

**DESAIN DAN IMPLEMENTASI *UNIPOLAR SPWM INVERTER VSI*
SATU FASA UNTUK PRAKTIKUM DI LABORATORIUM
ELEKTRONIKA DAYA**

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun oleh:

**JOKO PURNOMO
NIM. 105060300111049**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2015**



LEMBAR PENGESAHAN

**DESAIN DAN IMPLEMENTASI *UNIPOLAR SPWM INVERTER VSI*
SATU FASA UNTUK PRAKTIKUM DI LABORATORIUM
ELEKTRONIKA DAYA**

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



JOKO PURNOMO
NIM. 105060300111049

**Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 31 Desember 2015**

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Soeprapto, M.T.
NIP. 19561020 198903 1 001

Akhmad Zainuri, S.T., M.T.
NIP. 19840120 201212 1 003

**Mengetahui,
Ketua Jurusan**

M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 19741203 200012 1 001



JUDUL SKRIPSI:

DESAIN DAN IMPLEMENTASI *UNIPOLAR SPWM INVERTER VSI SATU FASA*
UNTUK PRAKTIKUM DI LABORATORIUM ELEKTRONIKA DAYA

Nama Mahasiswa : JOKO PURNOMO
NIM : 105060300111049
Program Studi : TEKNIK ELEKTRO
Konsentrasi : TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

KOMISI PEMBIMBING:

Ketua : Ir. SOEPRAPTO, M.T.

Anggota : AKHMAD ZAINURI, S.T., MT.

TIM DOSEN PENGUJI:

Dosen Penguji 1 : HADI SUYONO, S.T., M.T., Ph.D


Dosen Penguji 2 : Ir. MOCH. DHOFIR, Drs., M.T.

Dosen Penguji 3 : Ir. HERY PURNOMO, M.T.

Tanggal Ujian : 30 Desember 2015

SK Penguji : No. 1162/UN10.6/SK/2015



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 31 Desember 2015
Mahasiswa,

Joko Purnomo
NIM. 105060300111049

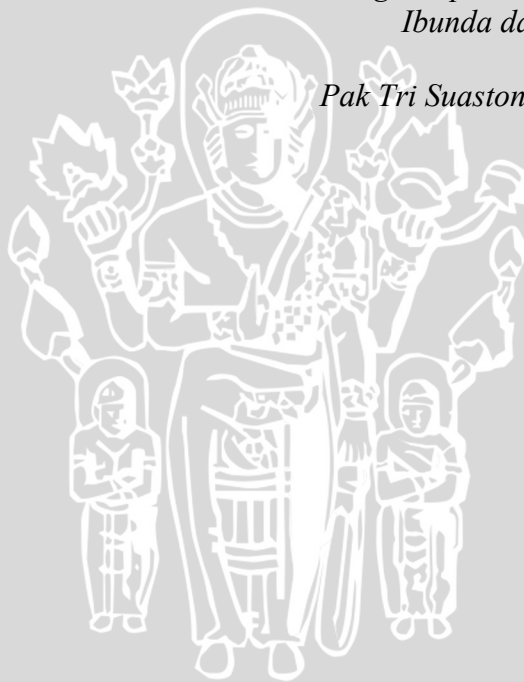


UNIVERSITAS BRAWIJAYA



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

*Teriring Ucapan Terima Kasih Kepada:
Ibunda dan Ayahanda tercinta,
Istriku tersayang,
Pak Tri Suastono dan Mas Lukisman.*





RINGKASAN

Joko Purnomo, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Desember 2015, *Desain dan Implementasi Unipolar SPWM Inverter VSI Satu Fasa untuk Praktikum di Laboratorium Elektronika Daya*, Dosen Pembimbing: Soeprpto dan Akhmad Zainuri.

Kegiatan praktikum di Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya memegang peranan penting dalam menunjang kegiatan perkuliahan. Peralatan praktikum di Laboratorium Elektronika Daya jurusan Teknik Elektro umumnya berasal dari luar negeri. Karena itu, jika terjadi kerusakan alat dan komponen maka terjadi kesulitan dalam pengadaan komponen dan pembenahan alat tersebut. Praktikum yang dilaksanakan di Laboratorium Elektronika Daya meliputi: penyearah (AC-DC), pengaturan tegangan AC (AC-AC), dan DC *chopper* (DC-DC). Praktikum mengenai *inverter* (DC-AC) belum bisa dilaksanakan karena tidak adanya modul praktikum untuk itu.

Pada penelitian ini dilakukan desain dan implemtasi *inverter* satu fasa *Voltage Source Inverter* (VSI). Metode *switching* untuk *inverter* yang digunakan adalah *unipolar Sinusoidal Pulse Width Modulation* (SPWM). Pada perancangan rangkaian kontrol *inverter* meliputi ATmega8 sebagai pembangkit sinyal *switching unipolar* SPWM, *Optocoupler* 4N25 sebagai isolasi *ground* antara ATmega8 dengan IR2110 dan IR2110 sebagai *driver gate transistor* rangkaian *full bridge inverter*. Rangkaian *full bridge inverter* menggunakan transistor IRFP460 sebagai komponen *switching* tegangan tingginya. *Inveter* dirancang agar frekuensi keluaran dan tegangan keluaran *inverter* bisa diatur. Pengaturan frekuensi dilakukan dengan mengatur nilai *register* ICR1 pada ATmega8 sedangkan pengaturan tegangan dilakukan dengan mengatur indeks modulasi amplitudo (M_a) terhadap perubahan frekuensi yang terjadi.

Hasil pengujian menggunakan tegangan DC 240 volt dengan beban resistif sebesar 230 ohm menghasilkan tegangan AC dengan frekuensi dapat diatur dari 10-80 Hz dan nilai tegangan efektif 75-210 volt. Nilai frekuensi keluaran inverter telah sesuai dengan *setpoint* yang diberikan. Frekuensi *switching* yang dihasilkan 1-8 KHz dengan indeks modulasi frekuensi (M_f) sebesar 100. Nilai THD terkecil dihasilkan sebesar 8.7% saat nilai $M_a=1.1$. Pengujian alat dengan beban motor induksi 300 watt menunjukkan kecepatan motor bisa diatur dengan range 210-1711 rpm. Rasio V/f untuk frekuensi 50 Hz adalah sebesar 3.59.

Kata kunci: *inverter*, *Unipolar* SPWM, *full bridge*, ATmega8, frekuensi



SUMMARY

Joko Purnomo, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, December 2015, *Design and Implementation Unipolar SPWM Inverter VSI Single Phase for Practical at Power Electronics Laboratory*, Academic Supervisor: Soeprapto and Akhmad Zainuri.

Practical activities in the Department of Electrical Engineering of UB plays an important role in supporting the activities of the lecture. Lab equipment in the Power Electronics Laboratory Department of Electrical Engineering generally come from abroad. Therefore, if there is damage tools and components, there will be difficulties in the procurement of components and improvement of these tools. Practicum conducted in the Power Electronics Laboratory includes: a rectifier (AC-DC), setting the AC voltage (AC-AC) and DC chopper (DC-DC). Practicum of the inverter (DC-AC) can not be implemented because of the absence of experimental module for it.

In this research, design and implemtasi single phase inverter VSI. The method used for the inverter switching is unipolar Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM). In the design of the inverter control circuit includes ATmega8 as unipolar SPWM switching signal generator, Optocoupler 4N25 as ground isolation between the ATmega8 with the IR2110 and IR2110 as a driver gate transistor full-bridge inverter circuit. Full bridge inverter circuit using transistors IRFP460 as high voltage switching components. Inveter designed so that the output frequency and output voltage of the inverter can be adjusted. The frequency setting is done by adjusting the value ICR1 registers on ATmega8 while voltage regulation is done by adjusting the amplitude modulation index (Ma) against frequency changes that occur.

The test results using a DC voltage of 240 volts with a resistive load of 230 ohms produce an AC voltage with adjustable frequency with a range 10-80 Hz and an effective voltage value 75-210 volts. Inverter output frequency value in accordance with the given setpoint. Switching frequency generated by the 1-8 KHz frequency modulation index (Mf) by 100. The resulting value the smallest THD of 8.7% while the value Ma = 1.1. Testing tool with a load of 300 watt induction motor show motor speed can be adjusted with a range of 210-1711 rpm. The ratio of V / f for a frequency of 50 Hz is equal to 3.59.

Keywords: inverter, Unipolar SPWM, full bridge, ATmega8, frequency



KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Puji syukur kehadirat Allah SWT karena hanya dengan rahmat, ridho, dan kasih sayang-Nya penelitian yang berjudul "Desain dan Implementasi *Unipolar* SPWM *Inverter* VSI Satu Fasa untuk Praktikum di Laboratorium Elektronika Daya" dapat diselesaikan dengan baik. Shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad Rasulullah SAW sebagai suri tauladan dalam menghadapi segala permasalahan. Penelitian ini disusun dalam rangka untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik, di Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Banyak kendala yang dihadapi dalam penyelesaian penelitian ini. Namun kendala tersebut dapat diatasi berkat bantuan dari pihak-pihak yang telah meluangkan waktu untuk membantu dalam menyelesaikan penelitian ini. Dalam kesempatan ini, ucapan terima kasih ingin disampaikan kepada:

1. Bapak M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya dan Bapak Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
2. Ibu Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc. selaku KKDK Teknik Energi Elektrik Teknik Elektro dan Bapak Ali Mustofa S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro.
3. Bapak Ir. Soeprpto, M.T. dan Akhmad Zainuri, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang selalu membimbing dan mengarahkan dalam penyelesaian penelitian ini.
4. Ibu Rusmi Ambarwati, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing akademik.
5. Dosen dan karyawan Jurusan Teknik Elektro yang telah membantu segala urusan administrasi selama ini.
6. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Elektro Universitas Brawijaya, khususnya keluarga besar Magnet'10 yang menjadi penyemangat selama ini.
7. Rekan-rekan Teknik Energi Elektrik 2010 dan para asisten Laboratorium Elektronika Daya.

