

**IMPLEMENTASI MODEL REFERENCE ADAPTIVE SYSTEMS
(MRAS) UNTUK KESTABILAN ROTARY INVERTED PENDULUM**

SKRIPSI

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun oleh :

**ARETASIWI ANYAKRAWATI
NIM. 105060300111075-63**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
MALANG
2015**

LEMBAR PERSETUJUAN

IMPLEMENTASI MODEL REFERENCE ADAPTIVE SYSTEMS (MRAS)

UNTUK KESTABILAN ROTARY INVERTED PENDULUM

SKRIPSI

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**



Disusun oleh:

ARETASIWI ANYAKRAWATI

NIM. 105060300111075-63

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2

Goegoes Dwi Nusantara, ST., MT.

NIP. 19711013 200604 1 017

Ir. Purwanto, MT.

NIP. 19540424 198601 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

IMPLEMENTASI MODEL REFERENCE ADAPTIVE SYSTEMS (MRAS)

UNTUK KESTABILAN ROTARY INVERTED PENDULUM

SKRIPSI

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Disusun Oleh:

ARETASIWI ANYAKRAWATI

NIM. 105060300111075

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada

16 April 2015

MAJELIS PENGUJI

Dr. Ir. Bambang Siswojo, MT
NIP. 19621211 198802 1 001

Ir. Moch. Rusli, Dipl. Ing.
NIP. 19630104 198701 1 001

Dr. Ir. Erni Yudaningtyas, MT.
NIP. 19650913 199002 2 001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro

M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D
NIP. 19741203 200012 1 001

PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Implementasi *Model Reference Adaptive Systems (MRAS)* Untuk Kestabilan *Rotary Inverted Pendulum*” dengan baik. Skripsi ini disusun untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terimakasih kepada:

- Kedua orang tuaku, Bapak Singgih Wiyono dan Ibu Suharsi atas segala nasehat, kasih sayang, perhatian dan kesabarannya di dalam membesarkan dan mendidik penulis, serta telah banyak mendoakan kelancaran penulis hingga terselesaikannya skripsi ini.
- Bapak M. Aziz Muslim, ST., MT, Ph.D sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Bapak Hadi Suyono, ST., MT, Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Bapak Goegoes Dwi N, ST., MT selaku Dosen Pembimbing I atas segala ilmu, gagasan, nasehat, saran dan kesabaran dalam membimbing.
- Bapak Purwanto, Ir., MT selaku Dosen Pembimbing II atas segala ilmu, gagasan, nasehat, saran dan kesabaran dalam membimbing.
- Bapak Ir. Mahfud Shidiq, MT selaku dosen pembimbing akademik.
- Staf rekording Jurusan Teknik Elektro.
- Keluarga ceria Vetdam, Njenonk Hanif, Tacik Risma, Ncing Anita, Hunny Yesy, Cece Bonnie, Cips Risa atas segala kesabaran, doa, semangat, saran dan hiburan saat penulis saat penulis merasa lelah.
- Sahabat SLV, Mbak Intan, Mbak Ira, Shanty, Anggun atas segala dukungan, bantuan, semangat dan doanya.
- Mbak Erni, Aya, Safti, Mas Aldi dan seluruh keluarga angsa putih Magnet'10 yang memberikan doa, semangat serta dukungan pada penulis.
- Seluruh teman – teman serta semua pihak yang tidak mungkin dicantumkan namanya satu – persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini belumlah sempurna, karena keterbatasan ilmu dan kendala lain yang terjadi selama pengerjaan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharap kritik dan saran untuk penyempurnaan tulisan di masa yang akan datang. Penulis berharap semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Malang, 16 April 2015

Penulis



DAFTAR ISI

	Hal
PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL.....	vii
ABSTRAK	viii
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 Rotary Inverted Pendulum (RIP)	5
2.2.1. Model Fisika	6
2.2.2. Model Matematika.....	7
2.2.3. Representasi State Space dari Model Matematika.....	10
2.3. Sistem Kontrol Adaptive <i>Model Reference Adaptive Systems</i> (MRAS)	10
2.3.1 <i>Plant</i>	12
2.3.2 Model Referensi.....	12
2.3.3 Kontroler Adaptif.....	13
2.3.4 Hukum Adaptasi	13
2.3.5 Persamaan <i>Error</i>	14
2.4. Rotary Encoder	14
2.5. Motor DC	15
2.6. PWM (<i>Pulse Width Modulation</i>)	16
2.7. Driver Motor H-Bridge	17
2.8. Arduino Mega 2560	19
2.8.1 Daya.....	20

2.8.2	<i>Memory</i>	21
2.8.3	<i>Input dan Output</i>	21
2.8.4	Komunikasi	22
2.8.5	Pemrograman	23
2.8.6	Otomatis (<i>Software</i>) Atur Ulang	24
2.8.7	Perlindungan USB Arus Berlebih	25
2.8.8	Karakteristik Fisik dan Kompatibilitas Pelindung	25

