



**RANCANG BANGUN SPWM *INVERTER* TIGA FASA MENGGUNAKAN
PI KONTROLER DENGAN TEGANGAN *OUTPUT* KONSTAN
PADA BEBAN BERFLUKTUASI**

SKRIPSI

**Satriyo Bahari Rakhmad
NIM 091910201043**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2013**



**RANCANG BANGUN SPWM *INVERTER* TIGA FASA MENGGUNAKAN
PI KONTROLER DENGAN TEGANGAN *OUTPUT* KONSTAN
PADA BEBAN BERFLUKTUASI**

SKRIPSI

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

**Satriyo Bahari Rakhmad
NIM 091910201043**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2013**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini merupakan langkah awal kesuksesan yang ku raih sebelum menuju kesuksesan selanjutnya dalam hidup ku. Tenaga dan pikiran telah ku korbankan, untuk itu saya ingin mempersembahkan skripsi ini kepada:

Ibunda Sri Mukti Wahyuningsih dan Ayahanda Murdiyanto Sukadari tercinta, yang telah membantu baik moril dan materiil, mendoakan, mendidik, dan memberi kasih sayang serta pengorbanan yang tidak terhingga selama ini;

Saudara kandungku Mas Ardi dan Mas Bonar, terima kasih atas doa dan dukungan yang telah diberikan kepadaku selama ini;

Dosen Pembimbing Skripsi Bapak Dedy Kurnia S. dan Bapak Azmi Saleh, terimakasih atas ketekunan dan kesabarannya dalam membimbing saya;

Keluarga Besar Teknik Elektro Angkatan 2009, aku bangga menjadi angkatan 2009. Terimakasih atas dukungan dan motivasi yang kalian berikan;

Mas Rahman dan Catur sebagai teman senasib seperjuangan;

Project-D dan Laboratorium Konversi Energi Listrik, bersama Anda semua merupakan kenangan dan pengalaman yang tak akan pernah terlupakan;

Guru-guru tercinta TK Bhayangkara, SDN Jember Lor 4, SMPN 1 Jember, SMAN 2 Jember, seluruh dosen Fakultas Teknik Elektro Universitas Jember, terima kasih atas ilmu pengetahuan dan kasih sayang yang telah diberikan;

Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember, terimakasih telah mengantarku menuju masa depan.

MOTTO

*Imajinasi lebih penting dari pengetahuan. Pengetahuan itu terbatas, sedangkan imajinasi meliputi seluruh dunia, merangsang kemajuan, melahirkan evolusi
(Albert Einstein)*

*Berusahalah untuk tidak menjadi manusia yang berhasil tetapi berusahalah menjadi manusia yang bernilai
(Albert Einstein)*

*I'm the master of my fate and the captain of my soul
(Faisyal Rahman)*

*Apa yang kita capai sampai saat ini tidak lepas dari peran orang-orang di sekeliling kita
(Satriyo Bahari)*

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Satriyo Bahari Rakhmad

NIM : 091910201043

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa proyek akhir yang berjudul: **Rancang Bangun SPWM *Inverter* Tiga Fasa Menggunakan PI Kontroler Dengan Tegangan *Output* Konstan Pada Beban Berfluktuasi** adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi mana pun, 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 dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, September 2013

Yang menyatakan,

Satriyo Bahari Rakhmad

NIM. 091910201043

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN SPWM *INVERTER* TIGA FASA MENGGUNAKAN
PI KONTROLER DENGAN TEGANGAN *OUTPUT* KONSTAN
PADA BEBAN BERFLUKTUASI**

Oleh

Satriyo Bahari Rakhmad
NIM 091910201043

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dedy Kurnia Setiawan, ST., MT.
Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Azmi Saleh, ST., MT.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul **Rancang Bangun SPWM *Inverter* Tiga Fasa Menggunakan PI Kontroler Dengan Tegangan *Output* Konstan Pada Beban Berfluktuasi** telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada:

Hari : Jum'at

Tanggal : 27 September 2013

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,

Dedy Kurnia Setiawan, ST., MT.
NIP. 19800610 200501 1 003

Dr. Azmi Saleh, ST., MT.
NIP. 19710614 199702 1 001

Penguji I,

Penguji II,

Dr. Triwahju Hardianto S.T., MT.
NIP. 19700826 199702 1 001

Andi Setiawan S.T., M.T
NIP. 19691010 199702 1 001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik,

