

DAFTAR ISI

	halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
ABSTRAK	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan	2
1.5. Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Penelitian Terdahulu	4
2.2. Sistem <i>Rotary Inverted Pendulum</i> (RIP)	5
2.2.1. Model Fisika.....	6
2.2.2. Torsi Motor DC	7
2.2.3. Model Matematika	7
2.3. <i>Swing-Up</i>	10
2.4. Kontroler	10
2.4.1. Kontroler Proporsional.....	11
2.4.2. Kontroler Integral	12
2.4.3. Kontroler Differensial.....	12
2.4.4. Kontroler Proporsional Integral (PI).....	13
2.4.5. Kontroler Proporsional Differensial (PD).....	13
2.4.6. Kontroler Proporsional Integral Differensial (PID).....	14
2.4.7. Metode Perancangan Kontroler Proporsional Integral Differensial (PID)	15
2.4.7.1. Metode Ziegler-Nichols	15
2.5. <i>Rotary Encoder</i>	18

2.6.	Motor DC	19
2.7.	PWM (<i>Pulse Width Modulation</i>).....	19
2.8.	<i>Driver</i> Motor H-Bridge.....	20
2.9.	Arduino Mega 2560.....	23
2.9.1	Daya.....	24
2.9.2	<i>Memory</i>	24
2.9.3	<i>Input dan Output</i>	25
2.9.4	Komunikasi	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		26
3.1.	Studi Literatur.....	26
3.2.	Perancangan Sistem.....	26
3.3.	Realisasi Pembuatan Sistem.....	27
3.4.	Pengujian dan Analisa Data	27
3.5.	Pengambilan Kesimpulan dan Saran	27
BAB IV PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT		28
4.1.	Spesifikasi Alat.....	28
4.2.	Diagram Blok Sistem.....	28
4.3.	Prinsip Kerja Alat	29
4.4.	Perancangan Perangkat Keras (<i>Hardware</i>).....	29
4.4.1.	<i>Encoder</i>	30
4.4.2.	Perancangan <i>Driver</i> Motor.....	30
4.4.3.	Perancangan Arduino Mega 2560	32
4.4.4.	Perancangan Mekanik <i>Rotary Inverted Pendulum</i>	34
4.5.	Perancangan Kontroler PID	35
4.6.	Perancangan Perangkat Lunak (<i>Software</i>)	37
BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS		38
5.1.	Pengujian <i>Rotary Encoder</i>	38
5.2.	Pengujian Motor DC.....	41
5.3.	Pengujian <i>Magnetic Encoder</i>	43
5.4.	Pengujian <i>Driver</i> Motor.....	45
5.5.	Pengujian Keseluruhan	48



BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN..... 61

6.1. Kesimpulan 61

6.2. Saran 61

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Aturan Penalaan Ziegler-Nichols Berdasarkan Respon Unit Step Dari *Plant*17

Tabel 2.2. Aturan Dasar Ziegler-Nichols Berdasarkan *Critical Gain Kcr* dan *Critical Period Pcr*18

