



**PENGENDALIAN TEGANGAN INVERTER 3 FASA MENGGUNAKAN
SINUSOIDAL PULSE WIDTH MODULATION PADA BEBAN
FLUKTUATIF DENGAN FAKTOR DAYA RENDAH**

SKRIPSI

Oleh

**Catur Hendrawan Andri Prakoso
NIM 081910201013**

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



**PENGENDALIAN TEGANGAN INVERTER 3 FASA MENGGUNAKAN
SINUSOIDAL PULSE WIDTH MODULATION PADA BEBAN
FLUKTUATIF DENGAN FAKTOR DAYA RENDAH**

SKRIPSI

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

Oleh

**Catur Hendrawan Andri Prakoso
NIM 081910201013**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK
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 selama hampir 5 tahun. Untuk itu saya ingin mempersembahkan karya ini kepada:

Ibunda Endang Sofianingsih, Ayahanda Sutrisno serta Kakakku Ariestina, Aqualina, Rizky, Keponakanku Galan dan Gading, terima kasih atas doa, dukungan, ketulusan, kasih sayang, kesabaran, dan ketabahiannya,

Hapsari Resintan sebagai tempat berbagi suka dan duka yang tidak akan terlupakan, terima kasih atas kesabarannya

Uyab, Tama, Wahyu karena ga ada kalian aku tidak akan seperti ini.

Andre dan Lukman sebagai teman pelepas penat di pikiran

Pembimbing terbaikku bapak Dedy K.S, Temen-temen elektro Angkatan 2008, dan teman – teman ProjectD bersama Anda semua sungguh merupakan kenangan terindah yang tak akan pernah terlupakan;

Rahman dan Satriyo sebagai teman senasib seperjuangan

Guru-guruku sejak TK sampai Perguruan Tinggi yang terhormat, terima kasih telah memberikan ilmu dan mendidik dengan penuh kesabaran;

Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.

MOTTO

*“Our Greatest Glory Is Not In Never Failing, But In Rising Up Every Time
We Fail”
(Ralph Waldo Emerson)*

*“Akan Ada Waktunya Untuk Semua Hal Yang Kita Harapkan”
(Hapsari Resintan)*

*“Sesuatu Yang Berharga Tidak Akan Didapat Dengan Cara Yang Mudah,
Jangan Pernah Mundur Dengan Apa Yang Kau Yakini Untuk Dijalani”
(Catur Hendrawan, ST)*

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Catur Hendrawan Andri Prakoso

NIM : 081910201013

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa proyek akhir yang berjudul: **Pengendalian Tegangan Inverter 3 Fasa Menggunakan Sinusoidal Pulse Width Modulation Pada Beban Fluktuatif dengan Faktor Daya Rendah** 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, Juni 2013

Yang menyatakan,

Catur Hendrawan A.P.

NIM. 081910201013

SKRIPSI

PENGENDALIAN TEGANGAN INVERTER 3 FASA MENGGUNAKAN SINUSOIDAL PULSE WIDTH MODULATION PADA BEBAN FLUKTUATIF DENGAN FAKTOR DAYA RENDAH

Oleh

Catur Hendrawan Andri Prakoso

NIM 081910201013

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dedy Kurnia Setyawan, ST., MT.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Azmi Saleh, ST., MT.



PENGESAHAN

Skripsi berjudul **Pengendalian Tegangan Inverter 3 Fasa Menggunakan Sinusoidal Pulse Width Modulation Pada Beban Fluktuatif dengan Faktor Daya Rendah** telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada:

Hari : Senin

Tanggal : 27 Mei 2013

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Pembimbing Utama (Ketua Penguji),

Pembimbing Anggota (Sekretaris),

Dedy Kurnia Setiawan, ST., MT..

NIP. 19800610 200501 1 003

Dr. Azmi Saleh, ST., MT.

NIP. 19710614 199702 1 001

Penguji I,

Penguji II,

Suprihadi Prasetyono, ST., MT.

NIP. 19670113 199803 1 002

Ir. Widyono Hadi, MT.

NIP. 19610414 198902 1 001

Mengesahkan

Dekan,

Ir. Widyono Hadi, MT.

