



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH MOMEN INERSIA TERHADAP PUTARAN
MOTOR INDUKSI DENGAN KENDALI TORSI LANGSUNG
DAN *DUTY RATIO* TANPA SENSOR KECEPATAN**

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik

**MUHAMMAD LUNIARA SIREGAR
0606003505**

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN ELEKTRO
KEKHUSUSAN TEKNIK KONTROL INDUSTRI
DEPOK
DESEMBER 2008**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Muhammad Luniara Siregar

NPM : 0606003505

Tanda Tangan :

Tanggal : 11 Desember 2008



HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :

Nama : Muhammad Luniara Siregar

NPM : 0606003505

Kekhususan : Teknik Kontrol Industri

Judul Tesis : PENGARUH MOMEN INERSIA TERHADAP PUTARAN
MOTOR INDUKSI DENGAN KENDALI TORSI LANGSUNG
DAN *DUTY RATIO* TANPA SENSOR KECEPATAN

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada kekhususan Teknik Kontrol Industri, Departemen Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Ridwan Gunawan, MT (.....)
Penguji : Ir Wahidin Wahab, MSc, PhD (.....)
Penguji : Dr. Ir Feri Yusivar, M.Eng (.....)
Penguji : Ir. Aries Subiantoro, M. SEE (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 23 Desember 2008

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah S.W.T, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik Departemen Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Dr. Ir. Ridwan Gunawan, MT. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini;
- (2) Orang tua, istri dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;

Akhir kata, saya berharap Allah S.W.T berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 11 Desember 2008

Muhammad Luniara Siregar

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Luniara Siregar
NPM : 0606003505
Kekhususan : Teknik Kontrol Industri
Departemen : Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Tesis

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

PENGARUH MOMEN INERSIA TERHADAP PUTARAN MOTOR INDUKSI
DENGAN KENDALI TORSI LANGSUNG DAN *DUTY RATIO* TANPA
SENSOR KECEPATAN

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 11 Desember 2008

Yang menyatakan,

(Muhammad Luniara Siregar)

ABSTRAK

Nama : Muhammad Luniara Siregar
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Pengaruh Momen Inersia terhadap Putaran Motor Induksi dengan Kendali Torsi langsung dan *Duty Ratio* tanpa Sensor Kecepatan

Metode kendali vektor telah menjadi alternatif utama dalam pengendalian motor induksi tiga fasa. Salah satu metode kendali vektor yang sering digunakan adalah metode kendali torsi langsung. Namun sistem ini memiliki kekurangan dengan adanya riak pada torsi yang besar. Penambahan *duty ratio* berbasis logika Fuzzy dapat memberikan unjuk kerja yang lebih baik bila dibandingkan dengan metode kendali torsi langsung konvensional. Dengan melakukan pengujian sistem kendali torsi langsung dan *duty ratio* dengan motor induksi tiga fasa kapasitas kecil, sedang dan besar, dapat dilihat pengaruh dari momen inersia terhadap putaran rotor. Pada tesis ini digunakan MATLAB SIMULINK untuk simulasi dengan tiga tipe motor, yaitu 1 HP, 10 HP dan 50 HP. Dengan parameter yang sama, dapat terlihat motor dengan nilai momen inersia besar memiliki putaran lebih stabil bila dibandingkan dengan motor yang memiliki momen inersia kecil.

Kata kunci: motor induksi, kendali torsi langsung, *duty ratio*, momen inersia

ABSTRACT

Name : Muhammad Luniara Siregar
Study Program : Industrial Control Engineering
Title : The Influence of Moment Inertia to Induction Motor
Rotation in Sensorless Direct Torque Control
and Duty Ratio.

Vector control has become the first alternative in control of three phase induction motor. One of the vector control method which is commonly used is a direct torque control method. However, this system has drawback as the existence of ripples at torque. The addition of duty ratio control base on Fuzzy logic can give better performance when compared to conventional direct torque control. By doing an examination on direct torque control and duty ratio with small, medium and big capacities of three phase induction motors can be shown the influence from moment inertia to rotor rotation. This thesis uses MATLAB SIMULINK for the simulation study with three types of motors, for example 1 HP, 10 HP and 50 HP. It is shown that using the same parameters, a motor with a larger moment inertia gives a better performance in comparison to a motor with smaller moment inertia

