



**PENGENDALIAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA MENGGUNAKAN
DIRECT TORQUE CONTROL (DTC) DENGAN *FUZZY SELF TUNING PI*
PADA BEBAN FLUKTUATIF**

SKRIPSI

Oleh :
Reo Ricky Sambora
NIM. 101910201041

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2014**



**PENGENDALIAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA MENGGUNAKAN
DIRECT TORQUE CONTROL (DTC) DENGAN *FUZZY SELF TUNING PI*
PADA BEBAN FLUKTUATIF**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1) dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

Reo Ricky Sambora

NIM 101910201041

**PROGRAM STUDI STRATA SATU (S1)
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER**

2014

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan limpahan rahmat dan karunia-Nya kepada penulis, sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi ini. Untuk itu saya ingin mempersembahkan karya ini kepada :

1. Allah SWT atas semua rahmat dan hidayah-Nya.
2. Nabi Muhammad SAW sebagai panutan hidupku.
3. Ayahanda Mujiono dan Ibunda (alm) Sri Nursiati tercinta, Nuning Rusdiana, S.E. yang selalu mendoakan dan memberikan kasih sayang serta pengorbanan selama ini.
4. Seluruh keluargaku yang selalu mendoakan untuk kelancaran tugas akhir ini.
5. Bapak Dedy Kurnia Setiawan, S.T., M.T. terima kasih atas kesabaran dan saran yang diberikan serta bersedia menjadi pendamping dan membimbing dengan segenap hati dalam mengerjakan skripsi ini sampai selesai.
6. Bapak H.R.B. Moch. Gozali, S.T., M.T. terima kasih atas kesabaran dan saran yang diberikan serta bersedia menjadi pendamping dan membimbing dengan segenap hati dalam mengerjakan skripsi ini sampai selesai.
7. Dosen-dosen Teknik Elektro Universitas Jember, yang telah memberikan saya ilmu selama ini.
8. Guru-guruku sejak Sekolah Dasar hingga semua dosen selama di Perguruan Tinggi yang terhormat, terima kasih telah mendidik saya dan memberikan banyak ilmu dengan penuh kesabaran.
9. Dulur-dulurku Teknik Elektro 2010, yang telah banyak membantu selama ini.
10. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember yang saya banggakan, terima kasih telah membuka jalan untuk saya menuju masa depan.

MOTTO

“Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah nasib suatu kaum hingga mereka mengubah diri mereka sendiri”

(Q.S. Ar-Ra’d:11)

Sebenarnya bukan semangat yang menjadikanmu rajin, tapi rajinnya dirimu lah yang menjadikanmu bersemangat

(Mario Teguh)

All is well

(3 Idiots)

You can if you think you can

(Reo Ricky Sambora)

*Ka bajem melle katombor, Mano’ poter kaka’ towa
Pabajang ba’na se ajar, Ma’le penter kalamon towa*

(Gundug Fams)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Reo Ricky Sambora

NIM : 101910201041

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “ Pengendalian Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan *Direct Torque Control (DTC)* dengan *Fuzzy Self Tuning PI* pada Beban Fluktuatif ” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan subansi disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 5 November 2014

Yang menyatakan,

(Reo Ricky Sambora)

NIM. 101910201041

SKRIPSI

PENGENDALIAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA MENGGUNAKAN *DIRECT TORQUE CONTROL (DTC)* DENGAN *FUZZY SELF TUNING PI* PADA BEBAN FLUKTUATIF

Oleh :

Reo Ricky Sambora

NIM 101910201041

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Dedy Kurnia Setiawan, S.T.,M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : H.R.B. Moch. Gozali, S.T.,M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengendalian Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan *Direct Torque Control (DTC)* dengan *Fuzzy Self Tuning PI* pada Beban Fluktuatif ” telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada :

Hari : Rabu

Tanggal : 5 November 2014

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Anggota

Dedy Kurnia Setiawan, S.T.,M.T.

NIP. 19800610 200501 1 003

H.R.B. Moch. Gozali, S.T.,M.T.

NIP. 19690608 199903 1 002

Penguji I

Penguji II

Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.

NIP. 19631201 199402 1 002

Ir. Widyono Hadi, M.T.