Tabel 4.1. Tabel Kebenaran Driver Motor EMS 5A H-Bridge..... 32

Tabel 4.2. Tabel Aturan *Tuning* Metode 1 Ziegler-Nichols 36

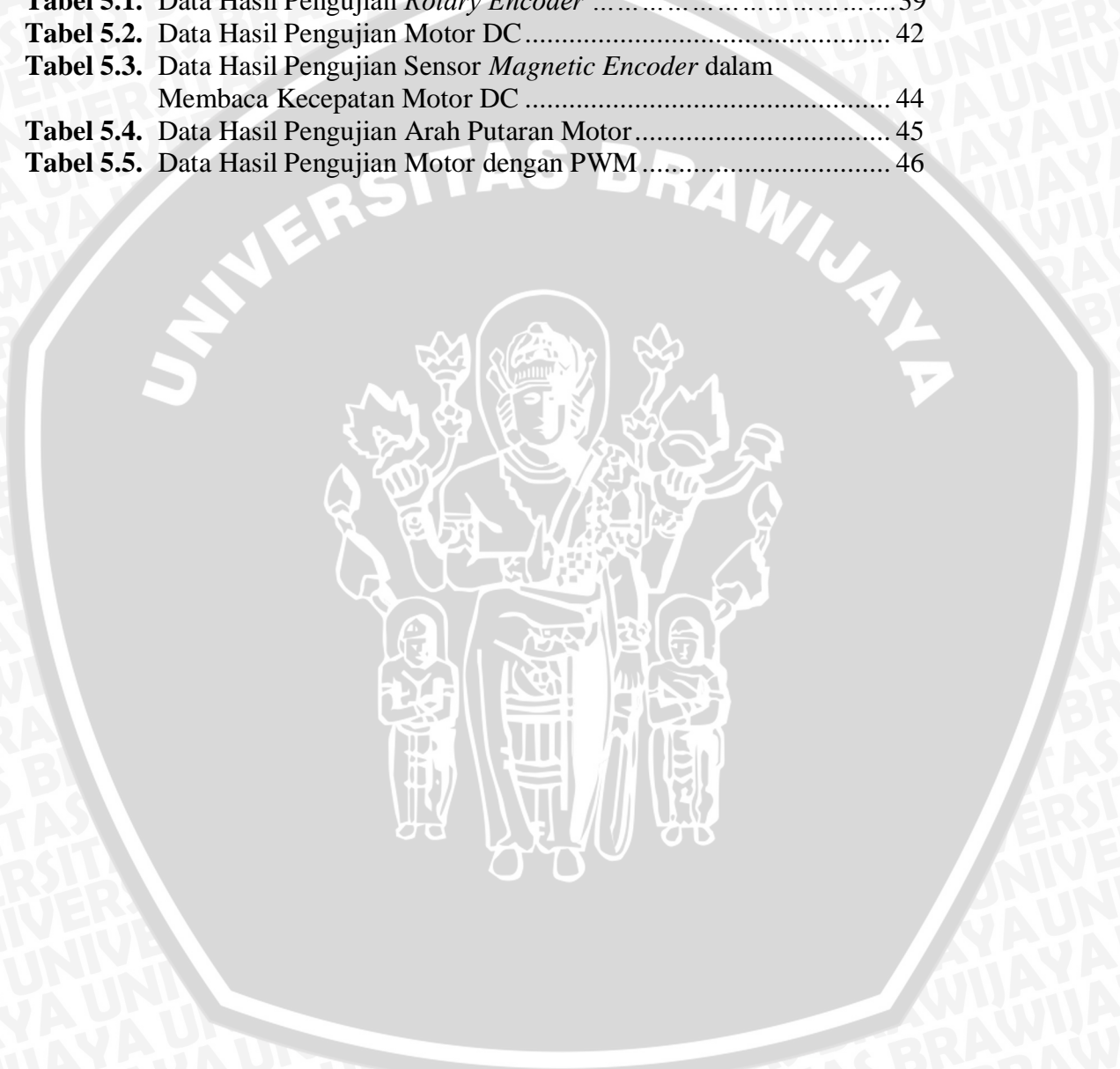
Tabel 5.1. Data Hasil Pengujian *Rotary Encoder* 39

Tabel 5.2. Data Hasil Pengujian Motor DC..... 42

Tabel 5.3. Data Hasil Pengujian Sensor *Magnetic Encoder* dalam Membaca Kecepatan Motor DC 44

Tabel 5.4. Data Hasil Pengujian Arah Putaran Motor 45

Tabel 5.5. Data Hasil Pengujian Motor dengan PWM 46



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Mekanik pada penelitian yang dilakukan Ravi Indra	4
Gambar 2.2.	Mekanik pada penelitian Goegoes dkk.....	5
Gambar 2.3.	Skema <i>Rotary Inverted Pendulum</i>	5
Gambar 2.4.	Skema dan Arah Pergerakan dari <i>Rotary Inverted Pendulum</i>	6
Gambar 2.5.	Diagram Blok Kontroler Proporsional.....	12
Gambar 2.6.	Diagram Blok Kontroler Integral	12
Gambar 2.7.	Diagram Blok Kontroler Diferensial.....	13
Gambar 2.8.	Diagram Blok Kontroler PID	14
Gambar 2.9.	Kurva Respon Unit Step yang Menunjukkan 25% <i>Maximum Overshoot</i>	15
Gambar 2.10.	Respon <i>Plant</i> Terhadap Masukan Berupa Unit Step	15
Gambar 2.11.	Kurva Respon yang Berbentuk S	16
Gambar 2.12.	Sistem <i>Loop</i> Tertutup dengan Kontroler Proporsional.....	17
Gambar 2.13.	Osilasi Berkesinambungan dengan Periode <i>Pcr</i>	17
Gambar 2.14.	<i>Rotary Encoder</i>	18
Gambar 2.15.	Motor DC	19
Gambar 2.16.	Sinyal PWM secara umum.....	20
Gambar 2.17.	Rangkaian H-Bridge <i>Driver</i>	21
Gambar 2.18.	Rangkaian H-Bridge saat $A=0$; $B=1$	22
Gambar 2.19.	Rangkaian H-Bridge saat $A=1$; $B=0$	22
Gambar 2.20.	Arduino Mega 2560.....	24
Gambar 4.1.	Diagram Blok secara Keseluruhan	28
Gambar 4.2.	<i>Rotary Encoder</i> pada Lengan Pendulum	30
Gambar 4.3.	<i>Magnetic Encoder</i> pada Motor DC	30
Gambar 4.4.	<i>Driver</i> Motor EMS 5AH-Bridge	31
Gambar 4.5.	Rangkaian Elektrik <i>Driver</i>	31
Gambar 4.6.	Rangkaian Arduino Mega 2560	33
Gambar 4.7.	(a) Hasil Perancangan Tampak Keseluruhan	34
	(b) Sambungan antara <i>Rotary Encoder</i> dan <i>Rod</i>	34
	(c) Motor DC yang Menggerakkan Lengan Pemutar	34
Gambar 4.8.	Kurva Respon yang Berbentuk S	35
Gambar 4.9.	Hasil Kurva Respon yang Berbentuk S	35
Gambar 4.10.	<i>Flowchart</i> Program.....	37
Gambar 5.1.	Diagram Blok Pengujian <i>Rotary Encoder</i>	38
Gambar 5.2.	Grafik Hubungan antara Sudut dan <i>Counter Rotary Encoder</i> ..	41
Gambar 5.3.	Diagram Blok Pengujian Motor DC.....	41
Gambar 5.4.	Grafik Hubungan antara Tegangan Motor terhadap Kecepatan Motor	42
Gambar 5.5.	Diagram Blok Pengujian <i>Magnetic Encoder</i>	43
Gambar 5.6.	Grafik Perbandingan Pembacaan Kecepatan Motor DC antara Sensor dengan Tachometer	44
Gambar 5.7.	Diagram Blok Pengujian <i>Driver</i> Motor	45
Gambar 5.8.	Hubungan antara <i>Duty Cycle</i> PWM dengan <i>Enable Driver</i> Motor	47
Gambar 5.9.	Hubungan antara <i>Duty Cycle</i> PWM dengan Kecepatan Motor ..	47
Gambar 5.10.	Hubungan antara <i>Duty Cycle</i> PWM dengan Tegangan Motor..	48
Gambar 5.11.	Diagram Blok Pengujian Keseluruhan Sistem.....	49