Ir. Widyono Hadi, MT.
NIP. 19610414 198902 1 001

**Rancang Bangun SPWM *Inverter* Tiga Fasa Menggunakan
PI Kontroler Dengan Tegangan *Output* Konstan
Pada Beban Berfluktuasi**

Satriyo Bahari Rakhmad

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRAK

Penggunaan sumber-sumber energi terbarukan yang menghasilkan sumber tegangan DC berkembang dengan pesat, namun perangkat AC lebih banyak digunakan dalam masyarakat sehingga diperlukan *inverter* untuk mengubah tegangan DC menjadi AC. Ada beberapa teknik *switching* yang digunakan dalam *inverter* tiga fasa, salah satunya adalah teknik *switching SPWM*. Saat *inverter* tiga fasa dibebani oleh beban yang fluktuatif, akan menyebabkan *drop*-nya tegangan *output inverter*. Pengendalian tegangan *output inverter* agar konstan dibutuhkan untuk menjaga kondisi peralatan elektronik yang menggunakan sumber *inverter* tiga fasa. Pengendalian *inverter inverter* tiga fasa dengan tegangan *output* konstan dilakukan menggunakan PI Kontroler. Berdasarkan pada pengujian terhadap alat yang dibuat diberi bukti bahwa tingkat keefektifan pengendalian tegangan *output inverter* tiga fasa menggunakan PI Kontroler memiliki respon yang baik terhadap beban fluktuatif.

Kata Kunci: *Inverter tiga fasa, switching SPWM, PI kontroler, tegangan output konstan, beban fluktuatif.*

**Design of Three-Phase SPWM Inverter Using
PI Controller With Constant Output Voltage
On The Fluctuating Load**

Satriyo Bahari Rakhmad

Departement of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember

ABSTRACT

The use of renewable energy sources that produce a DC voltage source is growing rapidly, however the AC is more widely used in society that needed an inverter to convert the DC voltage into AC. There are several techniques used in three-phase inverter switching, one of which is the SPWM switching technique. When inverter loaded by fluctuating load, will cause inverter output voltage drop. Three-phase inverter output voltage control is needed to maintain the condition of electronic equipments that uses three-phase inverter as voltage source. Control of inverter with constant output voltage performed by using a PI controller. Based on testing of the hardware shown that the effectiveness of the control of three-phase inverter output voltage using a PI controller has a good response on the fluctuating load.

Keywords: *three-phase phase inverter, SPWM switching, PI controller, constant output voltage, fluctuating load.*

RINGKASAN

Rancang Bangun SPWM *Inverter* Tiga Fasa Menggunakan PI Kontroler Dengan Tegangan *Output* Konstan Pada Beban Berfluktuasi; Satriyo Bahari Rakhmad, 091910201043; 2013: 118 halaman; Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember

Perkembangan yang pesat pada dunia elektronika daya saat ini memunculkan beberapa perangkat konverter daya dengan teknik konversi yang beragam. Terdapat empat teknik konversi dasar yang dapat diimplementasikan, yaitu AC-AC *converter*, AC-DC *rectifier*, DC-AC *inverter* dan DC-DC *chopper*.

Inverter merupakan suatu perangkat konverter daya yang digunakan untuk mengkonversikan sumber DC menjadi sumber AC dengan mengatur tegangan dan frekuensi. *Inverter* biasa digunakan dalam pengaplikasian energi alternatif yang menghasilkan sumber DC. Pengkonversian sumber DC menjadi sumber AC menggunakan *inverter*, membutuhkan suatu komponen transistor daya yang digunakan sebagai saklar elektrik. Transistor daya membutuhkan suatu metode *switching* agar dapat menghantarkan dan memutuskan arus listrik pada periode tertentu. Salah satunya dengan metode *switching Sinusoidal Pulse Width Modulation* (SPWM). SPWM sering digunakan karena teknik ini dapat mempertahankan kinerja yang baik untuk mengendalikan *switching*.