NIP. 19610414 198902 1 001

Pengendalian Tegangan Inverter 3 Fasa Menggunakan Sinusoidal Pulse Width Modulation Pada Beban Fluktuatif Dengan Faktor Daya Rendah

Catur Hendrawan Andri Prakoso

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRAK

Perangkat semikonduktor banyak digunakan dalam konverter daya untuk membantu untuk mengubah tegangan dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Inverter digunakan untuk mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC dengan mengatur tegangan dan frekuensi. Teknik pemicuan inverter pada penelitian ini menggunakan *Sinusoidal Pulse Width Modulation* (SPWM). Beban fluktuatif dengan faktor daya rendah menyebabkan penurunan tegangan keluaran inverter 3 fasa dari kondisi tanpa beban sebesar 218 volt menjadi 207 volt saat dibebani LHE 44 Watt. Semakin tinggi nilai fluktuasi pada pembebanan tidak seimbang, menyebabkan semakin tingginya persentase ketidakseimbangan, hal ini dapat dilihat dari nilai persentase ketidakseimbangan yang mencapai 3,48%. Nilai faktor daya juga mempengaruhi penurunan tegangan keluaran inverter dimana saat dibebani 20 watt dengan $\cos\phi$ 0,68 nilai tegangan keluarannya menjadi 211 volt, saat $\cos\phi$ 0,91 nilai tegangan keluarannya menjadi 213 volt, dan saat $\cos\phi$ 1 nilai tegangan keluarannya menjadi 216 volt.

kata kunci : Inverter 3 Fasa, Sinusoidal Pulse Width Modulation, beban fluktuatif, faktor daya.

Control Voltage 3 Phase Inverter Using Sinusoidal Pulse Width Modulation In Fluctuating Load With Low Power Factor

Catur Hendrawan Andri Prakoso

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember

ABSTRACT

Semiconductor devices are widely used in power converters to help to change the voltage from one form to another. Inverters are used to convert the DC voltage into AC voltage with adjust the voltage and frequency. Inverter switching technique in this study using Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM). Fluctuating loads with low power factor causes a decrease in the output voltage of the 3 phase inverter from no-load condition of 218 volts to 207 volts when loaded with LHE 44 Watt. Higher value of fluctuations in unbalanced load causes higher percentage of imbalance, it can be seen from the percentage of imbalance which reached 3.48%. Value of the power factor also affects the voltage drop across the output inverter when loaded with 20 watt output voltage value $\cos\phi$ 0.68 to 211 volts, current output voltage value $\cos\phi$ 0.91 to 213 volts, and the current value $\cos\phi$ 1 output voltage to 216 volts.

keywords: 3 phase inverter, Sinusoidal Pulse Width Modulation, fluctuating loads, power factor.