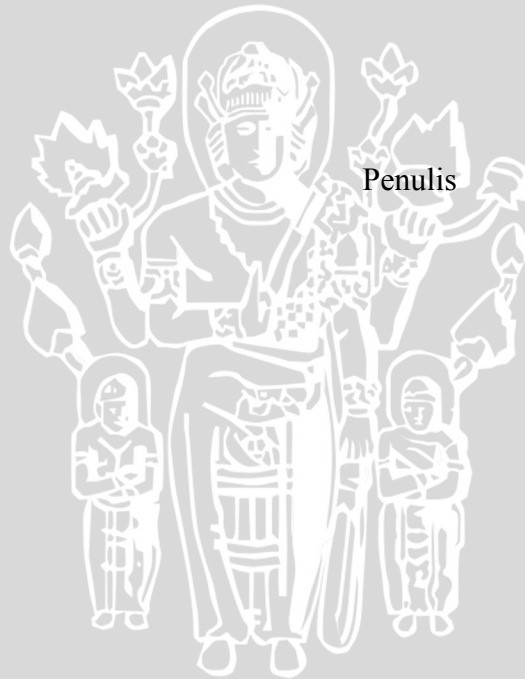
8. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

Sekiranya Allah SWT mencatat amalan ikhlas kita semua. Akhir kata, penelitian ini masih jauh dari sempurna namun semoga hasil penelitian ini bisa memberi manfaat kepada kita semua. Amin.

Wassalammualaikum Wr. Wb.

Malang, November 2015

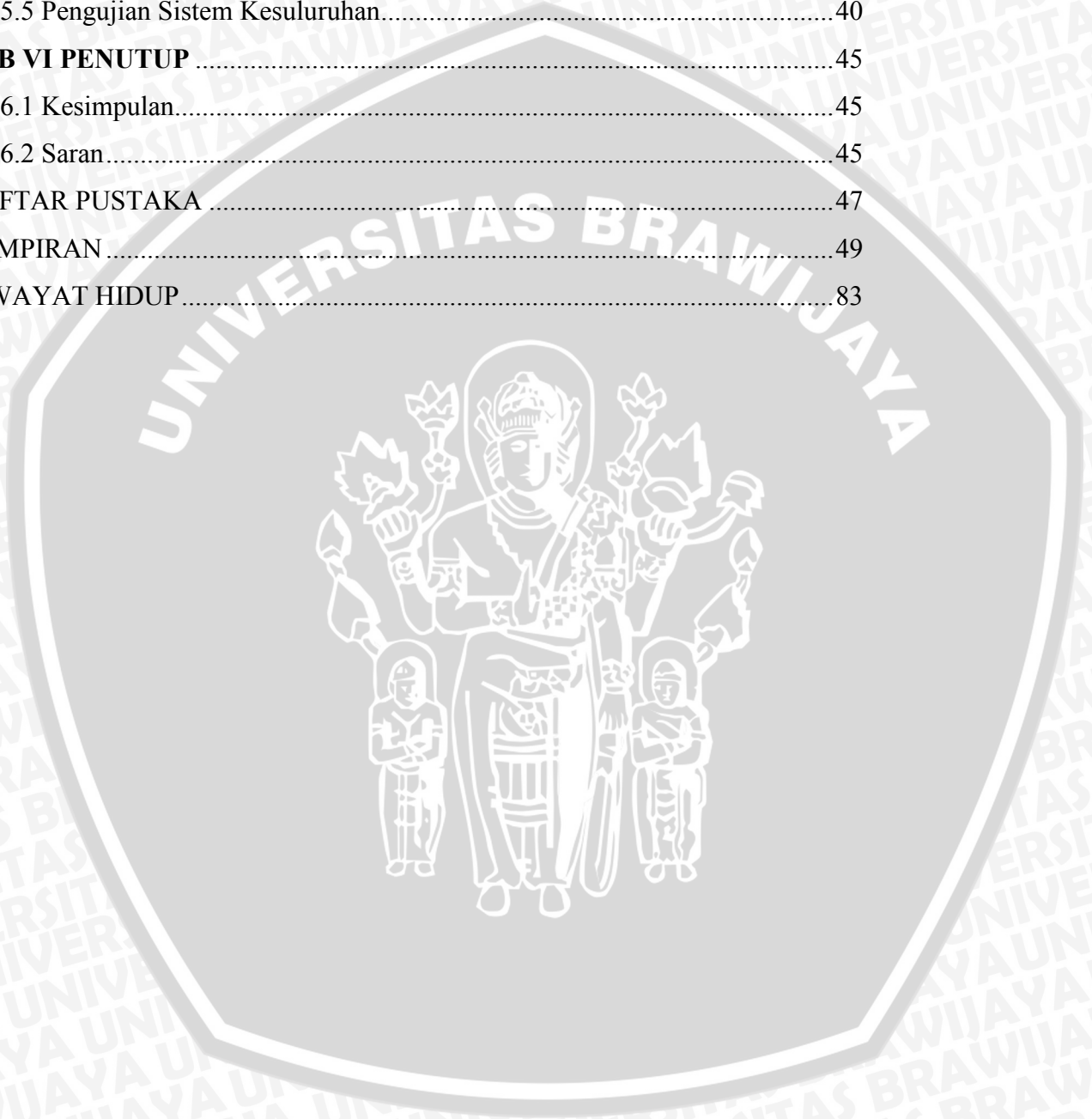
Penulis



DAFTAR ISI

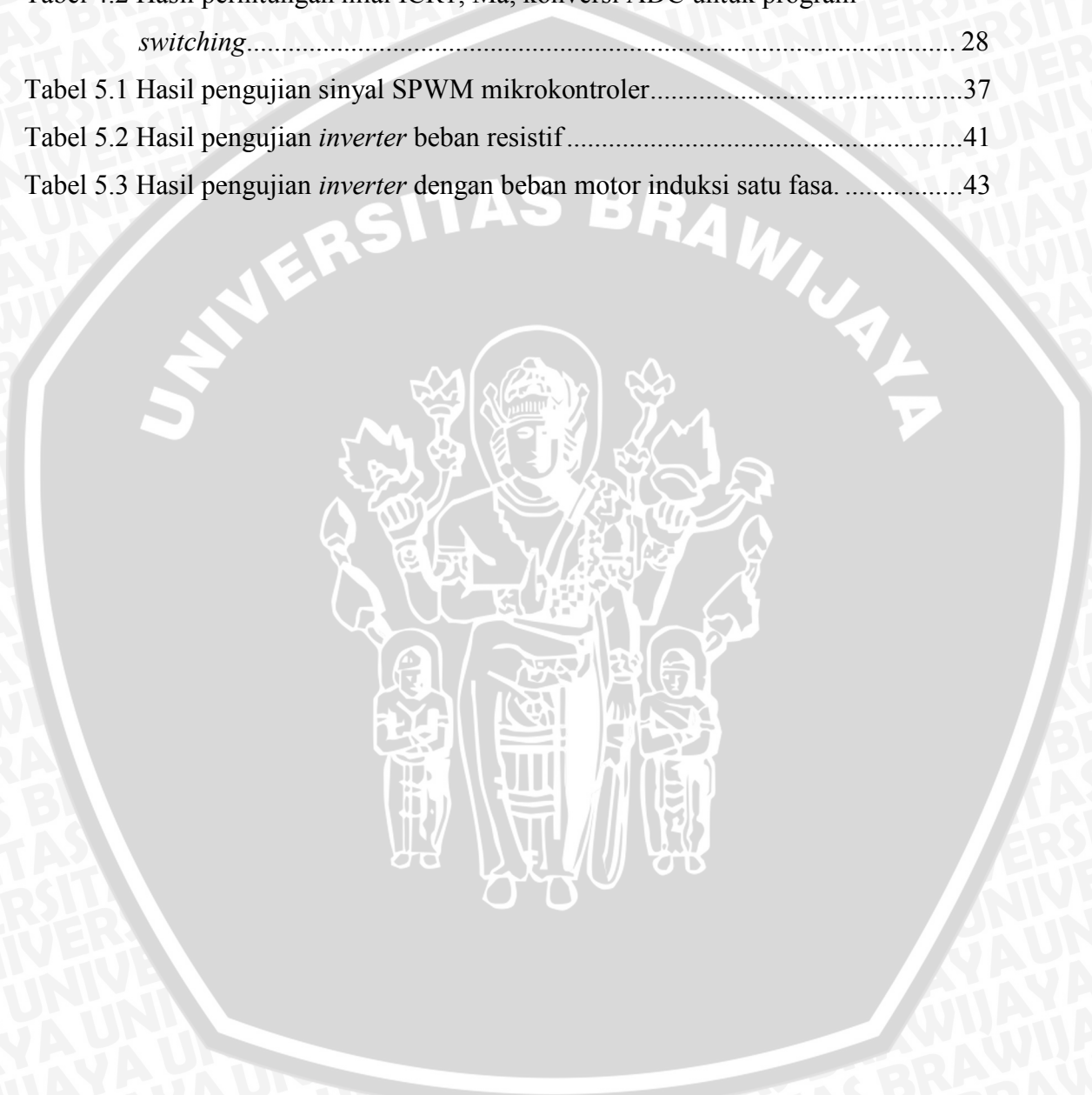
	halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Sistematika Penulisan	2
BAB II TINJAUAN PUSTKA	5
2.1 <i>Inverter</i> Satu Fasa	5
2.2 <i>Sinusoidal Pulse Width Modulation</i>	6
2.3 Harmonisa.....	8
2.4 Mikrokontroler AVR ATmega8.....	8
2.5 <i>Driver</i> Optik dan <i>Gate Driver</i>	10
2.6 <i>Power</i> MOSFET	12
BAB III METODE PENELITIAN	13
3.1 Studi Literatur	13
3.2 Penentuan Spesifikasi Alat.....	13
3.3 Perhitungan dan Simulasi.....	13
3.4 Pembuatan Alat	14
3.5 Pengujian Alat dan Analisis	14
3.6 Pengambilan Kesimpulan dan Saran.....	14
3.7 <i>Flowchart</i> Metode Penelitian	15
BAB IV PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT	17
4.1 Perancangan Blok Diagram	17
4.2 Perancangan Perangkat Keras.....	18
4.3 Perancangan Perangkat Lunak.....	25

BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS	33
5.1 Pengujian Rangkaian Catu Daya Mikrokontroler	33
5.2 Pengujian Program Sinyal <i>Switching</i>	34
5.3 Pegujian Rangkaian <i>Driver</i>	37
5.4 Pengujian <i>Full Bridge Inverter</i>	38
5.5 Pengujian Sistem Keseluruhan	40
BAB VI PENUTUP	45
6.1 Kesimpulan	45
6.2 Saran	45
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN	49
RIWAYAT HIDUP	83



DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 2.1 <i>Switch states</i> untuk <i>full bridge inverter</i> satu fasa VSI.....	6
Tabel 4.1 <i>Pin</i> yang digunakan pada ATmega8.	19
Tabel 4.2 Hasil perhitungan nilai ICR1, Ma, konversi ADC untuk program <i>switching</i>	28
Tabel 5.1 Hasil pengujian sinyal SPWM mikrokontroler.....	37
Tabel 5.2 Hasil pengujian <i>inverter</i> beban resistif.....	41
Tabel 5.3 Hasil pengujian <i>inverter</i> dengan beban motor induksi satu fasa.	43



DAFTAR GAMBAR

No	Judul	halaman
Gambar 2.1	Rangkaian <i>inverter</i> satu fasa <i>full bridge</i>	5
Gambar 2.2	(a) Proses perbandingan antara sinyal pembawa dan sinyal referensi, (b) Sinyal penggerak S1+ dan S2-, (c) Sinyal penggerak S1- dan S+, (d) Sinyal SPWM, (e) Spektrum harmonisa keluaran <i>inverter</i>	7
Gambar 2.3	Konfigurasi <i>pin</i> mikrokontroler ATmega8.....	9
Gambar 2.4	Metode <i>bootstrap</i> untuk menghasilkan tegangan ambang.....	11
Gambar 2.5	Konsep <i>level shifting</i> dan penempatan dari sinyal <i>switching</i>	11
Gambar 2.6	Lambang E-MOSFET.....	12
Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> penelitian.....	15
Gambar 4.1	Diagram blok sistem.....	17
Gambar 4.2	Rangkaian catu daya sistem rangkaian mikrokontroler.....	18
Gambar 4.3	Minimum sistem mikrokontroler.....	19
Gambar 4.4	Rangkaian <i>optocoupler</i>	20
Gambar 4.5	Rangkaian IR2110 yang terhubung dengan rangkaian <i>bootstrap</i>	22
Gambar 4.6	Susunan <i>full bridge</i> E-MOSFET kanal N.....	24
Gambar 4.7	Proses pembangkitan <i>unipolar</i> SPWM.....	26
Gambar 4.8	Proses pembangkitan PFCPWM.....	26
Gambar 4.9	<i>Flowchart</i> program <i>inverter</i>	29
Gambar 4.10	Skematik simulasi program.....	30
Gambar 4.11	Sinyal <i>switching</i> dengan $M_a = 0.69$	30
Gambar 4.12	Sinyal <i>switching</i> dengan $M_a = 1$	31
Gambar 4.13	Sinyal <i>switching</i> dengan $M_a = 1.13$	31
Gambar 5.1	Blok diagram pengujian catu daya.....	33
Gambar 5.2	Hasil pengujian catu daya 5 volt.....	34
Gambar 5.3	Blok diagram pengujian sinyal <i>switching</i>	35
Gambar 5.4	Sinyal <i>switching</i> untuk frekuensi keluaran 10 Hz dengan $M_a = 0.2$	35
Gambar 5.5	Sinyal <i>switching</i> untuk frekuensi keluaran 50 Hz dengan $M_a = 1$	36
Gambar 5.6	sinyal <i>switching</i> untuk frekuensi keluaran 80 Hz dengan $M_a = 1.6$	36
Gambar 5.7	Diagram blok pengujian <i>driver</i>	38

Gambar 5.8 Sinyal Keluaran IR2110 pada *pin* HO dan LO 38

Gambar 5.9 Blok diagram pengujian *full bridge inverter* 39

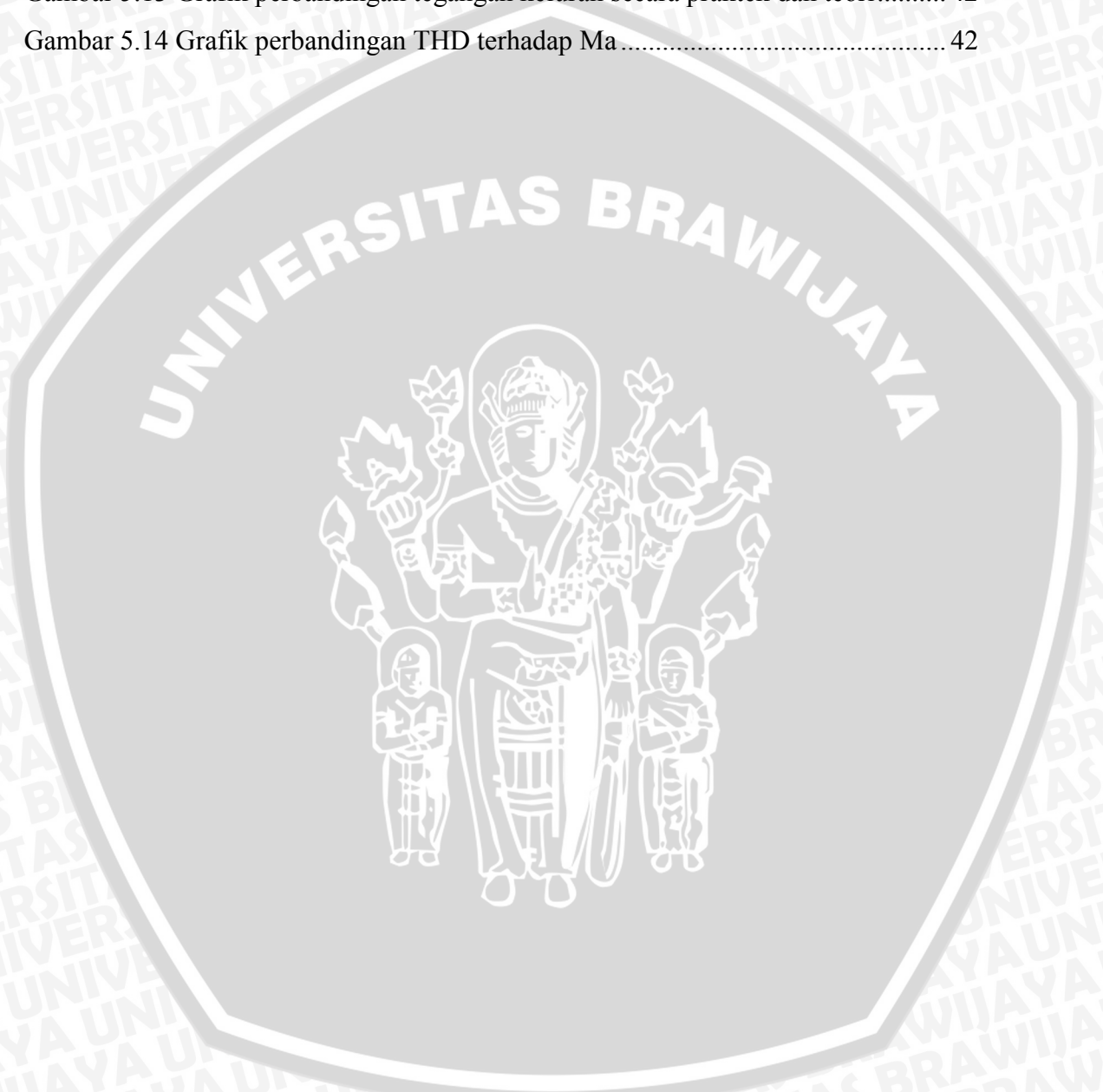
Gambar 5.10 Sinyal yang dihasilkan oleh *full bridge* MOSFET 40