Gambar 5.12. Grafik Respon <i>Rotary Inverted Pendulum</i> untuk Gerakan <i>Swing-Up</i>	50
Gambar 5.13. Grafik Respon Motor DC dengan nilai $K_p=0.73$, $K_i=0.041$, dan $K_d=3.285$	50
Gambar 5.14. Grafik Respon <i>Rotary Inverted Pendulum</i> dengan nilai $K_p=0.73$, $K_i=0.041$, dan $K_d=3.285$	51
Gambar 5.15. Grafik Respon Motor DC dengan nilai $K_p=0.95$, $K_i=0$, dan $K_d=0$	52
Gambar 5.16. Grafik Respon Motor DC dengan nilai $K_p=1$, $K_i=0$, dan $K_d=0$	52
Gambar 5.17. Grafik Respon Motor DC dengan nilai $K_p=1.05$, $K_i=0$, dan $K_d=0$	53
Gambar 5.18. Grafik Respon Motor DC dengan nilai $K_p=1.1$, $K_i=0$, dan $K_d=0$	53
Gambar 5.19. Grafik Respon Motor DC dengan nilai $K_p=1.15$, $K_i=0$, dan $K_d=0$	54
Gambar 5.20. Grafik Respon Motor DC dengan nilai $K_p=1.05$, $K_i=0$, dan $K_d=5.5$	55
Gambar 5.21. Grafik Respon Motor DC dengan nilai $K_p=1.05$, $K_i=0$, dan $K_d=6$	55
Gambar 5.22. Grafik Respon Motor DC dengan nilai $K_p=1.05$, $K_i=0$, dan $K_d=6.5$	56
Gambar 5.23. Grafik Respon Motor DC dengan nilai $K_p=1.05$, $K_i=0$, dan $K_d=7$	56
Gambar 5.24. Grafik Respon Motor DC dengan nilai $K_p=1.05$, $K_i=0$, dan $K_d=7.5$	57
Gambar 5.25. Grafik Respon Motor DC dengan nilai $K_p=1.05$, $K_i=0.02$, dan $K_d=6.5$	57
Gambar 5.26. Grafik Respon Motor DC dengan nilai $K_p=1.05$, $K_i=0.025$, dan $K_d=6.5$	58
Gambar 5.27. Grafik Respon Motor DC dengan nilai $K_p=1.05$, $K_i=0.03$, dan $K_d=6.5$	58
Gambar 5.28. Grafik Respon Motor DC dengan nilai $K_p=1.05$, $K_i=0.035$, dan $K_d=6.5$	59
Gambar 5.29. Grafik Respon Motor DC dengan nilai $K_p=1.05$, $K_i=0.04$, dan $K_d=6.5$	59
Gambar 5.30. Grafik Respon <i>Rotary Inverted Pendulum</i> dengan nilai $K_p=1.05$, $K_i=0.03$, dan $K_d=6.5$	60