NIP. 196110414 198902 1 001

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Teknik

Ir. Widyono Hadi, M.T.

NIP. 19610414 198902 1 001

**PENGENDALIAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA MENGGUNAKAN
DIRECT TORQUE CONTROL (DTC) DENGAN *FUZZY SELF TUNING PI*
PADA BEBAN FLUKTUATIF**

Reo Ricky Sambora

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRAK

Motor induksi merupakan motor penggerak yang paling banyak digunakan dalam bidang industri. Keunggulan motor induksi diantaranya adalah konstruksinya yang sederhana, harganya yang lebih murah, serta perawatannya yang mudah. Sedangkan kekurangan dari motor induksi adalah teknik pengaturan kecepatannya yang relatif sulit. Salah satu metode yang dikembangkan dalam pengaturan kecepatan motor induksi adalah *Direct Torque Control (DTC)*. Metode ini bertujuan mengatur secara langsung fluks dan torsi motor yang pada umumnya menggunakan kontrol PI, namun kontrol ini memiliki kelemahan dalam penentuan konstantanya. Oleh karena itu pada penelitian ini dicoba untuk melakukan perancangan dan implementasi *Direct Torque Control (DTC)* untuk mengatur kecepatan motor induksi 3 fasa dengan menggunakan kontroler *fuzzy self tuning PI* yang artinya kontrol *fuzzy* disini sebagai penala parameter PI. Penelitian ini menghasilkan sebuah sistem kontrol motor induksi tiga fasa menggunakan *fuzzy self tuning PI*, dimana kontrol dapat mengatur kecepatan motor induksi tetap konstan pada nilai 400 rpm meskipun pada kondisi beban fluktuatif.

Kata Kunci : *Direct Torque Control (DTC)*, kontrol *fuzzy self tuning PI*, motor induksi tiga fasa

**CONTROL OF THREE-PHASE INDUCTION MOTOR USING DIRECT
TORQUE CONTROL (DTC) WITH FUZZY SELF-TUNING PI ON
FLUCTUATING LOAD**

Reo Ricky Sambora

Electrical Engineering Department, Engineering Departement, Jember University

ABSTRACT

Induction motor is motor that mostly used in industrial department. The advantages of this induction motor are such a simple construction, it is more cheaper, and also easy maintenance. Meanwhile the disadvantage from induction motor is having difficulty on motor speed regulation. One of methods that developed in induction motor speed control is Direct Torque Control (DTC). This method purpose to directly regulate flux and torque of motors that generate using PI control, however this control has a weakness in determination of constants. Therefore, this research attempted to design and implementations of Direct Torque Control (DTC) to control the speed of three phase induction motor using fuzzy self-tuning PI controller which fuzzy control means as a tuning parameter PI. The result of this system is a system of three-phase induction motor control using fuzzy self-tuning PI, which can adjust the speed control of induction motor remains constant at a value of 400 rpm despite in the fluctuating load conditions .

Keywords : *Direct Torque Control (DTC), fuzzy self-tuning PI control, three-phase induction motor*

RINGKASAN

PENGENDALIAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA MENGGUNAKAN *DIRECT TORQUE CONTROL (DTC)* DENGAN *FUZZY SELF TUNING PI* PADA BEBAN FLUKTUATIF; Reo Ricky Sambora; 101910201041; 2014; 78 halaman; Program Studi Strata Satu Teknik, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Motor induksi merupakan motor penggerak yang paling banyak digunakan dalam bidang industri. Keunggulan motor induksi diantaranya adalah konstruksinya yang sederhana, harganya yang lebih murah dibandingkan motor jenis lain, serta perawatannya yang mudah. Kekurangan dari motor induksi adalah teknik pengaturan kecepatannya yang relatif sulit dan membutuhkan arus starting yang tinggi sekitar enam kali arus nominal motor. Pengaturan kecepatan motor induksi dapat dilakukan dengan berbagai cara seperti kontrol tegangan/frekuensi (V/f) atau dikenal dengan kontrol skalar, serta kontrol vektor yang mengatur secara langsung arus stator motor. Metode kontrol vektor yang sekarang ini terus dikembangkan adalah metode *Direct Torque Control (DTC)*. Yaitu suatu teknik kontrol yang mengarah pada pengaturan dengan nilai torsi yang berubah sesuai kebutuhan beban. Keunggulan dari penggunaan metode DTC adalah performansi motor yang baik, dan bisa dilakukan tanpa menggunakan sensor kecepatan.