Keyword : induction motor, direct torque control, duty ratio, moment inertia

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Pembahasan.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Sistematika Penulisan.....	3
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Motor Induksi Tiga Fasa.....	4
2.1.1 Konstruksi Motor Induksi Tiga Fasa.....	4
2.1.2 Prinsip Kerja Motor Induksi Tiga Fasa.....	5
2.1.3 Teori Kerangka Acu.....	6
2.1.4 Pemodelan Dinamis Motor Induksi Tiga Fasa.....	8
2.2 Metode Kendali Torsi Langsung.....	12
2.2.1 Komparator Histerisis.....	13
2.2.1.1 Komparator Histerisis Torsi Tiga Level.....	13
2.2.1.2 Komparator Histerisis Fluks Dua Level.....	14
2.2.2 Pemilihan Vektor Tegangan.....	15
2.2.3 Inverter Sumber Tegangan	18
2.2.4 Estimasi Model Tegangan.....	19
2.3 Pengendali Logika Fuzzy.....	19
2.3.1 Himpunan Fuzzy.....	19
2.3.2 Operasi pada Himpunan Fuzzy.....	21
2.3.3 Aturan / <i>Rule</i> Fuzzy.....	22
2.3.4 Pengendali Logika Fuzzy Mamdani.....	23
2.3.4.1 Sistem Basis Pengetahuan.....	23
2.3.4.2 Fuzzifikasi.....	24
2.3.4.3 Inferensi.....	24
2.3.4.4 Defuzzifikasi.....	26
3. PERANCANGAN PENGENDALI.....	28
3.1 Estimasi Model Arus dengan Observer.....	28
3.1.1 Persamaan <i>Full Order Observer</i>	29
3.1.2 Estimasi Kecepatan dengan Teori Lyapunov.....	35

