ROBOT & HARDWARE	
LAMPIRAN B LISTING PROGRAM ATmega16	
LAMPIRAN C FLOWCHART & DATASHEET	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Fungsi Khusus Port B	15
Tabel 2.2 Fungsi Khusus Port C	15
Tabel 2.3 Fungsi Khusus Port D	16
Tabel 2.4 Respon Loop Tertutup	36
Tabel 3.1 Tabel Pemetaan Sensor	42
Tabel 3.2 Tabel Kebenaran <i>Driver</i> Motor LMD 18200T	44
Tabel 3.3 <i>Tuning Parameter</i> PID dengan Nilai $K_p = 1$; $K_i = 0$; $K_d = 0$...	51
Tabel 3.4 <i>Tuning Parameter</i> PID dengan Nilai $K_p = 1,25$; $K_i = 0$; $K_d = 0$	52
Tabel 3.5 <i>Tuning Parameter</i> PID dengan Nilai $K_p = 1,5$; $K_i = 0$; $K_d = 0$	53
Tabel 3.6 <i>Tuning Parameter</i> PID dengan Nilai $K_p = 1,5$; $K_i = 0$; $K_d = 1$	54
Tabel 3.7 <i>Tuning Parameter</i> PID dengan Nilai $K_p = 1,5$; $K_i = 0$; $K_d = 1,25$	55
Tabel 3.8 <i>Tuning Parameter</i> PID dengan Nilai $K_p = 1,5$; $K_i = 0$; $K_d = 1,5$	55
Tabel 3.9 <i>Tuning Parameter</i> PID dengan Nilai $K_p = 1,5$; $K_i = 1/500$; $K_d = 1,5$	57
Tabel 3.10 <i>Tuning Parameter</i> PID dengan Nilai $K_p = 1,5$; $K_i = 1/800$; $K_d = 1,5$	57
Tabel 3.11 <i>Tuning Parameter</i> PID dengan Nilai $K_p = 1,5$; $K_i = 1/1000$; $K_d = 1,5$	58
Tabel 4.1 Pengujian Robot Pada Jalur Hitam Lurus Berjarak 1 Meter	62
Tabel 4.2 Pengujian Robot Pada Jalur Hitam Putus – Putus dengan Celah 5 cm berjarak 1 meter.....	62

Tabel 4.3	Pengujian Robot Pada Jalur Hitam Putus – Putus dengan Celah 10 cm berjarak 1 meter.....	63
Tabel 4.4	Pengujian Robot Pada Jalur Hitam Putus – Putus dengan Celah 20 cm berjarak 1 meter.....	65
Tabel 4.5	Pengujian Robot Pada Jalur Hitam Melingkar dengan Diameter lingkaran 35 cm Berjarak 1 meter.....	67
Tabel 4.6	Pengujian Robot Pada Jalur Hitam Melingkar dengan Diameter lingkaran 40 cm Berjarak 1 meter.....	68
Tabel 4.7	Pengujian Robot Pada Jalur Hitam Melingkar dengan Diameter lingkaran 50 cm Berjarak 1 meter.....	69
Tabel 4.8	Pengujian Robot Pada Jalur Hitam dengan Membentuk Sudut 60° Berjarak 1 Meter.....	71
Tabel 4.9	Pengujian Robot Pada Jalur Hitam dengan Membentuk Sudut 90° Berjarak 1 Meter.....	72
Tabel 4.10	Pengujian Robot Pada Jalur Hitam dengan Membentuk Sudut 120° Berjarak 1 Meter.....	74
Tabel 4.11	Pengujian Robot Pada Jalur Hitam dengan Membentuk Sudut 145° Berjarak 1 Meter.....	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mobile Robot	6
Gambar 2.2 Sistem Gerak <i>Differential Drive</i>	6
Gambar 2.3 Sistem Gerak <i>Trycle Drive</i>	7
Gambar 2.4 Sistem Gerak <i>Synchronous Drive</i>	8
Gambar 2.5 Penggunaan Roda <i>Omni - Directional</i>	8
Gambar 2.6 Sistem Gerak <i>Holonomic Drive</i>	9
Gambar 2.7 Kontrol Robot Loop Terbuka	9
Gambar 2.8 Kontrol Robot Loop Tertutup	10
Gambar 2.9 Konfigurasi Pin Atmega16	14
Gambar 2.10 Diagram Blok Arsitektur Atmega16	17
Gambar 2.11 <i>General Purpose Register</i> ATmega16	18
Gambar 2.12 Peta Memori Program Atmega16	19
Gambar 2.13 Peta Memori Data ATmega16.....	19
Gambar 2.14 Konfigurasi Masukan - Keluaran	20
Gambar 2.15 <i>Clear Timer On Compare Match</i>	21
Gambar 2.16 <i>Phase and Frequency Correct PWM</i>	22
Gambar 2.17 Sensor Pendeteksi Garis	23
Gambar 2.18 Fotodioda Inframerah	24
Gambar 2.19 Diagram Blok Pengontrol Proporsional	25
Gambar 2.20 Kurva Sinyal Kesalahan $e(t)$ terhadap t dan Kurva $u(t)$ Terhadap t pada Pembangkit Kesalahan Nol	27
Gambar 2.21 Diagram Blok Hubungan antara Besarnya Kesalahan Dengan Pengontrol Integral	27
Gambar 2.22 Diagram Blok Pengontrol Diferensial	28
Gambar 2.23 Kurva Waktu Hubungan <i>Input – Output</i> Pengontrol Diferensial	29
Gambar 2.24 Diagram Blok Pengontrol PID Analog	30
Gambar 2.25 Hubungan dalam Fungsi Waktu Antara Sinyal Keluaran Dengan masukan untuk Pengontrol PID	31