Pada penelitian ini metode *Direct Torque Control (DTC)* diimplementasikan secara nyata pada motor induksi 3 fasa. Selain itu ditambahkan juga kontroler *fuzzy self tuning PI* untuk mengatur kecepatan motor induksi agar sesuai dengan kecepatan yang diinginkan, karena pada penelitian sebelumnya penggunaan kontrol PI saja dirasa belum optimal. Kontrol PI konvensional hanya tepat pada plant yang linier dan tidak terjadi perubahan beban, sedangkan untuk beban berubah perlu merubah parameter Kp dan Ki sehingga diperlukan kontrol tambahan sebagai penala untuk parameter PI yaitu dengan menggunakan kontrol logika *fuzzy*.

Pada penelitian ini pengujian dilakukan pada kedua jenis kontrol yaitu kontrol *fuzzy self tuning PI* dan kontrol PI berdasarkan pemberian variasi skenario pembebanan yang telah direncanakan, yaitu kondisi beban nol, beban tetap, beban fluktuatif dan beban fluktuatif acak. Respon kecepatan kontrol *fuzzy self tuning PI* lebih handal dibandingkan kontrol PI dalam mengurangi *overshoot* dan lebih responsif untuk mencapai kecepatan referensinya yaitu 400 rpm terutama saat terjadi fluktuasi beban.

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, yang telah memberikan kemudahan, kesempatan dan kelancaran sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengendalian Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan *Direct Torque Control (DTC)* dengan *Fuzzy Self Tuning PI* pada Beban Fluktuatif”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Program Studi Strata Satu (S1) Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu tersusunnya skripsi ini, khususnya kepada:

1. Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
2. Bapak Sumardi S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.
3. Bapak Dedy Kurnia Setiawan, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah meluangkan waktu, pikiran dan perhatiannya guna memberikan pengarahan dan bimbingan demi terselesaikannya penulisan skripsi ini.
4. Bapak H.R.B. Moch. Gozali, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran dan perhatiannya guna memberikan pengarahan dan bimbingan demi terselesaikannya penulisan skripsi ini.
5. Bapak Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M. dan Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T., selaku Tim Penguji Skripsi yang telah meluangkan waktu dan pikiran serta perhatiannya guna memberikan pengarahan dan koreksi demi terselesaikannya penulisan skripsi ini.
6. Para Dosen beserta seluruh karyawan program-program Teknik Universitas Jember, terima kasih atas segala dukungannya selama ini.
7. Ibunda tercinta (alm) Sri Nursiati dan Nuning Rusdiana, S.E. yang tidak henti-hentinya memanjatkan doa untukku, tanpamu aku tidak akan menjadi seperti ini. Terimakasih atas segala cinta, kasih sayang, kesabaran, doa dan tetesan air mata yang selalu engkau lakukan untuk anakmu.

8. Bapak Mujiono yang selalu memberiku cinta dan kasih sayang yang begitu berarti hingga akhirnya saya dapat memperoleh gelar sarjana teknik (ST).
9. Adikku Kevin Pramesta Dwi Davinda Sakti dan Azza Nasywaa Maulida, ku ucapkan terima kasih karena telah menghiburku disaat penat dan selalu memberiku semangat.
10. Nia Rahmawati, ku ucapkan terima kasih atas kesabaran, doa, ketulusan dan selalu memberikan motivasi yang positif untuk kelancaran tugas akhir ini.
11. Dulurku Teknik Elektro Universitas Jember (PATEK UJ 2010), “Sing Penting Wani Disek”, terima kasih atas dukungan, semangat serta motivasinya.
12. Sahabat-sahabat Gundug Fams, Erfandi Carera, Jhohan Ardiansyah, Fathurrahman Sidik, Bhakti Darmawan, Imron Rosidi, Amir Chalis Ardiansyah, Anis Syahro Warda, yang selalu membuat hidup penuh canda dan tawa, terima kasih atas dukungannya selama ini.
13. Teman-teman yang membantu dalam pengerjaan tugas akhir ini, Terry Intan, Riki Setian, Yusqi Ghiyasil M. dan rekan-rekan Project D seperjuangan diantaranya Gunawan Hadi Prasetyo, dan Bryan Hidayat Sulaiman terima kasih telah membantu, meluangkan waktu, dan memberikan tenaganya.
14. Semua pihak yang turut membantu dalam penyelesaian penelitian ini yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Demi kesempurnaan penulisan laporan proyek akhir ini, selalu diharapkan segala kritik dan saran dari semua pihak. Akhirnya, semoga tulisan ini dapat bermanfaat.