Gambar 5.11 Rangkaian pengujian dengan beban resistif..... 41

Gambar 5.12 Rangkaian pengujian dengan beban resistif-induktif..... 41

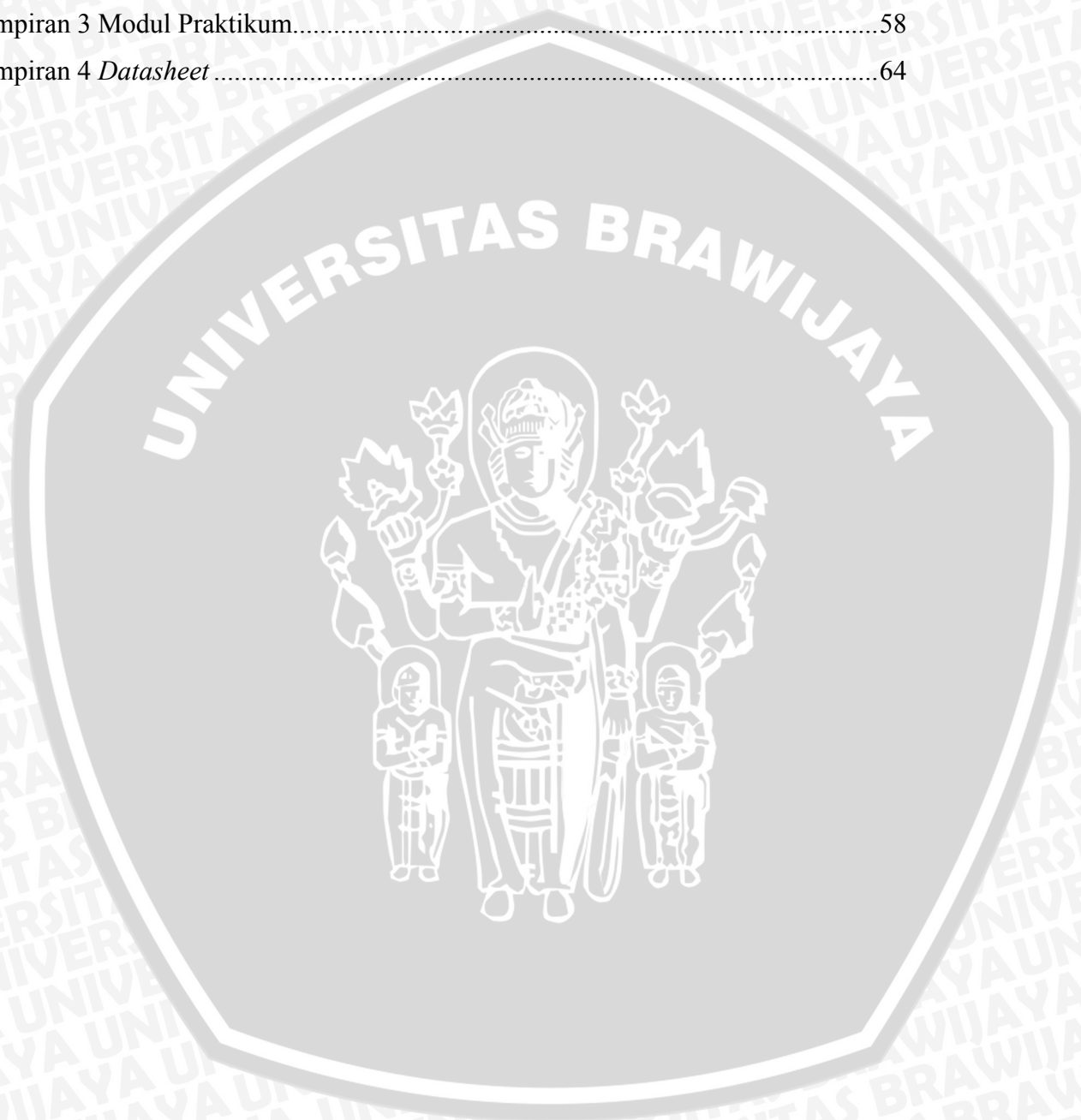
Gambar 5.13 Grafik perbandingan tegangan keluaran secara praktek dan teori..... 42

Gambar 5.14 Grafik perbandingan THD terhadap *Ma* 42



DAFTAR LAMPIRAN

	halaman
Lampiran 1 Skematik Rangkaian Secara Keseluruhan	50
Lampiran 2 <i>Listing</i> Program Menggunakan CodeVisionAVR	52
Lampiran 3 Modul Praktikum	58
Lampiran 4 <i>Datasheet</i>	64



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Inverter adalah konverter yang mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC. *Inverter* secara luas digunakan pada aplikasi *Adjustable Speed Drives* (ASDs), *Uninterruptible Power Supplies* (UPS), *Static VAR Compensators* (SVC), *Active Filters*, *Flexible AC Transmission Systems* (FACTSs), dan *Voltage Compensators*, untuk keluaran *sinusoidal* AC, amplitudo, frekuensi, and fasa dapat dikendalikan (Rashid, 2011).

Elektronika daya merupakan salah satu mata kuliah yang diajarkan di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya untuk konsentrasi Teknik Energi Elektrik. Setiap mahasiswa yang menempuh mata kuliah tersebut akan mendapatkan teori mengenai konverter daya. Selain itu mahasiswa juga diwajibkan mengikuti praktikum elektronika daya yang dilaksanakan di Laboratorium Elektronika Daya. Praktikum tersebut sangat berguna untuk membantu dan memudahkan mahasiswa dalam memahami teori-teori yang didapatkan ketika mengikuti perkuliahan, sehingga mahasiswa akan mampu menerapkannya.

Peralatan praktikum yang tersedia di Laboratorium Elektronika Daya sebagian besar berasal dari luar negeri, yaitu hasil kerja sama melalui proyek GTZ (*Deutsh Gessellascft Fur Technishe Zusammenarbiet GmbH*) yang bernama N55 antara pemerintah Indonesia dan pemerintah Jerman. Karena peralatan yang merupakan bantuan dari luar negeri, sehingga alat-alatnya pun dirakit di luar negeri. Komponen-komponennya juga berasal dari luar negeri, sehingga praktis selama ini tidak ada kemajuan alat-alat untuk kegiatan praktikum, bahkan sering kali jika ada kerusakan dari alat-alat tersebut, suku cadang sulit diperoleh dan harganya juga relatif mahal karena harus impor.

Selama ini kegiatan Praktikum Elektronika Daya terdiri dari 4 bab yaitu mengenai (AC-DC) 2 bab, (AC-AC) 1 bab, *DC chopper* 1 bab sedangkan praktikum mengenai konversi daya dari DC ke AC tidak bisa dilakukan karena tidak adanya *control unit* pemecuan yang mampu digunakan untuk memicu rangkaian *full bridge* MOSFET dalam *inverter* satu fasa.

Oleh karena itu, penelitian ini dibuat dengan tujuan untuk merancang *control unit switching* untuk *inverter* 1 fasa sehingga nantinya dapat digunakan untuk kegiatan praktikum demi memajukan Laboratorium Elektronika Daya. Pada penelitian ini akan dibuat *trigger inverter* satu fasa dengan metode *unipolar SPWM (Sinusoidal Pulse Width Modulation)* yang dapat diatur tegangan keluarannya dan frekuensi keluarannya dengan rasio V/f yang tetap.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

- 1) Bagaimana merancang *control unit trigger inverter SPWM* satu fasa untuk *full bridge*.
- 2) Bagaimana mengatur frekuensi dan tegangan keluaran *inverter*.
- 3) Bagaimana bentuk sinyal tegangan keluaran *inverter*.
- 4) Berapa THD yang dihasilkan.

1.3 Batasan Masalah

Mengacu pada permasalahan yang ada maka pada tugas akhir ini dibatasi pada:

- 1) Perancangan dan pembuatan *control unit inverter* satu fasa dikhususkan dengan metode *unipolar SPWM*.
- 2) Sumber DC yang digunakan untuk *inverter* berasal dari sumber DC yang ada di Laboratorium Elektronika Daya.
- 3) Parameter keberhasilan alat adalah alat mampu membangkitkan sinyal *switching sinusoidal pulse width modulation* dan frekuensi keluaran *inverter* dapat diatur dengan *range* 10-80 Hz. Besar tegangan keluaran *inverter* bisa diatur mengikuti perubahan frekuensi dengan rasio V/f yang tetap.
- 4) *Inverter* dapat men-*supply* beban R dan R-L.

1.4 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah merancang *control unit switching* untuk *inverter* 1 fasa sehingga nantinya dapat digunakan untuk kegiatan praktikum demi memajukan Laboratorium Elektronika Daya.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam skripsi ini sebagai berikut:

Bab I: Pendahuluan

Berisi tentang uraian latar belakang, tujuan, batasan masalah, rumusan masalah dan sistematika penulisan.

Bab II: Tinjauan Pustaka

Membahas teori-teori yang mendukung dalam perencanaan dan pembuatan sistem.

Bab III: Metode Penelitian

Berisi tentang metode-metode yang dipakai dalam melakukan perancangan, pengujian, dan analisis data.

Bab IV: Perancangan

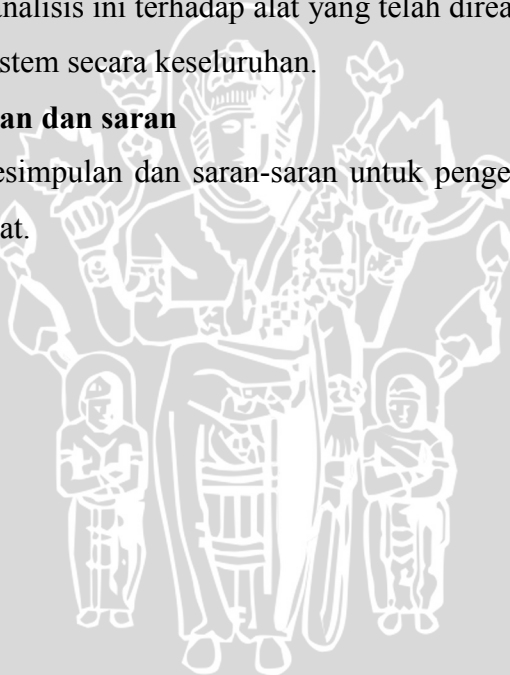
Berisi perancangan dan perealisasi sistem yang meliputi spesifikasi, perencanaan blok diagram, prinsip kerja, dan realisasi sistem.

Bab V: Pengujian dan analisis

Memuat aspek pengujian, meliputi penjelasan tentang prosedur pengujian dan hasil pengujian. Aspek analisis meliputi penilaian atau komentar terhadap hasil-hasil pengujian. Pengujian dan analisis ini terhadap alat yang telah direalisasikan berdasarkan masing-masing blok dan sistem secara keseluruhan.

Bab VI: Kesimpulan dan saran

Memuat tentang kesimpulan dan saran-saran untuk pengembangan lebih lanjut dari sistem yang telah dibuat.

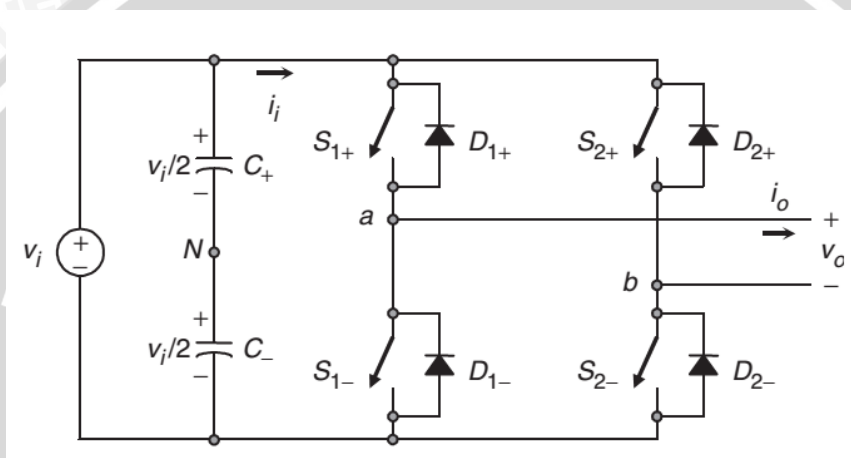




BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Inverter Satu Fasa Full bridge

Inverter memiliki 2 topologi berdasarkan gelombang AC keluarannya, yaitu: *Voltage Source Inverter* (VSI) dan *Current Source Inverter* (CSI) (Rashid, 2011). Prinsip kerja rangkaian *inverter* satu fasa jembatan penuh dapat dijelaskan dengan menggunakan Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Rangkaian *Inverter* satu fasa full bridge.