Gambar 2.26 Diagram Alir Algoritma PID	32
Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem Robot Pengikut Garis Menggunakan Pengontrol PID	37
Gambar 3.2 Dimensi Robot Pengikut Garis dengan Menggunakan Pengontrol PID	39
Gambar 3.3 Posisi Penempatan Sensor – Sensor pada Robot Pengikut Garis dengan Pengontrol PID	40
Gambar 3.4 Rangkaian Sensor Garis	41
Gambar 3.5 Konfigurasi Pin pada Driver Motor LMD 18200 dan Rangkaianannya	43
Gambar 3.6 Skematik Pengontrol Berbasis Pengontrol Mikro Atmega16.	45
Gambar 3.7 (a) Diagram Alir Secara Keseluruhan Pemrograman Robot Pengikut Garis Menggunakan Pengontrol PID	46
Gambar 3.7 (b) Diagram Alir Robot untuk Berputar ke Kanan	46
Gambar 3.7 (c) Diagram Alir Robot untuk Berputar ke Kiri	46
Gambar 3.8 Diagram Alir Untuk Membaca Nilai ADC	47
Gambar 3.9 Diagram Alir Pemetaan Sensor	48
Gambar 3.10 Diagram Alir Pemrograman Robot Pengikut Garis Menggunakan Pengontrol PID	49
Gambar 3.11 Jalur Melingkar Bergelombang dengan Diameter 50 cm	51
Gambar 3.12 Perbandingan 3 Pola Gerak Robot dengan Nilai $k_p = 1$; $k_i = 0$; $k_d = 0$; Nilai $k_p = 1,25$; $k_i = 0$; $k_d = 0$; Nilai $K_p = 1,5$; $k_i = 0$; $k_d = 0$	53
Gambar 3.13 Perbandingan 3 Pola Gerak Robot dengan Nilai $k_p = 1,5$; $k_i = 0$; $k_d = 1$; Nilai $k_p = 1,5$; $k_i = 0$; $k_d = 1,25$; Nilai $K_p = 1,5$; $k_i = 0$; $k_d = 1,5$	56
Gambar 3.14 Perbandingan 3 Pola Gerak Robot dengan Nilai $k_p = 1,5$; $k_i = 1/500$; $k_d = 1,5$; Nilai $k_p = 1,5$; $k_i = 1/800$; $k_d = 1,5$; Nilai $K_p = 1,5$; $k_i = 1/1000$; $k_d = 1,5$	59