Jember, November 2014

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
ABSTRAK.....	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
RINGKASAN.....	ix
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Motor Induksi 3 Fasa.....	4
2.1.1 Kontruksi Motor Induksi 3 Fasa	4
2.1.2 Prinsip Kerja Induksi 3 Fasa	8
2.1.3 Torsi Motor Induksi 3 Fasa	9
2.2 Inverter Tiga Fasa	11
2.3 <i>Direct Torque Control (DTC)</i>	12
2.3.1 Komparator Histerisis	13
2.3.2 <i>Estimator</i> Fluks dan Torsi	14

2.3.3 <i>Switching Table</i>	15
2.4 Sistem Kontrol Open Loop dan Closed Loop	16
2.4.1 Sistem Kontrol <i>Open Loop</i>	16
2.4.2 Sistem Kontrol <i>Closed Loop</i>	17
2.5 Kontrol PI (<i>Proportional / Integral</i>)	18
2.5.1 Kontrol Proporsional (P)	19
2.5.2 Kontrol Integral (I).....	20
2.5.3 Parameter PI	21
2.6 <i>Fuzzy Logic Controller</i>	22
2.7 Perangkat Lunak Pendukung	26
2.7.1 MATLAB R2008a	26
2.7.2 <i>Fuzzy Logic Toolbox</i>	27
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	33
3.1 Alat dan Bahan	33
3.2 Metode Penelitian	33
3.3 Desain Perancangan Sistem	35
3.3.1 Sumber DC	35
3.3.2 Perancangan <i>Inverter</i> dan Motor Induksi 3 Fasa	36
3.3.3 Perancangan <i>Direct Torque Control (DTC)</i>	38
3.3.4 Pembebanan Motor Induksi 3 Fasa	43
3.3.5 Perancangan Pemodelan Kontrol <i>Fuzzy self tuning PI</i>	46
3.4 Skenario Pengujian Pembebanan Motor Induksi	49
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	51
4.1 Pengujian Tanpa Kontrol	51
4.1.1 Tanpa Beban.....	51
4.1.2 Beban Konstan.....	52
4.1.3 Beban Fluktuatif	53
4.1.4 Beban Fluktuatif Acak	55
4.2 Pengujian dengan Kontrol PI	56
4.2.1 Tanpa Beban.....	56
4.2.2 Beban Konstan.....	57

4.2.3 Beban Fluktuatif	59
4.2.4 Beban Fluktuatif Acak	60
4.3 Pengujian dengan <i>Kontrol Fuzzy self tuning PI</i>	61
4.3.1 Tanpa Beban	61
4.3.2 Beban Konstan	62
4.3.3 Beban Fluktuatif	62
4.3.4 Beban Fluktuatif Acak	64
4.4 Perbandingan Kecepatan tanpa Kontrol, Kontrol PI dan Kontrol <i>Fuzzy Self Tuning PI</i>	65
4.4.1 Tanpa Beban	65
4.4.2 Beban Konstan	67
4.4.3 Beban Fluktuatif	68
4.4.4 Beban Fluktuatif Acak	70
BAB 5 PENUTUP	73
5.1 Kesimpulan	73
5.2 Saran	73
Daftar Pustaka	75
Lampiran	76