RINGKASAN

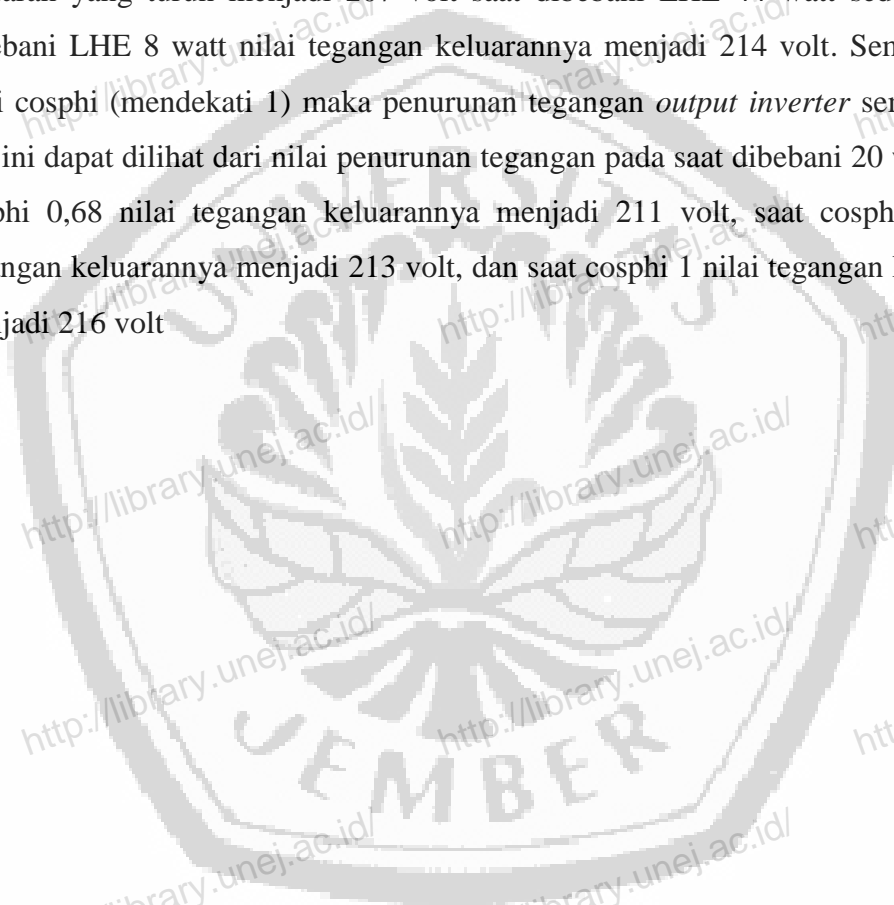
Pengendalian Tegangan Inverter 3 Fasa Menggunakan Sinusoidal Pulse Width Modulation Pada Beban Fluktuatif Dengan Faktor Daya Rendah; Catur Hendrawan Andri Prakoso, 081910201013; 2013: 78 halaman; Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember

Aplikasi perangkat semikonduktor di bidang tenaga listrik terus meningkat seiring dengan perjalanan waktu. Perangkat semikonduktor banyak digunakan dalam konverter daya untuk membantu untuk mengubah tegangan dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Inverter digunakan untuk mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC dengan mengatur tegangan dan frekuensi. Teknik pemucuan inverter pada penelitian ini menggunakan *Sinusoidal Pulse Width Modulation* (SPWM) dimana untuk menghasilkan sinyal, gelombang segitiga dibandingkan dengan 3 gelombang sinus yang berbeda 120° .

Pengujian dilakukan dengan memberikan beban fluktuatif seimbang dan tidak seimbang berupa lampu hemat energi (LHE). Pengujian beban fluktuatif seimbang dilakukan dengan memberikan beban dengan nilai daya yang sama pada masing-masing fasanya. Pengujian beban fluktuatif tidak seimbang dilakukan dengan memberikan beban dengan nilai daya yang berbeda-beda pada masing-masing fasanya. Pengujian juga dilakukan dengan memberikan fluktuasi waktu perubahan beban mulai dari fluktuasi waktu rendah, sedang, tinggi, dan acak.

Kesimpulan yang dapat diambil antara lain SPWM *inverter* 3 fasa mampu bekerja dengan baik dalam berbagai macam fluktuasi tegangan dengan memiliki nilai selisih kenaikan dan penurunan tegangan yang relatif sama dengan simulasi. Pada kondisi pembebanan seimbang, Inverter mampu bekerja dengan baik pada berbagai kondisi fluktuasi waktu perubahan beban. Hal ini ditunjukkan dengan nilai penurunan tegangan yang sama saat dibebani LHE 8 watt yaitu tegangan keluaran inverter menjadi 214 volt. SPWM *inverter* 3 fasa mampu bekerja dengan baik merespon fluktuasi beban. Hal ini dibuktikan dengan nilai penurunan tegangan yang sama pada berbagai kondisi fluktuasi beban saat dibebani LHE dengan kombinasi 8 watt, 12