Inverter yang digunakan diharapkan mampu menjadi sumber utama berbagai macam beban. Penambahan dan pengurangan beban pada *inverter* yang dilakukan secara fluktuasi mengakibatkan kondisi tegangan *output inverter* menjadi tidak stabil. Kondisi *inverter* yang seperti ini dapat memperpendek umur perangkat elektronik. Upaya menjaga tegangan *output inverter* agar senantiasa konstan, dibutuhkan suatu sistem kontrol. Salah satunya adalah Proporsional Integral (PI) Kontroler. Penelitian ini menggunakan PI kontroler ditujukan untuk mengatur *switching* yang akan diberikan pada perangkat transistor daya agar menghasilkan tegangan *output inverter* yang konstan saat mengalami perubahan kondisi pembebanan.

PRAKATA

Bismillahirrohmanirrohim

Puji syukur ke hadirat Allah swt. atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga laporan tugas akhir yang berjudul **Rancang Bangun SPWM Inverter Tiga Fasa Menggunakan PI Kontroler Dengan Tegangan Output Konstan Pada Beban Berfluktuasi** dapat terselesaikan dengan baik. Laporan tugas akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Terselesaikannya skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu disampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Ir. Widyono Hadi, MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Sumardi, ST., MT selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember;
3. Dedy Kurnia Setiawan, ST., MT selaku dosen pembimbing Utama dan Dr. Azmi Saleh, ST., MT selaku dosen pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu dan pikiran serta perhatiannya guna memberikan bimbingan dan pengarahan demi terselesaikannya penulisan laporan tugas akhir ini;
4. Bapak Ir. Widyono Hadi, MT dan Bapak Dr. Triwahju Hardianto, ST., MT., selaku Tim Penguji Skripsi yang telah meluangkan waktu dan pikiran serta perhatiannya guna memberikan pengarahan demi terselesaikannya penulisan skripsi ini;
5. Ibunda Sri Mukti Wahyuningsih dan Ayahanda Murdiyanto Sukadari tercinta, yang telah membantu baik moril dan materiil, mendoakan, mendidik, dan memberi kasih sayang serta pengorbanan yang tidak terhingga selama ini;
6. Saudara kandungku Mas Ardi dan Mas Bonar, terima kasih atas doa dan dukungan yang telah diberikan kepadaku selama ini;

7. Anggota grup band Kaze, Fariskun, Ujokun dan Aikun, kalian istimewa dan bersama kalian sejak SMA membuatku yakin dengan mimpi-mimpiku;
8. Keluarga KOTA, Mas Nug, Dawan, Dito, Fathur, Yoga, Adi, Rony, Rino, Intan, Revi, Bunge, Anin dan Natasha, kalian tidak tergantikan. Terimakasih atas indahnya persaudaraan, kasih sayang, doa, semangat, dukungan dan kepercayaan yang kalian berikan selama ini;
9. Faisyal Rahman, Catur Hendrawan, Bayu Sovan, Arizal Mujibtamala, Wahyu Muldayani, Mirza Syaif, Dimas Agus, Yusuf Afandi dan teman-teman seperjuangan di teknik elektro yang telah membantu meluangkan pikiran dan tenaga demi terselesaikannya laporan tugas akhir ini;
10. Keluarga Besar Teknik Elektro Angkatan 2009, aku bangga menjadi angkatan 2009. Terimakasih atas dukungan dan motivasi yang kalian berikan;
11. Teman-teman elektro Angkatan 2008, 2010, 2011, Project-D, Laboratorium Konversi Energi Listrik, Bibot dan UPT-PK Jember, bersama Anda semua merupakan kenangan dan pengalaman yang tak akan pernah terlupakan;

Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat dalam mengembangkan ilmu pengetahuan khususnya untuk disiplin ilmu teknik elektro, kritik dan saran diharapkan terus mengalir untuk lebih menyempurnakan proyek akhir ini dan diharapkan dapat dikembangkan untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

Jember, September 2013

Penyusun

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERSEMBAHAN	ii
MOTTO	iii
PERNYATAAN	iv
LEMBAR PEMBIMBING	v
PENGESAHAN.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	viii
RINGKASAN.....	ix
PRAKATA	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xix
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat	4
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Voltage Source Inverter (VSI) 3 Fasa.....	5
2.1.1 Inverter Satu Fasa	6