BAB III METODE PENELITIAN 26

3.1.	Perancangan Sistem	26
3.2.	Realisasi Pembuatan Sistem	26
3.3.	Pengujian dan Analisa Data	27
3.4.	Pengambilan Keputusan	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.	Rotary Encoder	29
4.4.2.	Perancangan Driver Motor	30
4.4.3.	Perancangan Arduino Mega 2560	32
4.4.4.	Perancangan Mekanik Rotary Inverted Pendulum	34
4.5.	Perancangan Perangkat Lunak (<i>Software</i>)	34
4.6.	Perancangan <i>Model Reference Adaptive Systems</i> (MRAS)	36
4.6.1.	Model Matematis Sistem	36
4.6.2.	Pendekatan Reduksi Orde Model	37
4.6.3.	Penentuan Model Referensi	38
4.6.4.	Penentuan Hukum Adaptasi	39

BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS 41

5.1.	Pengujian Rotary Encoder	41
------	--------------------------------	----

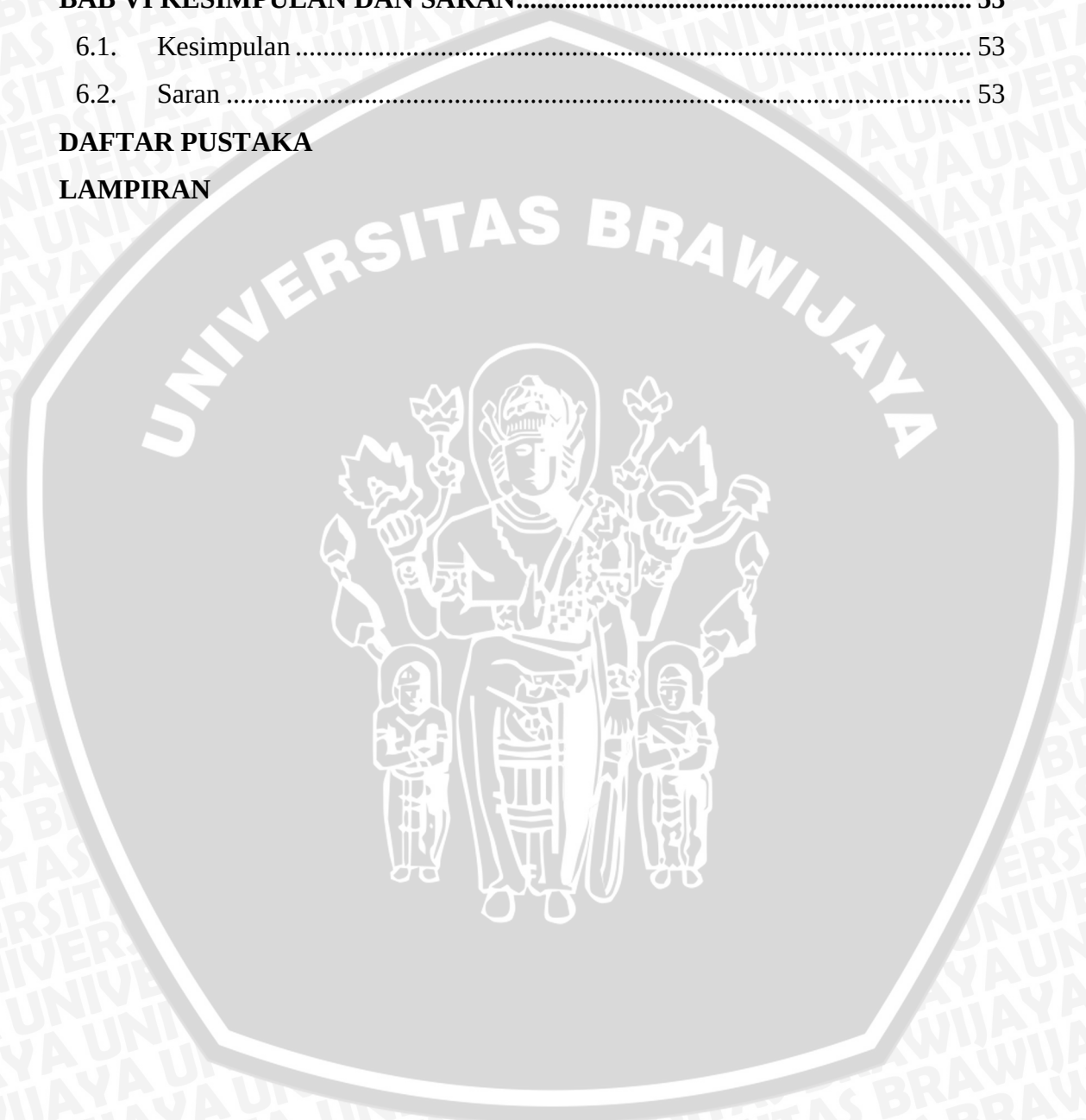
5.2.	Pengujian Motor DC	43
5.3.	Pengujian Driver Motor	45
5.4.	Pengujian Keseluruhan	48