watt, dan 24 watt. Semakin tinggi nilai fluktuasi pada pembebanan tidak seimbang, menyebabkan semakin tingginya persentase ketidakseimbangan, hal ini dapat dilihat dari nilai persentase ketidakseimbangan yang mencapai 3,48% pada pembebanan tidak seimbang fluktuasi tinggi. Semakin tinggi fluktuasi beban menyebabkan penurunan tegangan yang semakin besar pula. Hal ini dapat dilihat dari nilai tegangan keluaran yang turun menjadi 207 volt saat dibebani LHE 44 watt sedangkan saat dibebani LHE 8 watt nilai tegangan keluarannya menjadi 214 volt. Semakin tinggi nilai $\cos\phi$ (mendekati 1) maka penurunan tegangan *output inverter* semakin kecil. Hal ini dapat dilihat dari nilai penurunan tegangan pada saat dibebani 20 watt dengan $\cos\phi$ 0,68 nilai tegangan keluarannya menjadi 211 volt, saat $\cos\phi$ 0,91 nilai tegangan keluarannya menjadi 213 volt, dan saat $\cos\phi$ 1 nilai tegangan keluarannya menjadi 216 volt



PRAKATA

Bismillahirrohmanirrohim

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga laporan tugas akhir yang berjudul **Pengendalian Tegangan Inverter 3 Fasa Menggunakan Sinusoidal Pulse Width Modulation Pada Beban Fluktuatif Dengan Faktor Daya Rendah** 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.

Terselesainya 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 terselesainya penulisan laporan tugas akhir ini;
4. Bapak Suprihadi Prasetyono, ST., MT. dan Bapak Ir. Widyono Hadi, MT, selaku Tim Penguji Skripsi yang telah meluangkan waktu dan pikiran serta perhatiannya guna memberikan pengarahan demi terselesainya penulisan skripsi ini;
5. Ibunda Endang Sofianingsih, Ayahanda Sutrisno, Kakakku Ariestina, Aqualina, Rizky, keponakanku Gallan, dan Gading terima kasih atas doa, dukungan, ketulusan, kasih sayang, kesabaran, ketabahan dan doa restunya;
6. Bayu Sovan, Arizal Mujibtamala, Wahyu Nekongmata, Mirza Syaif dan teman-teman seperjuangan di teknik elektro yang telah membantu

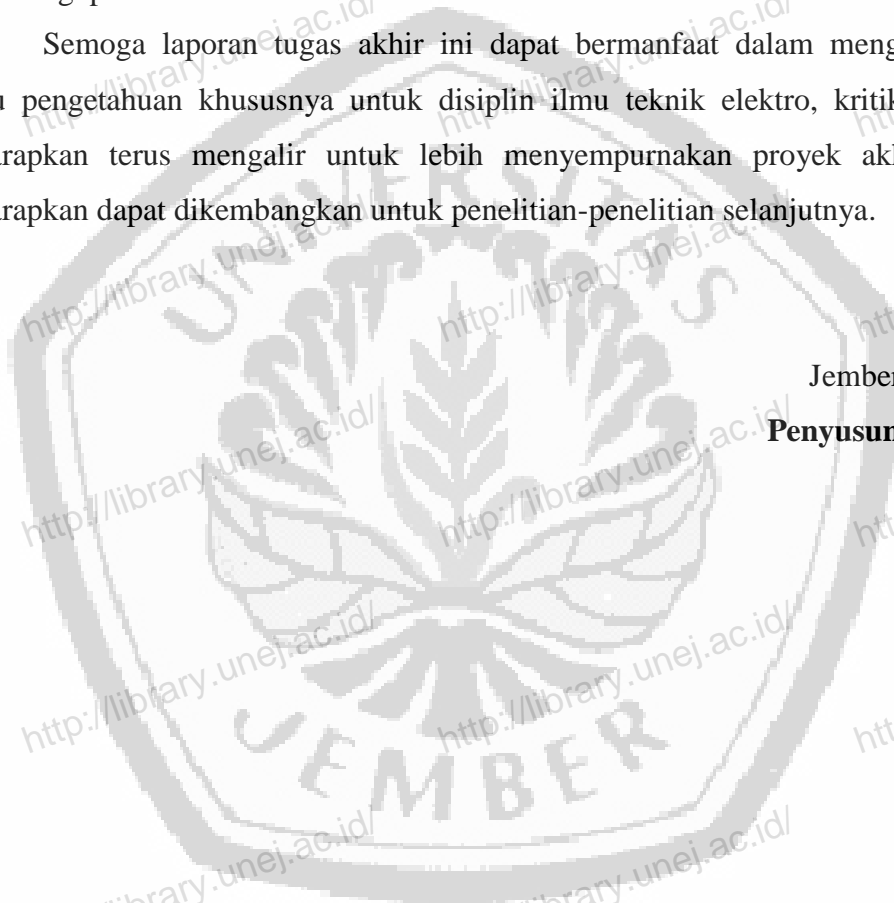
meluangkan pikiran dan tenaga demi terselesaikannya laporan tugas akhir ini.