DAFTAR TABEL

2.1	<i>Switching Table</i> dari Vektor Tegangan <i>Inverter</i>	15
2.2	Pengaruh K_p dan K_i	21
3.1	Parameter Motor Induksi 200 HP	38
3.2	Kombinasi Posisi Saklar	42
3.3	<i>Rule Base</i> K_p	49
3.4	<i>Rule Base</i> K_i	49
4.1	Skenario Pembebanan Beban Nol	67
4.2	Skenario Pembebanan Beban Konstan	68
4.3	Skenario Pembebanan Beban Fluktuatif	70
4.4	Skenario Pembebanan Beban Fluktuatif (Acak)	72

DAFTAR GAMBAR

2.1	Penampang Stator dan Rotor pada Motor Induksi 3 Fasa.....	5
2.2	Komponen Stator Motor Induksi Tiga Fasa.....	5
2.3	Rotor Belitan	6
2.4	Gambaran Sederhana Bentuk Alur / Slot pada Motor Induksi.....	6
2.5	Motor Induksi Satu Kumparan Stator dan Satu Kumparan Rotor.....	7
2.6	Karakteristik Torsi terhadap Kecepatan Motor	10
2.7	Hubungan antara Torsi dan Slip Motor Induksi.....	10
2.8	Rangkaian <i>Inverter</i> Tiga Fasa.....	11
2.9	<i>Inverter</i> 6 Pulsa Konduksi 180°	12
2.10	Gelombang Tegangan Output <i>Inverter</i> Konduksi 180°	12
2.11	Vektor Tegangan <i>Inverter</i> dan Sektor <i>Switching</i> Fluk Stator pada DTC Konvensional	16
2.12	Sistem Kontrol <i>Open Loop</i>	16
2.13	Sistem Kontrol <i>Closed Loop</i>	17
2.14	Blok Diagram Kp.....	20
2.15	Nilai Kp Kecil.....	20
2.16	Nilai Kp Besar	20
2.17	Blok Diagram Control Integral.....	21
2.18	Respon Sistem.....	22
2.19	Sistem <i>logika fuzzy</i>	22
2.20	Metodologi Pengembangan Sistem <i>Fuzzy</i>	23
2.21	Kurva segitiga	24
2.22	Kurva trapesium.....	25
2.23	Tampilan Awal MATLAB	27
2.24	Tampilan FIS <i>editor</i>	28
2.25	Tampilan <i>membership function editor</i>	29
2.26	Tampilan <i>rule editor</i>	30
2.27	Tampilan <i>rule viewer</i>	31
2.28	Tampilan <i>surface viewer</i>	31

3.1	Alur Tahapan Penelitian.....	34
3.2	Diagram Blok Perancangan Sistem	35
3.3	<i>DC Voltage Source</i>	35
3.4	(a) Rangkaian <i>Inverter</i> 3 Fasa, (b) Pemodelan Blok <i>Inverter</i> 3 Fasa, (c) Parameter <i>Inverter</i> 3 Fasa	36
3.5	Pemodelan Motor Induksi Tiga Fasa	37
3.6	Pemodelan sistem <i>Direct Torque Control</i>	38
3.7	Pemodelan Komparator Histerisis pada DTC	39
3.8	Pemodelan Estimator pada DTC	40
3.9	Pemodelan sektor sudut fluks pada DTC	41
3.10	Pemodelan <i>Switching Table</i> pada DTC	42
3.11	<i>Signal Builder</i>	43
3.12	Kondisi Beban Konstan pada <i>Signal Builder</i>	43
3.13	Grafik Beban Fluktuatif pada <i>Signal Builder</i>	44
3.14	Blok Beban <i>Random</i>	45
3.15	Grafik Beban Fluktuatif <i>Random</i>	45
3.16	Blok Sistem Inferensi <i>Fuzzy</i>	47
3.17	Fungsi Keanggotaan Input <i>Fuzzy</i>	47
3.18	Fungsi Keanggotaan Output <i>Fuzzy</i>	48
3.19	Pemodelan kontrol <i>fuzzy self tuning PI</i>	49
3.20	Kontrol Motor Induksi 3 fasa menggunakan metode <i>DTC</i> dengan kontrol <i>fuzzy self tuning PI</i>	50
4.1	Grafik Kecepatan Tanpa Kontrol pada Beban Nol.....	51
4.2	Grafik Respon Torsi Tanpa Kontrol saat Beban Nol.....	52
4.3	Grafik Respon Kecepatan Tanpa Kontrol saat Beban Konstan	53
4.4	Grafik Respon Torsi Tanpa Kontrol saat Beban Konstan.....	53
4.5	Grafik Respon Kecepatan Tanpa Kontrol saat Beban Fluktuatif	54
4.6	Grafik Respon Torsi Tanpa Kontrol saat Beban Fluktuatif	55
4.7	Grafik Respon Kecepatan Tanpa Kontrol saat Beban Fluktuatif Acak	55
4.8	Grafik Respon Torsi Tanpa Kontrol saat Beban Fluktuatif Acak	56