Gambar 4.1 Jalur Hitam Lurus Berjarak 1 Meter	60
Gambar 4.2 Pola Gerak Robot pada Jalur Hitam Berjarak 1 Meter	61
Gambar 4.3 Jalur Hitam Putus – Putus dengan Celah 5 cm	62
Gambar 4.4 Pola Gerak Robot pada Jalur Hitam Putus – Putus dengan Celah 5 cm	63
Gambar 4.5 Jalur Hitam Putus – Putus dengan Celah 10 cm	63
Gambar 4.6 Pola Gerak Robot pada Jalur Hitam Putus – Putus dengan Celah 10 cm	64
Gambar 4.7 Jalur Hitam Putus – Putus dengan Celah 20 cm	65
Gambar 4.8 Pola Gerak Robot pada Jalur Putus – Putus dengan Celah 20 cm	66
Gambar 4.9 Jalur Hitam Melingkar Bergelombang	66
Gambar 4.10 Pola Gerak Robot pada Jalur Melingkar dengan Diameter 35 cm	67
Gambar 4.11 Pola Gerak Robot pada Jalur Melingkar dengan Diameter 40 cm.....	69
Gambar 4.12 Pola Gerak Robot pada Jalur Melingkar dengan Diameter 50 cm.....	70
Gambar 4.13 Jalur Hitam dengan Membentuk Sudut	70
Gambar 4.14 Pola Gerak Robot pada Jalur Hitam Membentuk Sudut 60°..	72
Gambar 4.15 Pola Gerak Robot pada Jalur Hitam Membentuk Sudut 90°..	73
Gambar 4.16 Pola Gerak Robot pada Jalur Hitam Membentuk Sudut 120°	74
Gambar 4.17 Pola Gerak Robot pada Jalur Hitam Membentuk Sudut 145°	75

Gambar 3.4 Rangkaian Sensor Garis	6
Tabel 3.1 Tabel Pemetaan Sensor	42
Tabel 3.2 Tabel Kebenaran <i>Driver</i> Motor LMD 18200T	44
Tabel 3.3 <i>Tuning Parameter</i> PID dengan Nilai $K_p = 1$; $K_i = 0$; $K_d = 0$...	51
Tabel 3.4 <i>Tuning Parameter</i> PID dengan Nilai $K_p = 1,25$; $K_i = 0$; $K_d = 0$	52
Tabel 3.5 <i>Tuning Parameter</i> PID dengan Nilai $K_p = 1,5$; $K_i = 0$; $K_d = 0$	53
Tabel 3.6 <i>Tuning Parameter</i> PID dengan Nilai $K_p = 1,5$; $K_i = 0$; $K_d = 1$	54
Tabel 3.7 <i>Tuning Parameter</i> PID dengan Nilai $K_p = 1,5$; $K_i = 0$; $K_d = 1,25$	55
Tabel 3.8 <i>Tuning Parameter</i> PID dengan Nilai $K_p = 1,5$; $K_i = 0$; $K_d = 1,5$	55
Tabel 3.9 <i>Tuning Parameter</i> PID dengan Nilai $K_p = 1,5$; $K_i = 1/500$; $K_d = 1,5$	57
Tabel 3.10 <i>Tuning Parameter</i> PID dengan Nilai $K_p = 1,5$; $K_i = 1/800$; $K_d = 1,5$	57
Tabel 3.11 <i>Tuning Parameter</i> PID dengan Nilai $K_p = 1,5$; $K_i = 1/1000$; $K_d = 1,5$	58
Tabel 4.1 Pengujian Robot Pada Jalur Hitam Lurus Berjarak 1 Meter	62
Tabel 4.2 Pengujian Robot Pada Jalur Hitam Putus – Putus dengan	