Sumber: Rashid (2011).

Ketika transistor S_{1+} dan S_{2-} dinyalakan secara bersamaan maka tegangan masukan V_s mengalir melalui beban. Sedangkan S_{1-} dan S_{2+} dinyalakan secara bersamaan maka tegangan yang mengalir melalui beban berlawanan arah dengan tegangan masukan yang mengalir ke beban ketika S_{1-} dan S_{2+} dinyalakan, yang besarnya $-V_s$. Kondisi pensaklaran pada *full bridge inverter* VSI diberikan oleh Tabel 2.1.

Nilai tegangan keluaran *inverter* untuk rangkaian seperti pada Gambar 2.1 diberikan oleh persamaan:

$$V_o = M_a * V_{dc} \quad \text{untuk } M_a \leq 1 \tag{2.1}$$

$$V_{dc} < V_o < \frac{4}{\pi} V_{dc} \quad \text{untuk } M_a > 1 \tag{2.2}$$

Dimana:

V_o = tegangan keluran *inverter* (volt)

V_{dc} = tegangan DC masukan *inverter* (volt)

M_a = indeks modulasi amplitudo



Perubahan nilai tegangan ketika harga $M_a \leq 1$ adalah linier dengan nilai M_a dan memenuhi Persamaan 2.1 sedangkan ketika $M_a > 1$ nilai tegangan tidak linier namun memenuhi Persamaan 2.2.

Tabel 2.1 *Switch states* untuk *full bridge inverter* satu fasa VSI.

State	State #	v_{aN}	v_{bN}	v_o	Components conducting
S_{1+} and S_{2-} are on and S_{1-} and S_{2+} are off	1	$v_i/2$	$-v_i/2$	v_i	S_{1+} and S_{2-} if $i_o > 0$ D_{1+} and D_{2-} if $i_o < 0$
S_{1-} and S_{2+} are on and S_{1+} and S_{2-} are off	2	$-v_i/2$	$v_i/2$	$-v_i$	D_{1-} and D_{2+} if $i_o > 0$ S_{1-} and S_{2+} if $i_o < 0$
S_{1+} and S_{2+} are on and S_{1-} and S_{2-} are off	3	$v_i/2$	$v_i/2$	0	S_{1+} and D_{2+} if $i_o > 0$ D_{1+} and S_{2+} if $i_o < 0$
S_{1-} and S_{2-} are on and S_{1+} and S_{2+} are off	4	$-v_i/2$	$-v_i/2$	0	D_{1-} and S_{2-} if $i_o > 0$ S_{1-} and D_{2-} if $i_o < 0$
S_{1-} , S_{2-} , S_{1+} , and S_{2+} are all off	5	$-v_i/2$ $v_i/2$	$v_i/2$ $-v_i/2$	v_i $-v_i$	D_{1-} and D_{2+} if $i_o > 0$ D_{1+} and D_{2-} if $i_o < 0$

Sumber: Rashid (2011).

2.2 Sinusoidal Pulse Width Modulation

Teknik *switching* yang digunakan untuk mengatur pensaklaran dari 4 komponen semikonduktor agar dapat bekerja secara bergantian sehingga besaran keluaran dari *inverter* dapat diatur yaitu tegangan dan frekuensi. Pengaturan tegangan dapat dilakukan di luar *inverter* atau di dalam *inverter*. Pengaturan tegangan di dalam *inverter* dikenal sebagai modulasi lebar pulsa (*Pulse Width Modulation*, PWM) dan selanjutnya disebut *inverter* PWM. Dengan menggunakan PWM, keluaran *inverter* dapat dikontrol baik amplitudo maupun frekuensinya (Mohan, 2003). Terdapat 4 macam teknik *switching*, salah satunya adalah teknik *sinusoidal* PWM. Teknik *sinusoidal* PWM terdiri dari 2 macam yaitu *bipolar* dan *unipolar switching*.

Teknik *sinusoidal* PWM atau yang biasa disebut SPWM, untuk menghasilkan tegangan keluaran sinusoida, dilakukan perbandingan antara sinyal kontrol yang ditentukan frekuensinya dengan sinyal *carrier* seperti pada Gambar 2.2a. Sinyal *switching* untuk *full bridge* yang dihasilkan dari perbandingan sinyal kontrol dan sinyal *carrier* untuk S_{1+} ditunjukkan oleh Gambar 2.2b dan untuk S_{2+} ditunjukkan oleh Gambar 2.2c. Sisi *high side* dan *low side* pada lengan *full bridge* Gambar 2.1 tidak boleh konduksi secara bersamaan karena akan menyebabkan terjadinya *short circuit* sehingga *high side* dan *low side* harus konduksi secara bergantian. Metode *unipolar* SPWM, frekuensi dari sinyal *carrier* (f_c) menghasilkan besar frekuensi *switching inverter*. Pada umumnya amplitudo dari sinyal *carrier* adalah tetap. Sinyal kontrol digunakan untuk menentukan besar amplitudo tegangan keluaran *inverter* dan frekuensi *carrier* (f_c) menentukan besar

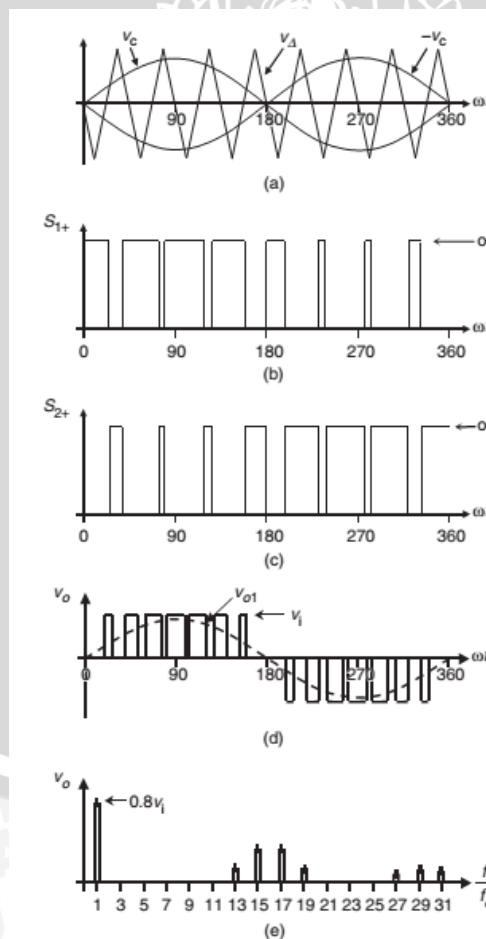
frekuensi keluaran *inverter*. Rasio modulasi dari amplitudo keluaran *inverter* diperoleh dengan persamaan:

$$Ma = \frac{V_{control}}{V_{carrier}} \quad (2.3)$$

Dengan $V_{control}$ adalah amplitudo puncak dari sinyal kontrol, dan $V_{carrier}$ adalah amplitudo puncak dari sinyal *carrier*. Sedangkan rasio modulasi dari frekuensi digunakan persamaan:

$$Mf = \frac{f_s}{f_1} \quad (2.4)$$

Penentuan nilai Mf dan Ma sangat penting, karena nilai Mf akan menentukan orde harmonisa yang muncul akibat proses *switching* dan nilai Ma akan menentukan nilai tegangan keluaran *inverter*. Nilai Mf haruslah genap dan lebih besar dari 21 pada proses *switching* dengan metode *unipolar SPWM*. Hal ini dimaksudkan untuk menghilangkan harmonisa orde rendah (Mohan, 2003).



Gambar 2.2 (a) Proses perbandingan antara sinyal pembawa dan sinyal referensi, (b) sinyal penggerak $S_{1+}S_{2-}$, (c) Sinyal penggerak $S_{1-}S_{2+}$ (d) Sinyal SPWM, (e) Spektrum harmonisa keluaran *inverter*.

Sumber: Rashid (2011).

2.3 Harmonisa

Bentuk gelombang tegangan keluaran *inverter* ideal adalah *sinusoidal*. Namun dalam prakteknya bentuk gelombang keluaran *inverter* tidak *sinusoidal* seperti tampak pada Gambar 2.2d dan mengandung harmonisa akibat proses *switching* yang mana *spectrum* harmonisa ditunjukkan oleh Gambar 2.2e. Hal ini bisa dilihat seiring dengan dinamika perkembangan teknologi dalam elektronika daya, sering dilakukan penelitian-penelitian untuk memperbaiki kualitas daya yang dihasilkan oleh *inverter*. Salah satunya dengan menggunakan *unipolar* SPWM.

Harmonisa adalah deretan gelombang arus atau tegangan yang frekuensinya merupakan kelipatan bilangan bulat dari frekuensi dasar tegangan atau arus itu sendiri. Bilangan bulat pengali pada frekuensi harmonisa adalah orde (*n*) dari harmonisa itu tersebut. Sebagai contoh, frekuensi dasar dari sistem kelistrikan di Indonesia adalah 50 Hz maka harmonisa kedua adalah 2×50 Hz (100 Hz), ketiga adalah 3×50 Hz (150 Hz), dan seterusnya hingga harmonisa ke *n* yang memiliki frekuensi $n \times 50$ Hz. Distorsi dari bentuk gelombang harmonisa-harmonisa yaitu kedua, ketiga, dan seterusnya dijumlahkan dengan gelombang dasar, maka bentuk gelombang tegangan atau arus akan terdistorsi, menjadi tidak sinusoida murni.