2.1.2 <i>Inverter</i> Tiga Fasa.....	6
2.2 Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (MOSFET)	8
2.2.1 MOSFET Jenis NPN.....	11
2.2.2 MOSFET Jenis PNP	11
2.3 Teknik Modulasi Lebar Pulsa (PWM)	12
2.3.1 <i>Sinusoidal Pulse Width Modulation</i> (SPWM).....	13
2.4 Proporsional Integral (PI) Kontroler	16
2.4.1 Aksi Kontrol Proporsional.....	17
2.4.2 Aksi Kontrol Integral	17
2.4.3 Aksi Kontrol Proporsional Integral.....	17
2.4.4 Penentuan Parameter K_p dan T_i	20
2.5 Beban Tiga Fasa	23
2.5.1 Beban Konstan.....	23
2.5.2 Beban Fluktuasi	23
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	26
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	26
3.2 Alat dan Bahan	26
3.2.1 Bahan	26
3.2.2 Alat.....	27
3.3 Metode Penelitian	27
3.4 Perancangan Simulasi SPWM <i>Inverter</i> 3 Fasa dengan PI Kontroler	30
3.4.1 Pemodelan Sumber DC	31
3.4.2 Pemodelan <i>Inverter</i> Tiga Fasa	31
3.4.3 Pemodelan <i>Switching</i> SPWM.....	33
3.4.4 Pemodelan Sensor Tegangan.....	38
3.4.5 Pemodelan PI Kontroler	39
3.4.6 Pemodelan Beban Tiga Fasa	45

3.5 Rancang Bangun SPWM <i>Inverter</i> Tiga Fasa dengan PI Kontroler.....	45
3.5.1 Sumber Tegangan AC Satu Fasa	46
3.5.2 Penyearah Jembaan Penuh	46
3.5.3 Rangkaian <i>Driver Inverter Tiga Fasa</i>	47
3.5.4 <i>Inverter Tiga Fasa</i>	48
3.5.5 <i>Switching SPWM</i>	49
3.5.6 Sensor Tegangan.....	51
3.5.7 Pembebanan <i>Inverter Tiga Fasa</i>	51
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	55
4.1 Sumber DC pada <i>Inverter Tiga Fasa</i>.....	55
4.2 Proses Metode <i>Switching SPWM</i>	57
4.3 Pengujian Tegangan SPWM <i>Inverter Tiga Fasa</i>.....	61
4.4 Pengujian Sensor Tegangan AC.....	65
4.5 Pengujian <i>Inverter Tiga Fasa</i>.....	66
4.5.1 Pengujian Berbeban tanpa PI Kontroler.....	67
4.5.2 Pengujian Berbeban dengan PI Kontroler	79
BAB 5 PENUTUP	95
5.1 Kesimpulan	95
5.2 Saran	96
DAFTAR PUSTAKA.....	97
LAMPIRAN.....	98

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Pembebanan <i>Inverter</i> Tiga Fasa pada Industri Rumah Tangga	2
Gambar 2.1 Prinsip Kerja <i>Inverter</i> Satu Fasa	6
Gambar 2.2 Rangkaian <i>Inverter</i> Tiga Fasa.....	7
Gambar 2.3 <i>Inverter</i> 6 pulsa konduksi 180°	7
Gambar 2.4 Gelombang Tegangan <i>Output Inverter</i> Konduksi 180°	8
Gambar 2.5 Bentuk Fisik MOSFET.....	9
Gambar 2.6 Konfigurasi Dasar <i>MOSFET</i>	10
Gambar 2.7 Prinsip Kerja MOSFET Jenis NPN.....	11
Gambar 2.8 Prinsip Kerja MOSFET Jenis PNP	12
Gambar 2.9 Sinyal gating dan tegangan keluaran SPWM 3 Fasa.....	13
Gambar 2.10 <i>Output</i> Tegangan <i>Line-line Inverter</i> Tiga Fasa	15
Gambar 2.11 Gambar gelombang saat transien hingga <i>steady state</i>	18
Gambar 2.12 Diagram PI Suatu Sistem.....	19
Gambar 2.13 Kurva <i>Respon Time</i> dengan 25% <i>Overshoot</i>	20
Gambar 2.14 Kurva Respon Berbentuk S.....	21
Gambar 2.15 Osilasi Berkesinambungan dari Periode Pcr.....	22
Gambar 2.16 Beban <i>Wye</i> (kiri) dan Beban <i>Delta</i> (kanan)	24
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Tahapan Penelitian	28
Gambar 3.2 <i>Flowchart</i> Pengujian SPWM <i>Inverter</i> Tiga Fasa.....	29
Gambar 3.3 Pemodelan Keseluruhan pada Simulasi <i>Software</i> MATLAB.....	30
Gambar 3.4 Pemodelan Sumber DC	31
Gambar 3.5 Pemodelan <i>Inverter</i> Tiga Fasa	31
Gambar 3.6 Cara Kerja <i>Switching</i> MOSFET.....	32
Gambar 3.7 Pemodelan <i>Switching</i> SPWM	33
Gambar 3.8 Modulasi Gelombang <i>Switching</i>	34
Gambar 3.9 Gelombang <i>Switching</i> Kondisi <i>Overmodulation</i>	34
Gambar 3.10 Gelombang <i>Switching</i> Hasil Modulasi dengan $m=1$ dan $m=0,8$	35