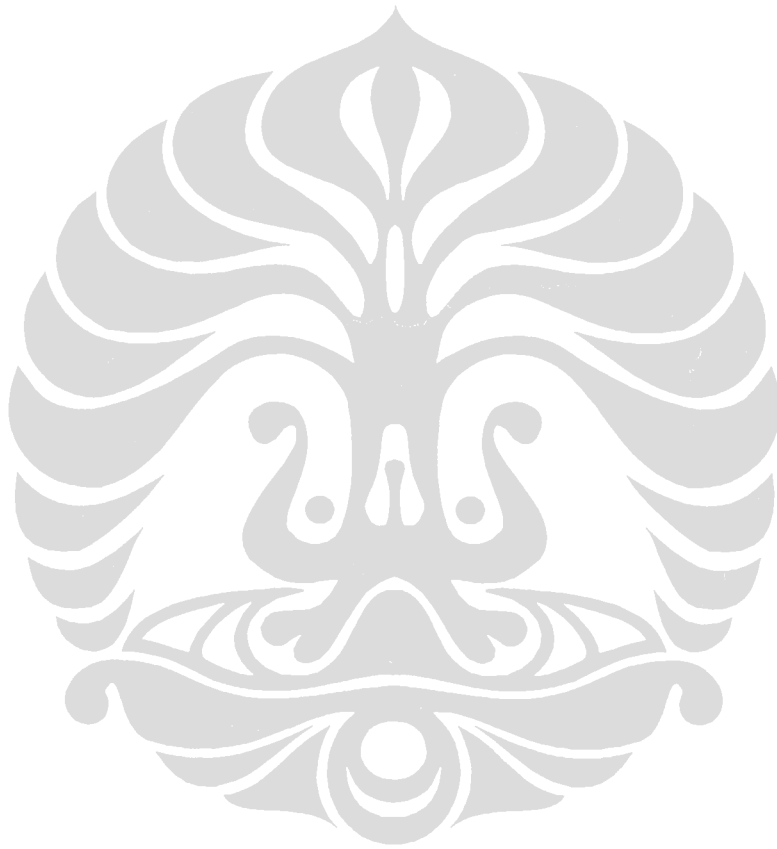
3.2	<i>Duty Ratio</i> berbasis Logika Fuzzy.....	38
3.2.1	Perancangan Pengendali <i>Duty Ratio</i>	40
3.3	Diagram Blok.....	43
4.	SIMULASI DAN ANALISA.....	45
4.1	Prosedur Simulasi.....	45
4.2	Simulasi dengan Motor 1 HP.....	46
4.2.1	Simulasi Perubahan Kecepatan dengan Beban Nol.....	46
4.2.2	Simulasi Perubahan Kecepatan dan Perubahan Beban.....	50
4.3	Simulasi dengan Motor 10 HP.....	53
4.3.1	Simulasi Perubahan Kecepatan dengan Beban Nol.....	53
4.3.2	Simulasi Perubahan Kecepatan dan Perubahan Beban.....	56
4.4	Simulasi dengan Motor 50 HP.....	58
4.4.1	Simulasi Perubahan Kecepatan dengan Beban Nol.....	59
4.4.2	Simulasi Perubahan Kecepatan dan Perubahan Beban.....	61
4.5	Perbandingan Simulasi Kecepatan Motor 1 HP, 10 HP dan 50 HP.....	64
4.6	Simulasi Perubahan Parameter Momen Inersia.....	66
5.	KESIMPULAN.....	69
	Daftar Acuan.....	70
	Daftar Pustaka.....	72
	Lampiran.....	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Torsi Elektromagnetik Kendali Torsi Langsung	2
Gambar 2.1 Proyeksi arus pada rangkaian stator	7
Gambar 2.2 Rangkaian Dasar Kendali Torsi Langsung	12
Gambar 2.3 Komparator Histerisis Torsi Tiga Level	13
Gambar 2.4 Komparator Histerisis Fluks Dua Level	14
Gambar 2.5 Vektor tegangan saat fluks stator dalam sektor 1	16
Gambar 2.6 Vektor tegangan saat fluks stator dalam sektor 2	16
Gambar 2.7 Vektor tegangan saat fluks stator dalam sektor 3	16
Gambar 2.8 Vektor tegangan saat fluks stator dalam sektor 4	16
Gambar 2.9 Vektor tegangan saat fluks stator dalam sektor 5	17
Gambar 2.10 Vektor tegangan saat fluks stator dalam sektor 6	17
Gambar 2.11 Diagram Inverter Sumber Tegangan	18
Gambar 2.12 Himpunan Biner dan Fuzzy	20
Gambar 2.13 Deskripsi kuantitatif dari konsep Fuzzy	21
Gambar 2.14 Fungsi-fungsi keanggotaan Logika Fuzzy	21
Gambar 2.15 Irisan dua buah Fungsi Keanggotaan Segitiga	22
Gambar 2.16 Gabungan dua buah Fungsi Keanggotaan Segitiga	22
Gambar 2.17 Pengendali Logika Fuzzy Mamdani	24
Gambar 2.18 Kombinasi Premis Aturan Fuzzy	25
Gambar 2.19(a) Implikasi dengan operasi <i>minimum</i>	25
Gambar 2.19(b) Implikasi dengan operasi <i>product</i>	26
Gambar 2.20 Agregasi dari kumpulan kesimpulan aturan Fuzzy	26
Gambar 2.21 Defuzzifikasi dengan <i>Center of Gravity</i>	27
Gambar 2.22. Defuzzifikasi metode <i>Center average</i>	27
Gambar 3.1 Diagram Blok Observer	28
Gambar 3.2 KTL dengan <i>duty ratio</i> berbasis Logika Fuzzy	39
Gambar 3.3 Torsi Elektromagnetik KTL dengan <i>duty ratio</i>	40
Gambar 3.4 Fungsi Keanggotaan Kesalahan Torsi	41
Gambar 3.5 Fungsi Keanggotaan Posisi Fluks Stator	41
Gambar 3.6 Fungsi Keanggotaan <i>Duty Ratio</i>	41