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN..... 53

6.1.	Kesimpulan	53
6.2.	Saran	53

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Mekanik pada penelitian yang dilakukan Ravi Indra	5
Gambar 2.2.	Mekanik pada penelitian Goegoes dkk.....	5
Gambar 2.3.	Skema pendulum terbalik	5
Gambar 2.4.	Skematik dari pendulum terbalik beserta arah pergerakannya	5
Gambar 2.5.	Blok diagram <i>Model Reference Adaptive Systems</i> (MRAS)	11
Gambar 2.6.	Gambar melintang Motor DC.....	16
Gambar 2.7.	Sinyal PWM secara umum	16
Gambar 2.8.	Rangkain H-Bridge Driver	17
Gambar 2.9.	Rangkaian H-Bridge saat $A=0'$; $B=1'$	18
Gambar 2.10.	Rangkaian H-Bridge saat $A=1'$; $B=0'$	19
Gambar 2.11.	Arduino Mega 2560.....	20
Gambar 4.1.	Diagram Blok Perancangan <i>Hardware</i>	29
Gambar 4.2.	<i>Rotary Encoder</i> pada Rod.....	30
Gambar 4.3.	<i>Driver Motor</i> EMS 5A H-Bridge	31
Gambar 4.4.	Rangkaian Elektrik Driver.....	31
Gambar 4.5.	Arduino Mega 2560.....	33
Gambar 4.6.	(a) Hasil Perancangan Tampak Keseluruhan	34
	(b) Sambungan antara Sensor dan Rod	34
	(c) Motor DC yang Menggerakkan Lengan Pemutar	34
Gambar 4.7.	<i>Flowchart</i> Program.....	35
Gambar 5.1.	Diagram Blok Pengujian <i>Rotary Encoder</i>	41
Gambar 5.2.	Grafik Hubungan antara Sudut dan <i>Counter Rotary Encoder</i>	43
Gambar 5.3.	Diagram Blok Pengujian Motor DC.....	44
Gambar 5.4.	Grafik Hubungan antara Tegangan Motor terhadap Kecepatan Motor	46
Gambar 5.5.	Diagram Blok Pengujian <i>Driver Motor</i>	45
Gambar 5.6.	Hubungan antara <i>Duty Cycle</i> PWM dengan <i>Enable Driver</i> Motor	47
Gambar 5.7.	Hubungan antara <i>Duty Cycle</i> PWM dengan Kecepatan Motor.	47
Gambar 5.8.	Hubungan antara <i>Duty Cycle</i> PWM dengan Tegangan Motor ..	48
Gambar 5.9.	Diagram Blok Pengujian Keseluruhan Sistem	49
Gambar 5.10.	Grafik Kemiringan Pendulum Terbalik (<i>Error</i>)	50
Gambar 5.11.	Grafik Respon Keluaran Kontroler PWM dengan <i>Gain</i> Adaptasi 0,25	50
Gambar 5.12.	Grafik Respon Keluaran Kontroler PWM dengan <i>Gain</i> Adaptasi 0,5	51
Gambar 5.13.	Grafik Respon Keluaran Kontroler PWM dengan <i>Gain</i> Adaptasi 0,75	51
Gambar 5.14.	Grafik Respon Keluaran Kontroler PWM dengan <i>Gain</i> Adaptasi 1	52

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1.	Tabel Kebenaran <i>Driver</i> Motor EMS 5A H-Bridge.....	32
Tabel 4.2.	Data Parameter-parameter Utama Sistem	36
Tabel 5.1.	Data Hasil Pengujian <i>Rotary Encoder</i>	42
Tabel 5.2.	Data Hasil Pengujian Motor DC	44
Tabel 5.3.	Data Hasil Pengujian Arah Putaran Motor.....	46
Tabel 5.4.	Data Hasil Pengujian Motor dengan PWM.....	46



ABSTRAK

Pendulum terbalik mempunyai karakteristik tidak stabil dan nonlinear sehingga harus dilakukan proses linearisasi dari *plant* nonlinear tersebut. Pendulum terbalik memiliki titik berat berada di atas titik tumpunya sehingga secara aktif harus disetimbangkan agar kondisinya tetap tegak dengan cara menggerakkan lengan pendulum secara rotasional. Untuk keperluan tersebut, pada penelitian ini digunakan *Model Reference Adaptive Systems* (MRAS) untuk kestabilan pada *Rotary Inverted Pendulum*. *Model Reference Adaptive Systems* merupakan salah satu metode pengontrolan yang membuat keluaran sistem yang diatur sedemikian rupa sehingga mempunyai perilaku yang sama dengan model referensi yang diberikan, dengan cara mengubah-ubah nilai parameter kontrolernya. Pendulum terbalik dapat mengambil keputusan dengan bergerak ke kanan atau ke kiri sesuai dengan arah kemiringannya dengan kecepatan tertentu untuk menjaga kestabilan pendulum terbalik. Pada pengujian pendulum terbalik rata-rata dapat mempertahankan kestabilannya selama 4 detik.

Kata kunci: Pendulum terbalik, *Rotary Inverted Pendulum*, MRAS