Gambar 3.11 Banyaknya δ dalam Gelombang Fasa	35
Gambar 3.12 Pemodelan Sensor Tegangan	38
Gambar 3.13 Pemodelan PI Kontroler	39
Gambar 3.14 Pemodelan <i>Input</i> PI Kontroler	40
Gambar 3.15 Penentuan Nilai K_p pada Simulasi.....	42
Gambar 3.16 Penentuan Nilai K_i pada Simulasi.....	44
Gambar 3.17 Pemodelan Beban Tiga Fasa.....	45
Gambar 3.18 Sistem <i>close loop</i>	46
Gambar 3.19 Rangkaian penyearah	47
Gambar 3.20 Rangkaian driver <i>Inverter</i> 3 Fasa.....	48
Gambar 3.21 Rangkaian <i>Inverter</i> Tiga fasa.....	48
Gambar 3.22 Pembentukan Gelombang <i>Carrier</i> Segitiga.....	49
Gambar 3.23 Modulasi Gelombang Sinus dan Segitiga.....	50
Gambar 3.24 Rangkaian Sensor Tegangan.....	51
Gambar 3.25 Rangkaian Beban Tiga Fasa Seimbang	52
Gambar 3.26 Rangkaian Beban Motor Induksi Tiga Fasa	53
Gambar 3.27 <i>Name Plate</i> Motor Induksi Tiga Fasa.....	54
Gambar 3.28 Rangkaian Beban Motor Induksi Tiga Fasa Berbeban Mekanik	54
Gambar 4.1 Nilai Tegangan Keluaran pada Penyearah.....	55
Gambar 4.2 Gelombang Tegangan Keluaran pada Penyearah	56
Gambar 4.3 Gelombang <i>Switching</i> MOSFET 1 pada Simulasi.....	59
Gambar 4.4 Gelombang <i>Switching</i> MOSFET 4 pada Simulasi.....	59
Gambar 4.5 Gelombang <i>Switching</i> MOSFET 2 pada Simulasi.....	59
Gambar 4.6 Gelombang <i>Switching</i> MOSFET 5 pada Simulasi.....	59
Gambar 4.7 Gelombang <i>Switching</i> MOSFET 3 pada Simulasi.....	60
Gambar 4.8 Gelombang <i>Switching</i> MOSFET 6 pada Simulasi.....	60
Gambar 4.9 Gelombang <i>Switching Ouput</i> Mikrokontroler MOSFET 1 (atas) dan MOSFET 4 (bawah).....	60
Gambar 4.10 Gelombang <i>Switching Ouput</i> Mikrokontroler	61