7. Hapsari Resintan I. yang telah banyak memberikan dorongan semangat untuk segera menyelesaikan skripsi ini.
8. Andre dan Lukman yang telah banyak berbagi waktu untuk memancing dan ngopi.

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, Juni 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..... | xi |
| DAFTAR ISI..... | xiii |
| DAFTAR GAMBAR..... | xvi |
| DAFTAR GRAFIK..... | xix |
| DAFTAR TABEL..... | xx |
| BAB 1. PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Tujuan..... | 3 |
| 1.4 Manfaat..... | 3 |
| 1.5 Batasan Masalah..... | 3 |
| BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA | 4 |
| 2.1 <i>Voltage Source Inverter (VSI) 3 Fasa</i> | 4 |
| 2.1.1 <i>Inverter</i> | 4 |
| 2.1.2 <i>Inverter 1 Fasa</i> | 5 |
| 2.1.3 <i>Inverter 3 Fasa</i> | 5 |
| 2.2 MOSFET (<i>Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor</i>) | 7 |

| | |
|--|-----------|
| 2.3 Pengendali Tegangan <i>Voltage Source Inverter</i> 3 Fasa..... | 11 |
| 2.3.1 Teknik Modulasi Lebar Pulsa (PWM) | 11 |
| 2.3.2 Multiple Pulse Width Modulation (MPWM) | 13 |
| 2.3.3 Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) Unipolar | 14 |
| 2.3.4 Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) Bipolar | 16 |
| 2.3.5 Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) | 18 |
| 2.4 Mikrokontroler AVR | 20 |
| 2.5 <i>Optocoupler</i> | 21 |
| 2.6 Beban | 22 |
| 2.6.1 Beban Linier | 22 |
| 2.6.2 Beban Non Linier | 23 |
| 2.6.2.1. Definisi dan Proses Kerja Lampu Hemat Energi..... | 23 |
| 2.6.2.2. Bentuk Lampu Hemat Energi (<i>compact fluorescent</i>)..... | 24 |
| 2.6.3 Beban Konstan..... | 26 |
| 2.6.4 Beban Berubah | 27 |
| 2.7 Faktor Daya | 27 |
| BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN | 31 |
| 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian | 31 |
| 3.2 Alat dan bahan | 31 |
| 3.3 Metode Penelitian..... | 32 |
| 3.4 Perancangan Simulasi..... | 34 |
| 3.4.1 Pemodelan Rangkaian Pemicu SPWM | 34 |
| 3.4.2 Pemodelan Rangkaian SPWM Inverter 3 Fasa | 35 |
| 3.4.3 Pemodelan Beban Fluktuatif dengan Faktor Daya Rendah..... | 36 |
| 3.4.4 Pemodelan SPWM <i>Inverter</i> 3 Fasa Secara Keseluruhan | 37 |
| 3.5 Perancangan Perangkat Keras SPWM <i>Inverter</i> 3 Fasa | 37 |
| 3.5.1 Rangkaian Skematik Sistem Minimum ATmega 8535 | 38 |