Kualitas sebuah gelombang jala-jala listrik biasanya dievaluasi dengan mengikuti ketentuan dari parameter-parameter unjuk kerja. Ukuran bentuk pendekatan antara bentuk jumlah rms gelombang harmonik dengan rms komponen fundamentalnya biasa disebut total harmonisa distorsi, dapat dinyatakan dalam arus atau tegangan. Perumusannya adalah sebagai berikut:

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \quad (2.5)$$

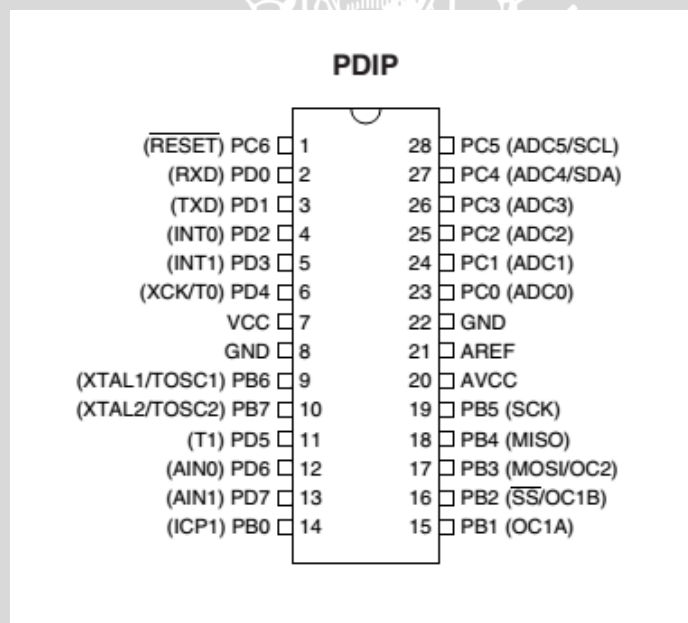
Semakin kecil nilai THD maka semakin sedikit distorsinya. Bila nilai THD sama dengan nol berarti gelombang sinus tidak terdistorsi sama sekali atau sinus murni.

2.4 Mikrokontroler AVR ATmega8

Sinyal kontrol untuk *switching* dapat dihasilkan secara analog dan digital. Pembangkitan sinyal *switching* secara digital lebih mudah dan mampu menekan biaya dibandingkan secara analog karena komponen tambahan yang diperlukan lebih sedikit. Mikrokontroler dapat digunakan untuk proses pembangkitan sinyal *switching* secara digital tersebut.

Mikrokontroler ATmega8 yang diproduksi oleh ATMEL *Company* Amerika Serikat merupakan salah satu anggota jenis AVR. IC jenis ini berorientasi pada kontrol 8 bit yang dapat diprogram ulang dengan daya rendah. Mikrokontroler ini dalam satu siklus waktu mampu mengeksekusi instruksi hingga mencapai 1 MIPS per MHz. Mikrokontroler ATmega8 mempunyai karakteristik utama sebagai berikut:

- a. Mikrokontroler 8 bit dengan performansi tinggi dan daya rendah.
- b. *Nonvolatile* memori program dan data.
- c. Sistem *self-programable flash* 8 kbyte.
- d. EEPROM sebesar 512 byte, dan 1 kbyte SRAM internal 23 saluran I/O dan 32 *general purpose register*.
- e. Dua *timer/counter* 8 bit dengan *prescaller* terpisah, satu mode pembandingan (*compare mode*).
- f. Satu *timer/counter* 16 bit dengan *prescaller* terpisah, mode pembandingan dan perekam (*capture*).



Gambar 2.3 Konfigurasi Pin Mikrokontroler ATmega8
Sumber: *Datasheet* ATMEL (2013:2)

- g. Internal dan eksternal *interrupt*.
- h. WDT (*Watch Dog Timer*) dengan osilator internal.
- i. RTC dengan osilator terpisah.
- j. Tiga *pin* PWM.
- k. Enam *pin* ADC (*Analog to Digital Converter*) dengan ketepatan sebesar 10 bit.
- l. USART (*Universal Synchronous and Asynchronous Receiver Transmitter*).

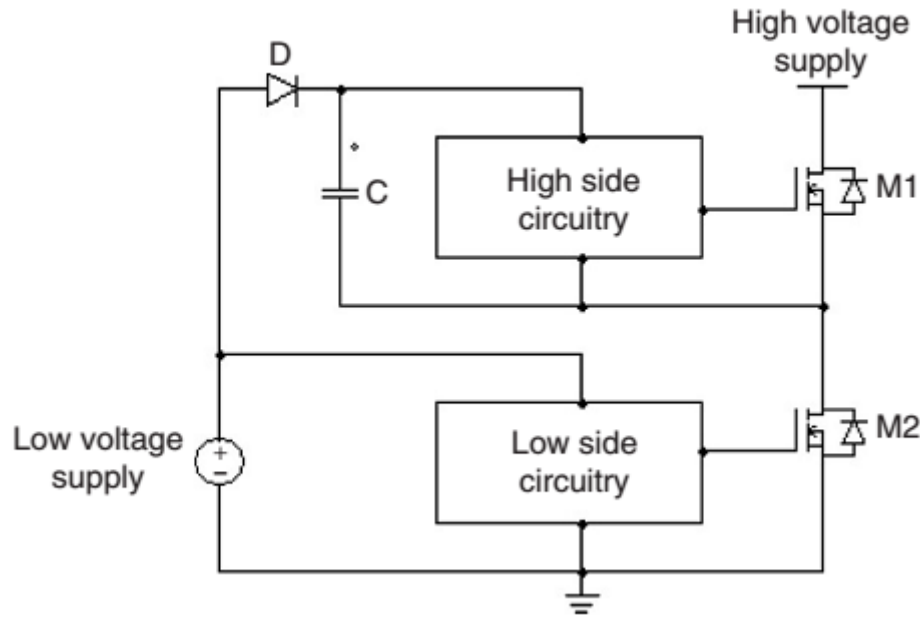
Konfigurasi *pin* mikrokontroler ATmega8 ditunjukkan dalam Gambar 2.3 dengan penjelasan masing-masing *pin* sebagai berikut:

1. VCC : *Power supply*.
2. GND : *Ground*.
3. AREF : Sebagai masukan analog referensi untuk ADC.
4. AVCC : *Power supply* untuk ADC.
5. RESET : Merupakan *pin* yang digunakan untuk *me-reset* mikrokontroler.
6. XTAL1 : Masukan untuk *inverting* osilator *amplifier* dan masukan bagi *clock internal*.
7. XTAL2 : Keluaran *inverting oscillator amplifier*.
8. PORT B : Port I/O 8 *bit* dua arah dan *pin* fungsi khusus yaitu *timer*.
9. PORT C : Port I/O 7 *bit* dua arah dengan *pull-up* internal sekaligus sebagai masukan analog untuk ADC.
10. PORT D : Port I/O 8 *bit* dua arah dengan resistor *pull-up* internal yang memiliki fungsi khusus.

2.5 Driver Optik dan Gate driver

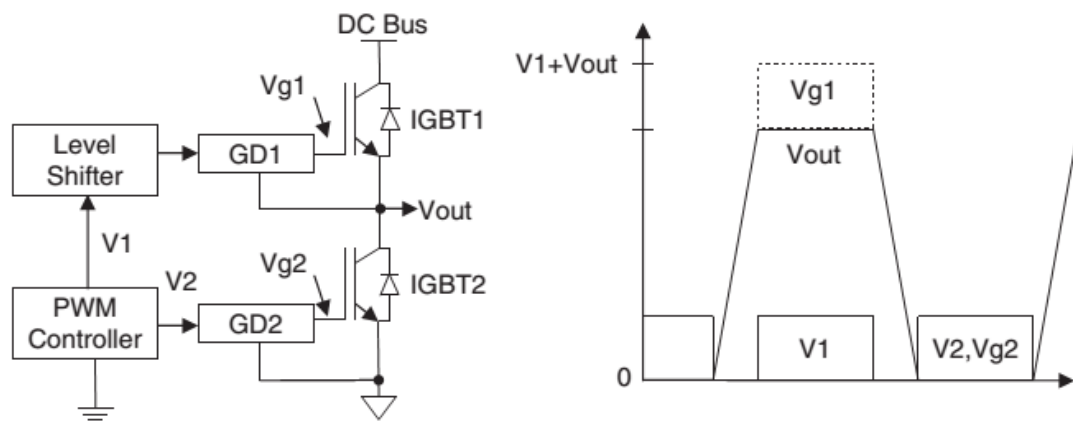
Driver optik adalah rangkaian yang berfungsi sebagai penjemabatan antara logika pengontrolan dengan rangkaian pensaklaran. Komponen utama *driver* optik adalah *optocoupler*. Pemisahan secara optik ini dimaksudkan agar antara pengontrol dan *driver* terpisah secara elektronis. Pemisahan ini bertujuan untuk menjaga bahaya dari perubahan tegangan maupun arus yang terjadi pada bagian semikonduktor daya tidak akan mempengaruhi kinerja pengontrol. *Optocoupler* adalah suatu komponen kombinasi sumber cahaya, biasanya adalah LED *galium arsenid*, dan suatu detektor sensitif cahaya, dapat berupa *fototransistor* atau DIAC yang dipicu oleh cahaya.

Gate driver adalah rangkaian yang berfungsi untuk *men-drive gate* dari komponen semikonduktor (MOSFET atau IGBT). *Gate driver* diperlukan untuk mengatasi persoalan tegangan ambang pada sisi *high side* karena terhubung dengan tegangan tinggi. Metode yang digunakan adalah *bootstrap*. Metode ini terdiri dari rangkaian diode dan kapasitor seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Metode *Bootstrap* untuk menghasilkan teganganambang.
 Sumber: Rashid (2011).

Tetapi rangkaian ini memerlukan *level shifting* tegangan pengontrol. Jika dimisalkan tegangan keluaran adalah V_{out} dan tegangan *gate-source* yang direncanakan adalah V_1 , sehingga nilai puncak tegangan harus bernilai $V_1 + V_{out}$ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5.