4.9	Grafik Respon Kecepatan Kontrol PI saat Tanpa Beban.....	56
4.10	Grafik Respon Torsi Kontrol PI saat Tanpa Beban.....	57
4.11	Grafik Respon Kecepatan Kontrol PI saat Beban Konstan.....	58
4.12	Grafik Respon Torsi Kontrol PI saat Beban Konstan.....	58
4.13	Grafik Respon Kecepatan Kontrol PI saat Beban Fluktuatif	59
4.14	Grafik Respon Torsi Kontrol PI saat Beban Fluktuatif	59
4.15	Grafik Respon Kecepatan Kontrol PI saat Beban Fluktuatif Acak	60
4.16	Grafik Respon Torsi Kontrol PI saat Beban Fluktuatif Acak	60
4.17	Grafik Respon Kecepatan Kontrol <i>fuzzy self tuning PI</i> saat Tanpa Beban.....	61
4.18	Grafik Respon Torsi Kontrol <i>fuzzy self tuning PI</i> saat Tanpa Beban	61
4.19	Grafik Respon Kecepatan Kontrol <i>fuzzy self tuning PI</i> saat Beban Konstan.....	62
4.20	Grafik Respon Torsi Kontrol <i>fuzzy self tuning PI</i> saat Beban Konstan	63
4.21	Grafik Respon Kecepatan Kontrol <i>fuzzy self tuning PI</i> Beban Fluktuatif.....	63
4.22	Grafik Respon Torsi Kontrol <i>fuzzy self tuning PI</i> saat Beban Fluktuatif.....	64
4.23	Grafik Respon Kecepatan Kontrol <i>fuzzy self tuning PI</i> saat Beban Fluktuasi Acak	64
4.24	Grafik Respon Torsi Kontrol <i>fuzzy self tuning PI</i> saat Beban Fluktuatif Acak	65
4.25	Grafik Perbandingan Respon Kecepatan saat tanpa Beban	67
4.25	Grafik Perbandingan Respon Kecepatan saat Beban Konstan.....	68
4.25	Grafik Perbandingan Respon Kecepatan saat Beban Fluktuatif	70
4.25	Grafik Perbandingan Respon Kecepatan saat Beban Fluktuatif Acak	72

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Fluk Referensi.....	76
Lampiran 2. Arus Stator Tanpa Kontrol saat Beban Nol.....	76
Lampiran 3. Arus Stator Tanpa Kontrol saat Beban Konstan.....	76
Lampiran 4. Arus Stator Tanpa Kontrol Saat Beban Fluktuatif.....	77
Lampiran 5. Arus Stator Tanpa Kontrol Saat Beban Fluktuatif Acak.....	77
Lampiran 6. Arus Stator Kontrol PI saat tanpa Beban.....	77
Lampiran 7. Arus Stator Kontrol PI saat Beban Konstan.....	78
Lampiran 8. Arus Stator Kontrol PI saat Beban Fluktuatif.....	78
Lampiran 9. Arus Stator Kontrol PI saat Beban Fluktuatif Acak.....	78
Lampiran 10. Arus Stator <i>fuzzy self tuning PI</i> saat tanpa Beban.....	79
Lampiran 11. Arus Stator <i>fuzzy self tuning PI</i> saat Beban Konstan.....	79
Lampiran 12. Arus Stator <i>fuzzy self tuning PI</i> saat Beban Fluktuatif.....	79
Lampiran 13. Arus Stator <i>fuzzy self tuning PI</i> saat Beban Fluktuatif Acak.....	80