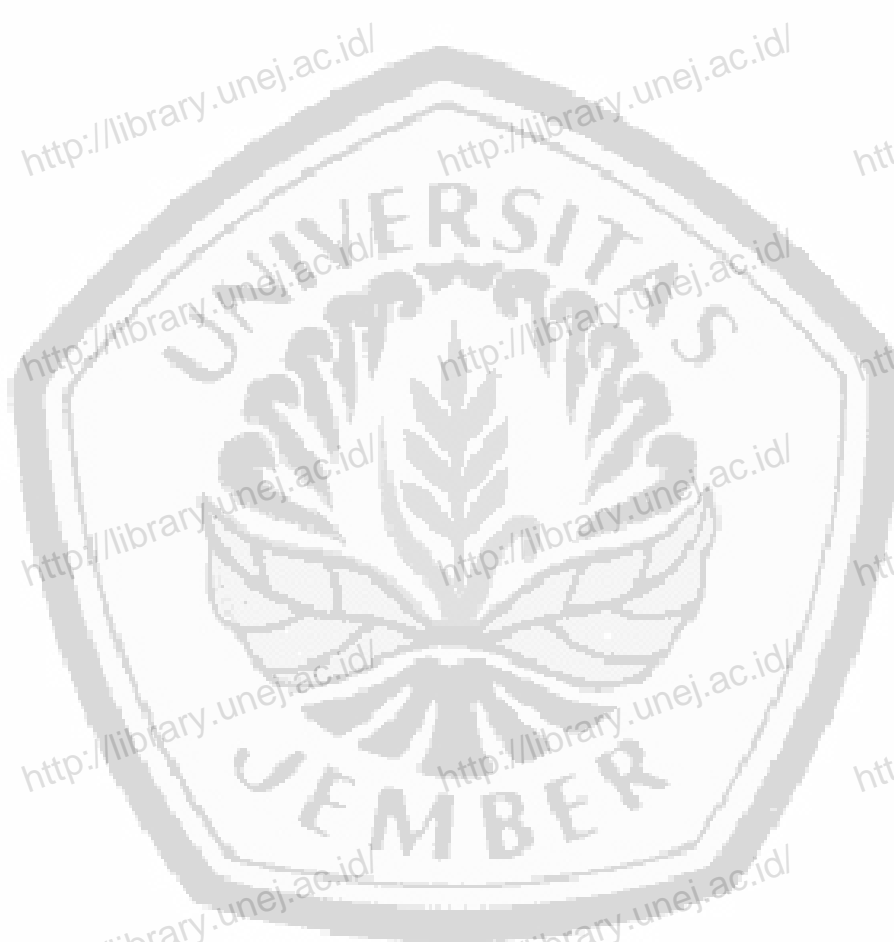
| | |
|---|-----------|
| 3.5.2 Rangkaian Skematik <i>Rectifier</i> | 39 |
| 3.5.3 Rangkaian Skematik <i>Driver Inverter</i> 3 Fasa | 39 |
| 3.5.4 Rangkaian Skematik <i>Inverter</i> 3 Fasa..... | 40 |
| 3.5.5 Rangkaian Beban..... | 41 |
| 3.6 Uji Coba Alat..... | 42 |
| 3.7 Pengolahan Hasil dan Data..... | 43 |
| 3.8 Penyusunan Laporan | 43 |
| BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN | 44 |
| 4.1 Sumber DC pada <i>Inverter</i> 3 Fasa | 44 |
| 4.2 Proses <i>Switching</i> Menggunakan Metode SPWM..... | 45 |
| 4.3 Pengujian Tegangan SPWM <i>Inverter</i> 3 Fasa | 48 |
| 4.4 Pengujian Menggunakan Beban Fluktuatif dengan Faktor Daya Rendah | 53 |
| 4.4.1 Pengujian Menggunakan Beban Fluktuatif Seimbang | 53 |
| 4.4.2 Pengujian Alat Menggunakan Beban Fluktuatif Seimbang dengan Fluktuasi Waktu Perubahan Beban | 58 |
| 4.4.3 Pengujian Menggunakan Beban Fluktuatif Tidak Seimbang | 60 |
| 4.4.4 Pengujian Alat Menggunakan Beban Fluktuatif Tidak Seimbang Dengan Fluktuasi Waktu Perubahan Beban | 67 |
| 4.4.5 Perbandingan Hasil Pengujian Alat Menggunakan Beban Seimbang LHE Dibandingkan dengan Beban Seimbang Lampu Pijar..... | 69 |
| 4.4.6 Pengujian Menggunakan Beban dengan Variasi Nilai Faktor Daya .. | 72 |
| BAB 5 KESIMPULAN | 76 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 77 |
| 5.2 Saran | 78 |
| DAFTAR PUSTAKA | 79 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1 Prinsip Kerja Inverter 1 Fasa..... | 5 |
| Gambar 2.2 Rangkaian Inverter VSI 6 Pulsa 3 Fasa..... | 6 |
| Gambar 2.3 Inverter 6 Pulsa Konduksi 180° | 7 |
| Gambar 2.4 Bentuk Gelombang Keluaran Fasa Tegangan Inverter 6 Pulsa Konduksi 180° | 7 |
| Gambar 2.5 Konfigurasi Dasar <i>MOSFET</i> | 8 |
| Gambar 2.6 Prinsip Kerja MOSFET Tipe NPN | 8 |
| Gambar 2.7 Prinsip Kerja MOSFET Tipe PNP | 9 |
| Gambar 2.8 Bentuk Fisik MOSFET | 11 |
| Gambar 2.9 Proses Pembangkitan Sinyal PWM..... | 12 |
| Gambar 2.10 Pembangkitan Gelombang <i>Multiple PWM</i> | 14 |
| Gambar 2.11 Pembangkitan Gelombang SPWM Unipolar | 15 |
| Gambar 2.12 Gelombang SPWM | 15 |
| Gambar 2.13 Pembentukan Gelombang SPWM Bipolar..... | 16 |
| Gambar 2.14 Tegangan Output SPWM Bipolar Per Setengah Siklus 5 | 17 |
| Gambar 2.15 Pembangkitan Gelombang Sinusoidal PWM..... | 17 |
| Gambar 2.16 Pemicuan gelombang SPWM | 18 |
| Gambar 2.17 Tegangan Fasa-Netral dan Tegangan Fasa-Fasa..... | 19 |
| Gambar 2.18 ADC dengan Kecepatan Sampling Rendah dan Sampling Tinggi... | 21 |
| Gambar 2.19 Rangkaian Dasar Optocoupler | 22 |
| Gambar 2.20. Rangkaian Elektronik <i>Ballast</i> | 24 |
| Gambar 2.21. Rangkaian Elektronik <i>Ballast</i> dan Lampu | 25 |
| Gambar 2.22. Model Rangkaian Lampu dengan <i>Ballast</i> Terpisah..... | 25 |
| Gambar 2.23. Bentuk Lampu Hemat Energi (LHE) | 26 |
| Gambar 2.24 Tegangan, Arus, Daya, Pada Berbagai Jenis Beban Linier..... | 28 |
| Gambar 2.25 Segitiga Daya | 29 |