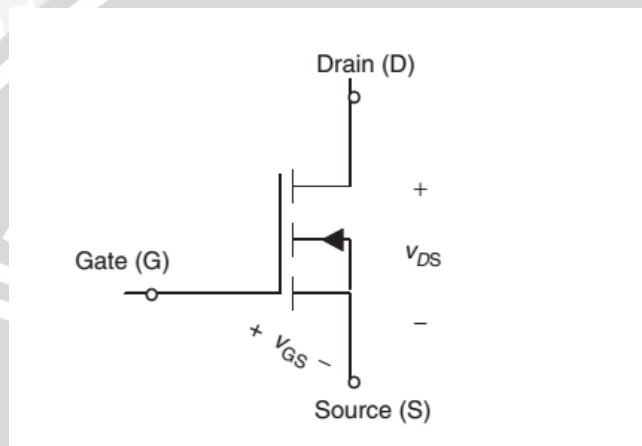
Gambar 2.5 Konsep *level shifting* dan Penempatan dari sinyal *switching*.
 Sumber: Rashid (2011).

Pada perkembangan teknologi sekarang ini, International Rectifier telah mengembangkan IC *gate driver* baik untuk MOSFET ataupun IGBT. IC ini dapat mengontrol pada rangkaian *high side* ataupun *low side*. Metode yang digunakan adalah dengan metode *bootstrap* yang terintegrasi dengan *level shifting* yang besar tegangan ambangnya yaitu dapat mencapai 600 V dan 1200 V. Dengan menggunakan metode ini maka frekuensi *switching* dapat diubah ubah dari puluhan sampai ratusan Hz. Penggunaan

gate driver ini relatif murah dan karena berbentuk IC maka tidak memerlukan ruang yang besar.

2.6 Power MOSFET

MOSFET adalah sebuah transistor yang menggunakan suatu elektroda pengontrol, yang disebut *gate*, yang dapat mengatur konduktansi suatu kanal di permukaan yang menghubungkan 2 ujung kontak, yang disebut *source* dan *drain*. Lambang E-MOSFET diperlihatkan Gambar 2.6. MOSFET dipilih sebagai komponen utama untuk *full bridge* karena ia salah satu jenis transistor yang memiliki kemampuan *fast switching* dan cocok untuk tegangan kurang dari 500 V.



Gambar 2.6 Lambang E-MOSFET.

MOSFET merupakan komponen yang dikendalikan oleh tegangan dan memerlukan arus masukan yang kecil. Rating tegangan $V_{DC} < 500$ volt dan arus $I_{DC} < 300$ ampere pada sisi *gate*-nya. Arus akan mengalir dari *drain* ke *source* melalui kanal (*channel*). Kanal ini mempunyai panjang (L), antara 1-10 μm , dan lebar (W), antara 2-500 μm . Divais dengan $L < 1\mu\text{m}$, biasanya dipakai pada rangkaian terintegrasi digital yang mempunyai kecepatan tinggi. MOSFET adalah *device* yang simetris, artinya *source* dan *drain* dapat ditukar-tukar. MOSFET memiliki empat daerah kerja. Daerah kerja MOSFET dan syaratnya diberikan oleh Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Daerah Kerja MOSFET.

Daerah kerja	Syarat
Cutoff	$V_{GS} < V_T$
Ohmic atau triode	$V_{DS} < V_{GS} - V_{Th}$
Saturasi	$V_{DS} > V_{GS} - V_{Th}$
Breakdown	$V_{DS} > V_B$

Sumber: Rashid (2011).

BAB III

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut:

- a) Studi literatur.
- b) Perancangan dan simulasi.
- c) Penentuan spesifikasi.
- d) Pembuatan alat.
- e) Pengujian alat dan analisis.
- f) Pengambilan kesimpulan dan saran.

3.1 Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan adalah studi teori mengenai *inverter* satu fasa, metode *switching* menggunakan *sinusoidal pulses width modulation*, metode *bootstrap*, transistor yaitu *power MOSFET*, mikrokontroler ATmega8 dan pemrograman dengan bahasa C menggunakan CodeVisionAVR, dan simulasi menggunakan PROTEUS.

3.2 Simulasi dan Perancangan Alat

Simulasi dilakukan untuk menguji teori dan ide yang didapatkan apakah dapat diterapkan secara *real*. Simulasi meliputi pemrograman sinyal *switching* pada mikrokontroler, pembacaan *variable input* untuk pengaturan sinyal *switching* menggunakan potensiometer. Simulasi dilakukan dengan bantuan *software* PROTEUS.

Perancangan mencakup penentuan jenis komponen IC mikrokontroler AVR, *optocoupler* untuk *driver* optik, *gate driver* transistor yang digunakan dan perhitungan untuk menentukan nilai-nilai komponen tambahan seperti resistor dan kapasitor.

3.3 Penentuan Spesifikasi Alat

Spesifikasi alat yang akan dirancang adalah:

- a) Kontroler yang digunakan adalah ATmega8 untuk menghasilkan sinyal *switching* SPWM.
- b) Kapasitas *inverter* adalah 1000 W dengan tegangan masukan 240 V.
- c) Frekuensi keluaran *inverter* dapat diatur dengan *range* 10-80 Hz.
- d) Tegangan keluaran *inverter* dapat menyesuaikan dengan perubahan frekuensi yang diatur sehingga nilai V/f adalah konstan.

3.4 Pembuatan Alat

Pembuatan alat dilakukan per-blok rangkaian terlebih dahulu. Pembuatan alat untuk perangkat keras meliputi pembuatan PCB, penentuan dan perhitungan komponen yang digunakan, dan merakit masing-masing blok.

Perancangan perangkat lunak dilakukan dengan membuat *flowchart* algoritma program terlebih dahulu, kemudian dibuat program menggunakan bahasa C dengan menggunakan *software C&AVR. Design* dan parameter yang telah dirancang kemudian disimulasikan terlebih dahulu sebelum diterapkan dalam mikrokontroler pada akhirnya.

3.5 Pengujian Alat dan Analisis

Untuk memastikan sistem yang dibuat mampu bekerja sesuai spesifikasi yang direncanakan maka dilakukan pengujian alat meliputi *hardware* dan *software* yang dilakukan per-blok rangkaian maupun keseluruhan sistem.

a) Pengujian *software*.

Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa program yang telah dibuat mampu bekerja untuk menangani perangkat keras sehingga bisa berfungsi sesuai perancangan.

b) Pengujian *hardware*.

Pengujian dilakukan tiap blok perancangan untuk memudahkan analisis. Pengujian ini meliputi pengujian minimum sistem mikrokontroler, rangkaian *driver* optik, *gate driver*, dan rangkaian *full bridge inverter*.

c) Pengujian keseluruhan sistem.

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui keberhasilan dari keseluruhan sistem yang telah dirancang dengan menyambungkan blok perangkat keras dan mengoperasikan sistem.

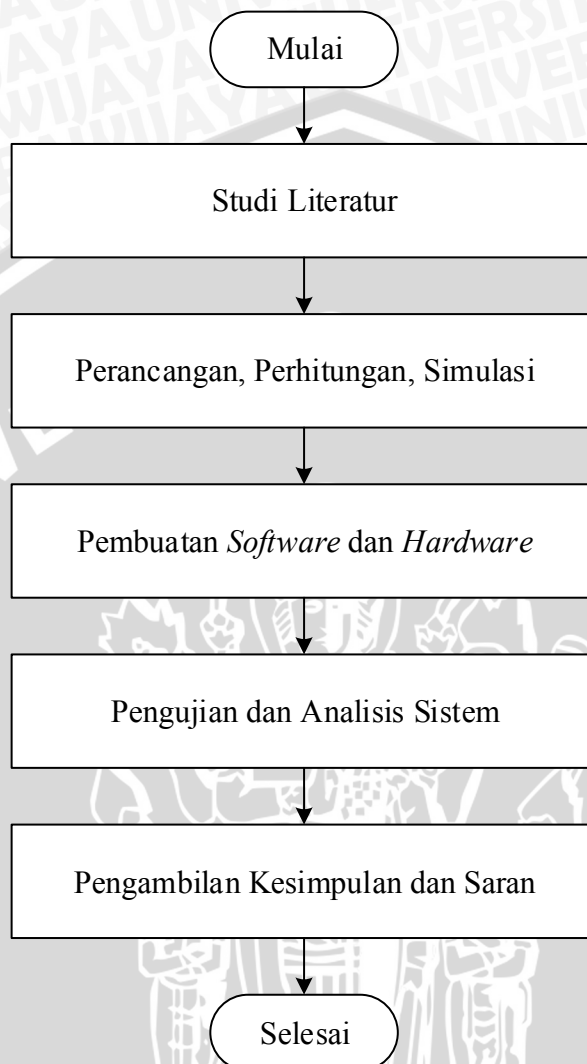
Analisis dilakukan setelah pengujian keseluruhan sistem telah berhasil. Analisis yang dilakukan dengan melihat bentuk gelombang tegangan dan arus keluaran *inverter* pada beban R dan R-L serta harmonisa yang ditimbulkan dari proses *switching*.

3.6 Pengambilan Kesimpulan Dan Saran

Pengambilan kesimpulan dilakukan setelah didapatkan hasil dari pengujian. Jika hasil yang diperoleh telah sesuai dengan spesifikasi yang direncanakan maka alat tersebut telah memenuhi harapan dan memerlukan pengembangan untuk penyempurnaanya.