Celah 5 cm berjarak 1 meter.....	62
----------------------------------	----

Tabel 4.3 Pengujian Robot Pada Jalur Hitam Putus – Putus dengan

Gambar 2.1 <i>Mobile Robot</i>	6
Gambar 2.2 Sistem Gerak <i>Differential Drive</i>	6
Gambar 2.3 Sistem Gerak <i>Tricycle Drive</i>	6
Gambar 2.4 Sistem Gerak <i>Synchronous Drive</i>	8
Gambar 2.5 Penggunaan Roda <i>Omni-Directional</i>	8
Gambar 2.6 Sistem Gerak <i>Holonomic Drive</i>	10
Gambar 2.7 Kontrol Robot Loop Terbuka	11
Gambar 2.8 Kontrol Robot Loop Tertutup	11
Gambar 2.9 Cara Kerja Motor DC	13
Gambar 2.10 Konfigurasi Pin ATmega16	17
Gambar 2.11 Diagram Blok Arsitektur ATmega16	20
Gambar 2.12 <i>General Purpose Register</i> ATmega16	21
Gambar 2.13 Peta Memori Program ATmega16	22
Gambar 2.14 Peta Memori Data ATmega16	22
Gambar 2.15 Konfigurasi Masukan – Keluaran	23
Gambar 2.16 <i>Clear Timer On Compare Match</i>	24
Gambar 2.17 <i>Phase and Frequency Correct PWM</i>	25
Gambar 2.18 Pemasangan Resistor <i>Pull-Up</i> pada <i>I2C Bus</i>	27
Gambar 2.19 Perangkat pada Jalur <i>I2C Bus</i>	27
Gambar 2.20 <i>Start-Stop Sequence</i> pada Transmisi <i>I2C</i>	28
Gambar 2.21 Kondisi Jalur SDA dan Jalur SCL pada Pengiriman Data..	29
Gambar 2.22 Pengiriman Alamat <i>Slave</i> pada Sebuah <i>Sequence</i>	
Protokol <i>I2C</i>	29
Gambar 2.23 Rangkaian <i>H-Bridge</i>	30
Gambar 2.24 Rangkaian <i>H-Bridge</i> Dengan Kondisi Motor Berputar	
Searah Jarum Jam	31

Gambar 2.25 Rangkaian <i>H-Bridge</i> Dengan Kondisi Motor Berputar Berlawanan Arah Jarum Jam.....	31
Gambar 2.26 Rangkaian Dasar Sensor <i>Photoreflector</i> Hamamatsu P5587.....	32
Gambar 2.27 Cara Kerja Sensor Hamamatsu P5587	33
Gambar 2.28 CMPS03 <i>Digital Compass</i>	34
Gambar 2.29 I2C Communication Protocol	35
Gambar 2.30 Layer-N.	38
Gambar 2.31 Layer P	41
Gambar 2.32 Proses Terbentuk-nya Aliran Listrik	41
Gambar 2.33 Bentuk Fisik LDR	42
Gambar 2.34 Rangkaian Pembagi Tegangan LDR	44
Gambar 3.1 Blok Diagram Sistem Manuver Robot dalam Mengikuti Garis	45
Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem Manuver Robot dalam Mencari Cahaya.	46
Gambar 3.3 Blok Diagram Sistem Manuver Robot dalam Mencari Garis...	47
Gambar 3.4 Dimensi Robot Line <i>Follower</i> yang Dapat Mengisi Tegangan Pada Kapasitor Secara Otomatis	48
Gambar 3.5 Posisi Penempatan Sensor-sensor pada Robot <i>Line Follower</i> yang Dapat Mengisi Tegangan Pada Kapasitor Secara Otomatis	49
Gambar 3.6 Alokasi Pin CMPS03	51
Gambar 3.7 Rangkaian Pembagi tegangan LDR	52
Gambar 3.8 Skematik driver motor L293D	54
Gambar 3.9 Skematik Pengontrol Berbasis Pengontrol Mikro ATmega16	57
Gambar 3.10 Diagram Alir Algoritma Pemrograman Pada ATmega16.....	59
Gambar 3.11 Diagram Alir Algoritma <i>Line Seeker</i>	60
Gambar 3.12 Diagram Alir Algoritma Pemrograman <i>Light Seeker</i>	61

Gambar 3.13 Diagram Alir Algoritma Pemrograman <i>Line Follower</i>	62
Gambar 4.1 Pola Gerak Pada Jalur Lurus Hitam Berjarak 1 Meter	62
Gambar 4.2 Pola Gerak Pada Jalur Lurus Hitam Berbentuk Huruf S	63
Gambar 4.3 Pola Gerak Pada Jalur Lurus Hitam Berbentuk Lingkaran	64
Gambar 4.4 Track yang berbentuk persegi panjang.....	74
Gambar 4.5 Line Follower	76
Gambar 4.6 Light Seeker	76
Gambar 4.7 Charging	76
Gambar 4.8 Line Seeker....	77
Gambar 4.9 Track yang berbentuk lingkaran.....	78