| | |
|--|----|
| Gambar 3.1 Alur Tahapan Melakukan Penelitian..... | 32 |
| Gambar 3.2 Diagram Alir Tahapan Penelitian..... | 33 |
| Gambar 3.3 Pemodelan Pemicuan SPWM | 34 |
| Gambar 3.4 Pemodelan <i>Inverter</i> 3 Fasa..... | 35 |
| Gambar 3.5 Pemodelan LHE Philips | 36 |
| Gambar 3.6 Pemodelan SPWM <i>inverter</i> 3 fasa secara keseluruhan..... | 37 |
| Gambar 3.7 Blok Diagram Sistem | 38 |
| Gambar 3.8 Rangkaian Sistem Minimum Mikrokontroler ATmega 8535..... | 38 |
| Gambar 3.9 Rangkaian <i>Rectifier</i> Gelombang Penuh | 39 |
| Gambar 3.10 Rangkaian <i>Driver Inverter</i> 3 Fasa..... | 40 |
| Gambar 3.11 Gambar Rangkaian <i>Inverter</i> 3 Fasa..... | 41 |
| Gambar 3.12 Rangkaian Kit Beban Fluktuatif dengan Faktor Daya Rendah | 41 |
| Gambar 4.1 Bentuk Gelombang Keluaran pada Osiloskop | 44 |
| Gambar 4.2 Hasil Pengukuran Tegangan <i>Rectifier</i> | 45 |
| Gambar 4.3 Hasil Gelombang Pemicuan MOSFET 1 | 47 |
| Gambar 4.4 Hasil Gelombang Pemicuan MOSFET 4 | 47 |
| Gambar 4.5 Hasil Gelombang Pemicuan MOSFET 2 | 47 |
| Gambar 4.6 Hasil Gelombang Pemicuan MOSFET 5 | 47 |
| Gambar 4.7 Hasil Gelombang Pemicuan MOSFET 3 | 48 |
| Gambar 4.8 Hasil Gelombang Pemicuan MOSFET 6 | 48 |
| Gambar 4.9 Hasil Pemicuan MOSFET 5 dari Mikrokontroler | 48 |
| Gambar 4.10 Rangkaian Perangkat Keras SPWM <i>Inverter</i> 3 Fasa | 49 |
| Gambar 4.11 Hasil Pengujian Tegangan <i>Line-Line</i> | 50 |
| Gambar 4.12 Hasil Pengujian Tegangan <i>Line-Netral</i> | 50 |
| Gambar 4.13 Hasil Pengujian Simulasi Tegangan Antar Fasa <i>Inverter</i> | 51 |
| Gambar 4.14 Gelombang Tegangan Keluaran <i>Inverter</i> pada Osiloskop | 51 |
| Gambar 4.15 Frekuensi <i>Output Inverter</i> | 52 |
| Gambar 4.16 Hasil Pengukuran Cosphi pada Beban Fluktuatif Seimbang | 55 |