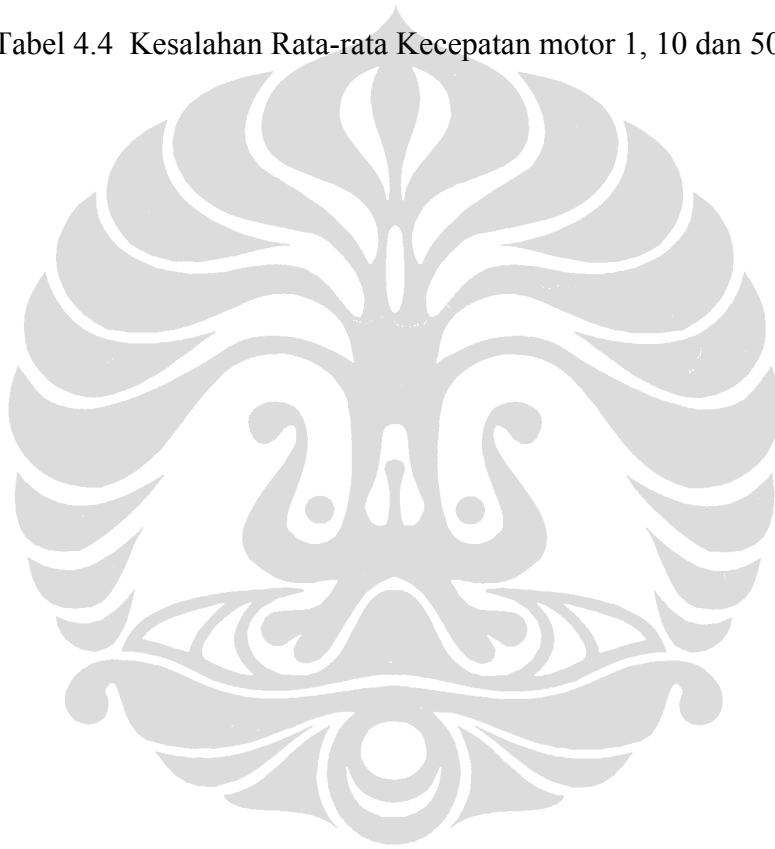
Gambar 3.7 Sistem kendali torsi langsung dengan <i>duty ratio</i>	43
Gambar 3.8 Blok kendali <i>duty ratio</i>	44
Gambar 4.1 Kecepatan motor 1 HP pada beban nol	47
Gambar 4.2 Torsi Elektromagnetik motor 1 HP pada beban nol	47
Gambar 4.3 Arus Fasa A motor 1 HP pada beban nol	49
Gambar 4.4 Nilai <i>duty ratio</i> motor 1 HP pada beban nol	49
Gambar 4.5 Kecepatan motor 1 HP dengan perubahan beban	50
Gambar 4.6 Torsi Elektromagnetik motor 1 HP dengan perubahan beban	51
Gambar 4.7 Arus Fasa A motor 1 HP dengan perubahan beban	51
Gambar 4.8 Nilai <i>d</i> motor 1 HP dengan perubahan beban	52
Gambar 4.9 Kecepatan motor 10 HP pada beban nol	54
Gambar 4.10 Torsi Elektromagnetik motor 10 HP pada beban nol	54
Gambar 4.11 Arus Fasa A motor 10 HP pada beban nol	55
Gambar 4.12 Nilai <i>d</i> motor 10 HP pada beban nol	55
Gambar 4.13 Kecepatan motor 10 HP dengan perubahan beban	56
Gambar 4.14 Torsi Elektromagnetik motor 10 HP dengan perubahan beban	57
Gambar 4.15 Arus Fasa A motor 10 HP dengan perubahan beban	57
Gambar 4.16 Nilai <i>d</i> motor 10 HP dengan perubahan beban	58
Gambar 4.17 Kecepatan motor 50 HP pada beban nol	59
Gambar 4.18 Torsi Elektromagnetik motor 50 HP pada beban nol	60
Gambar 4.19 Arus Fasa A pada 50 HP pada beban nol	60
Gambar 4.20 Nilai <i>d</i> motor 50 HP pada beban nol	61
Gambar 4.21 Kecepatan motor 50 HP dengan perubahan beban	62
Gambar 4.22 Torsi Elektromagnetik motor 50 HP dengan perubahan beban	62
Gambar 4.23 Arus Fasa A motor 50 HP dengan perubahan beban	63
Gambar 4.24 Nilai <i>d</i> motor 50 HP dengan perubahan beban	63
Gambar 4.25 Kesalahan Kecepatan Aktual dan Kesalahan Kecepatan Estimasi pada motor 1 HP dengan beban nol dan dengan perubahan beban	64
Gambar 4.26 Kesalahan Kecepatan Aktual dan Kesalahan Kecepatan Estimasi pada motor 10 HP dengan beban nol dan dengan perubahan beban	64

Gambar 4.27 Kesalahan Kecepatan Aktual dan Kesalahan Kecepatan Estimasi pada motor 50 HP dengan beban nol dan dengan perubahan beban	65
Gambar 4.28 Kecepatan motor 1 HP dengan perubahan momen inersia	67
Gambar 4.29 Kecepatan motor 10 HP dengan perubahan momen inersia	67
Gambar 4.30 Kecepatan Motor 50 HP dengan perubahan momen inersia	68



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Pemilihan vektor tegangan	17
Tabel 2.2 Pensaklaran inverter berdasarkan vektor tegangan	18
Tabel 3.1 Aturan Fuzzy untuk pengendali <i>duty ratio</i>	42
Tabel 4.1 Parameter motor 1 HP	46
Tabel 4.2. Parameter motor 10 HP	53
Tabel 4.3. Parameter motor 50 HP	58
Tabel 4.4 Kesalahan Rata-rata Kecepatan motor 1, 10 dan 50 HP (rad/s)	66



DAFTAR LAMPIRAN

A. Diagram Blok Simulink.....	73
-------------------------------	----