Gambar 4.11 Hasil Pengujian Tegangan <i>Line-Line Output</i> Simulasi	62
Gambar 4.12 Hasil Pengujian Tegangan <i>Line-Line</i> dan Frekuensi <i>Output</i> Alat ...	62
Gambar 4.13 Gelombang <i>Output</i> Tegangan R-S pada Simulasi	63
Gambar 4.14 Gelombang <i>Output</i> Tegangan S-T pada Simulasi.....	63
Gambar 4.15 Gelombang <i>Output</i> Tegangan R-T pada Simulasi	63
Gambar 4.16 Gelombang <i>Output</i> Tegangan R-S pada Alat	64
Gambar 4.17 Gelombang <i>Output</i> Tegangan S-T pada Alat	64
Gambar 4.18 Gelombang <i>Output</i> Tegangan R-T pada Alat	64
Gambar 4.19 Nilai <i>Output</i> Tegangan pada Sensor Tegangan AC	66
Gambar 4.20 Tegangan Fasa R-S dengan Beban 25 W Tiap Fasa	69
Gambar 4.21 Tegangan Fasa R-S dengan Beban 100 W Tiap Fasa	69
Gambar 4.22 Hasil Pengujian Simulasi <i>Inverter</i> Tiga Fasa Pembebanan Fluktuatif Rendah, Sedang, Tinggi (dari atas ke bawah)	70
Gambar 4.23 Grafik Hasil Simulasi dan Alat pada Fluktuasi Rendah.....	73
Gambar 4.24 Grafik Hasil Simulasi dan Alat pada Fluktuasi Sedang	73
Gambar 4.25 Grafik Hasil Simulasi dan Alat pada Fluktuasi Tinggi	73
Gambar 4.26 Hasil Pengujian Simulasi <i>Inverter</i> Tiga Fasa Pembebanan Motor Induksi Tiga Fasa dan Pembebanan Fluktuatif	74
Gambar 4.27 Hasil Pengujian Simulasi <i>Inverter</i> Tiga Fasa Pembebanan Motor Induksi Tiga Fasa dan Pembebanan Fluktuatif 300 W.....	78
Gambar 4.28 Grafik Hasil Simulasi dan Alat Pembebanan Motor Induksi Tiga Fasa dan Beban Tiga Fasa Seimbang Fluktuatif.....	78
Gambar 4.29 <i>Output</i> Tegangan <i>Line-line Inverter</i> Tiga Fasa dengan PI Kontroler	79
Gambar 4.30 Hasil Pengujian Simulasi <i>Inverter</i> Tiga Fasa Menggunakan PI Kontroler Pembebanan Fluktuatif Rendah, Sedang, Tinggi (dari atas ke bawah)	83
Gambar 4.31 Grafik Hasil Simulasi dan Alat Menggunakan PI Kontrol pada Fluktuasi Rendah	86

Gambar 4.32 Grafik Hasil Simulasi dan Alat Menggunakan PI Kontrol pada Fluktuasi Sedang.....	86
Gambar 4.33 Grafik Hasil Simulasi dan Alat Menggunakan PI Kontrol pada Fluktuasi Tinggi.....	86
Gambar 4.34 Hasil Pengujian Simulasi <i>Inverter</i> Tiga Fasa Pembebanan Motor Induksi Tiga Fasa dan Pembebanan Fluktuatif	88
Gambar 4.35 Pengujian <i>Inverter</i> Tiga Fasa Menggunakan PI Kontroler Pembebanan Motor Induksi Tiga Fasa dan Beban Tiga Fasa Fluktuatif.....	91
Gambar 4.36 Grafik Hasil Simulasi dengan Alat Menggunakan PI Kontrol saat Pembebanan Motor Induksi Tiga Fasa dan Beban Tiga Fasa Seimbang	91

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Aturan <i>Tuning</i> Zieger-Nichols Metode Pertama	21
Tabel 2.2 Aturan <i>Tuning</i> Zieger-Nichols Metode Kedua.....	22
Tabel 3.1 Penentuan Nilai Kp pada Simulasi	43
Tabel 3.2 Penentuan Nilai Ki pada Simulasi	43
Tabel 4.1 Perbandingan Tegangan <i>Line-line Output</i> Simulasi dan Alat.....	65
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Simulasi dengan Beban Tiga Fasa Seimbang	67
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Alat dengan Beban Tiga Fasa Seimbang	68
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Simulasi dengan Beban Motor Induksi Tiga Fasa	74
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Alat dengan Beban Motor Induksi Tiga Fasa	75
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Simulasi dengan Beban Tiga Fasa Seimbang	81
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Alat dengan Beban Tiga Fasa Seimbang	82
Tabel 4.8 Hasil Pengujian Simulasi dengan Beban Motor Induksi Tiga Fasa	87
Tabel 4.9 Hasil Pengujian Alat dengan Beban Motor Induksi Tiga Fasa	88
Tabel 4.10 Nilai Arus pada Pengujian Alat	92