Gambar 4.17 Hasil Pengukuran Cosphi pada Beban Fluktuatif Tidak Seimbang . 63
Gambar 4.18 Hasil Pengukuran Cosphi LHE 70
Gambar 4.19 Hasil Pengukuran Cosphi Lampu Pijar 71
Gambar 4.20 Hasil Pengukuran Cosphi Kombinasi LHE dengan Lampu Pijar 72



DAFTAR GRAFIK

| | |
|--|----|
| Grafik 4.1 Perbandingan Hasil Simulasi dengan Alat pada Fluktuasi Rendah..... | 57 |
| Grafik 4.2 Perbandingan Hasil Simulasi dengan Alat pada Fluktuasi Sedang | 57 |
| Grafik 4.3 Perbandingan Hasil Simulasi dengan Alat pada Fluktuasi Tinggi | 58 |
| Grafik 4.4 Perbandingan Hasil Simulasi dengan Alat pada Fluktuasi Rendah..... | 65 |
| Grafik 4.5 Perbandingan Hasil Simulasi dengan Alat pada Fluktuasi Sedang | 66 |
| Grafik 4.6 Perbandingan Hasil Simulasi dengan Alat pada Fluktuasi Tinggi | 66 |
| Grafik 4.7 Perbandingan Hasil Pengujian Alat Menggunakan Beban LHE dengan Lampu Pijar | 71 |
| Grafik 4.8 Perbandingan Hasil Pengujian Menggunakan Variasi Nilai Faktor Daya..... | 75 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 4.1 Perbandingan Hasil Simulasi dan Alat | 52 |
| Tabel 4.2 Hasil Simulasi dengan Beban Seimbang | 54 |
| Tabel 4.3 Hasil Pengujian Alat dengan Beban Seimbang | 54 |
| Tabel 4.4 Hasil Pengujian Alat dengan Beban Seimbang pada Fluktuasi Waktu Perubahan Beban Sedang..... | 58 |
| Tabel 4.5 Hasil Pengujian Alat dengan Beban Seimbang pada Fluktuasi Waktu Perubahan Beban Tinggi..... | 59 |
| Tabel 4.6 Hasil Simulasi dengan Beban Tidak Seimbang | 60 |
| Tabel 4.7 Hasil Pengujian Alat dengan Beban Tidak Seimbang | 61 |
| Tabel 4.8 Hasil Pengujian Alat dengan Beban Tidak Seimbang pada Fluktuasi Waktu Perubahan Beban Sedang | 66 |
| Tabel 4.9 Hasil Pengujian Alat dengan Beban Tidak Seimbang pada Fluktuasi Waktu Perubahan Beban Tinggi | 67 |
| Tabel 4.10 Hasil Perbandingan Pengujian Alat Menggunakan Beban LHE dan Lampu Pijar | 68 |
| Tabel 4.11 Hasil Pengujian Alat Menggunakan Variasi Nilai Faktor Daya | 72 |