3.7 Flowchart Metode Penelitian

Berdasarkan penjelasan yang telah diberikan Sub Bab 3.1 sampai 3.6 maka bisa ditampilkan dalam bentuk *flowchart* seperti tampak pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 *Flowchart* Metode Penelitian

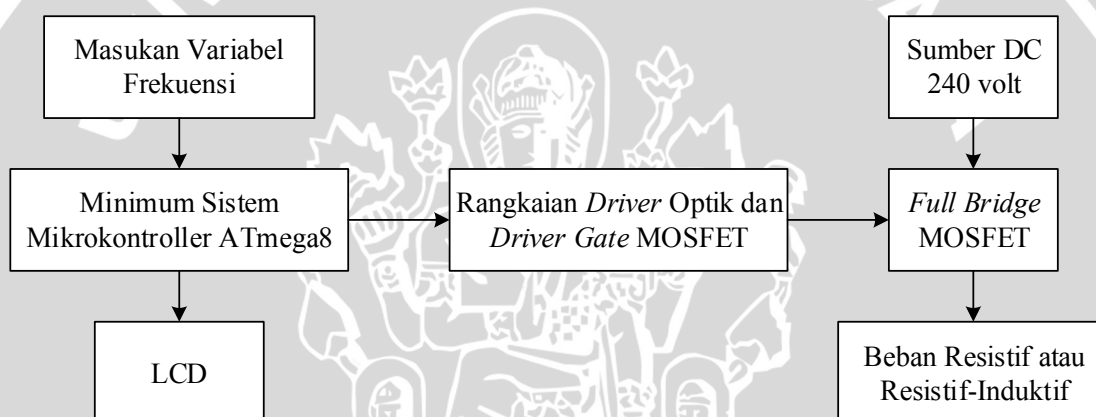


BAB IV PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT

Perancangan dan pembuatan alat ini terdiri atas dua bagian yaitu perancangan dan pembuatan perangkat keras serta perancangan dan pembuatan perangkat lunak. Perancangan dan pembuatan alat dilakukan secara bertahap yaitu dilakukan blok demi blok. Hal ini dilakukan untuk mempermudah penganalisaan di setiap bloknnya maupun secara keseluruhan.

4.1 Perencanaan Blok Diagram

Pembuatan diagram blok seperti ditunjukkan dalam Gambar 4.1 digunakan untuk mempermudah perencanaan alat.



Gambar 4.1 Diagram Blok Sistem

Keterangan blok diagram secara keseluruhan dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a. Mikrokontroler berfungsi untuk membangkitkan sinyal *switching* SPWM, mengolah input frekuensi dan memberikan sinyal masukan untuk LCD.
- b. Masukan variabel frekuensi menggunakan potensiometer dengan *range* tegangan output 0-5V sebagai masukan pada ADC mikrokontroler untuk mengatur frekuensi sinyal *switching*.
- c. LCD berfungsi untuk menampilkan frekuensi *switching*, frekuensi *fundamental* dan indeks modulasi amplitudo.
- d. *Driver* berfungsi sebagai penghubung dan pengisolasi rangkaian mikrokontroler yang beroperasi pada tegangan 5 volt dengan rangkaian MOSFET yang beroperasi hingga tegangan 400 volt.

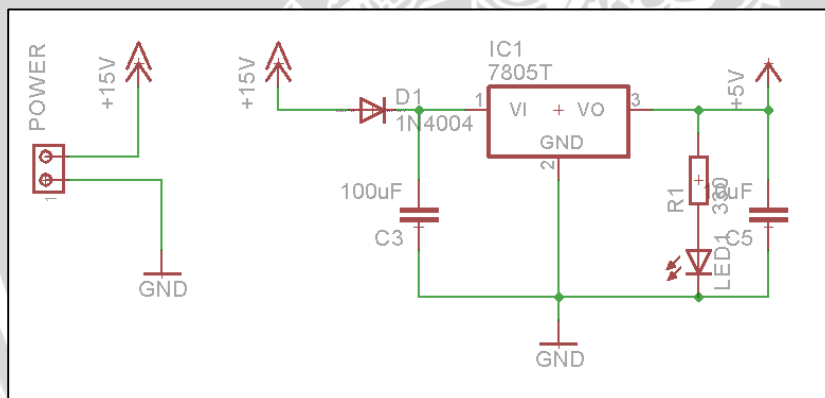
- e. Sumber tegangan DC konstan yang diubah menjadi tegangan AC berasal dari modul sumber DC di Laboratorium Elektronika Daya dengan nilai tegangan maksimum adalah 240 volt.

4.2 Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras terdiri dari beberapa bagian, yaitu rangkaian catu daya mikrokontroler, rangkaian minimum sistem mikrokontroler ATmega8, rangkaian *optocoupler* 4N25, dan rangkaian *gate driver* MOSFET IR2110 dan rangkaian *full bridge inverter* IRFP460.

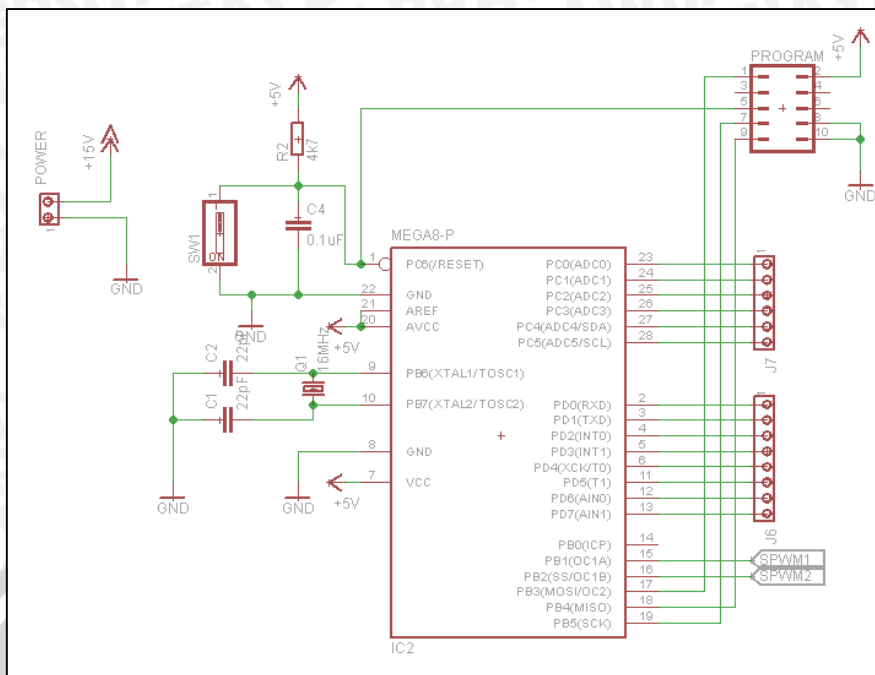
4.2.1 Rangkaian Catu Daya

Rangkaian catu daya digunakan untuk memberikan tegangan kerja pada mikrokontroler dan rangkaian *driver*. Rangkaian catu daya ini menggunakan *Fixed Output Regulator* sesuai pada *datasheet* LM78XX. Regulator yang digunakan adalah jenis LM7805 yang memiliki tegangan keluaran minimal 4,7 volt dan maksimal 5,3 volt berdasarkan *datasheet*-nya dengan tegangan masukan antara 8 volt sampai 21 volt dan arus keluaran regulator sebesar antara 5 mA sampai 1 A. Skema rangkaian catu daya sistem ditunjukkan dalam Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Rangkaian Catu Daya Sistem Rangkaian Mikrokontroler

Jenis mikrokontroler Atmega8 dipilih karena memiliki kecepatan instruksi per MHz yang tinggi serta jumlah memori dan *pin* I/O yang mencukupi untuk penggunaan alat tersebut. Sebagai pusat dari pengolahan data dan pengontrolan alat, *pin-pin* dihubungkan pada rangkaian pendukung membentuk suatu rangkaian sistem minimum seperti dalam Gambar 4.3.



Gambar 4.3. Minimum Sistem Mikrokontroler

Mikrokontroler ATmega8 memiliki kaki sebanyak 28 pin, diprogram menjadi masukan atau keluaran. Berikut ini adalah pin-pin yang digunakan dalam perancangan ini:

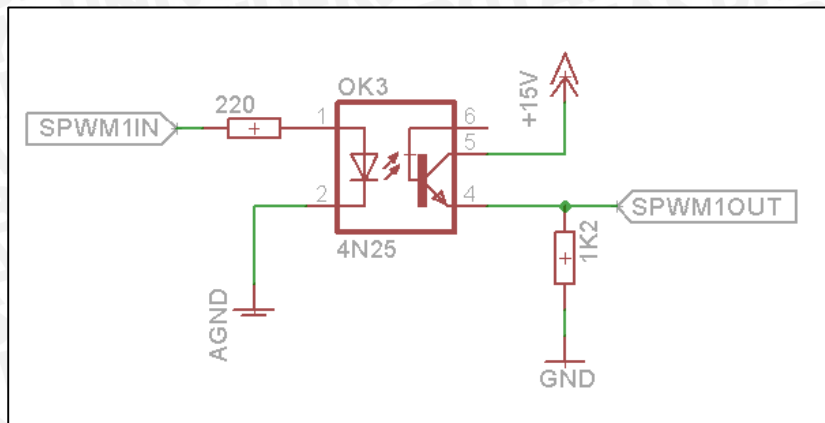
Tabel 4.1 Pin yang digunakan pada ATmega8.

Pin	Nama	Fungsi
1	RESET	Reset
8, 22	GND	Ground
7, 20, 21	VCC	Catu daya mikrokontroler
17, 18, 19	PB3, PB4, PB5	Pin SPI
9, 10	PB0, PB7	Crystal Occilator
2, 3, 4, 6, 11, 12, 13	PD0, PD1, PD2, PD4, PD5, PD6, PD7	LCD
23	PC0	Potensiometer
15,16	PB1, PB2	SPWM1, SPWM2

4.2.2 Rangkaian Driver Optik

Pemisahan secara optik ini dimaksudkan agar antara rangkaian pengontrol dan rangkaian inverter terpisah secara elektronis, sehingga perubahan tegangan maupun arus yang terjadi pada bagian full bridge inverter tidak akan mempengaruhi kinerja

pengontrol. Dua buah *optocoupler* ini masing – masing memiliki rangkaian ditunjukkan dalam Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Rangkaian *optocoupler*

Optocoupler yang akan digunakan adalah 4N25, dengan spesifikasi:

- $f_{max} = 50\text{kHz}$
- $I_{Fmax} = 60\text{mA}$
- $V_F = 1,2\text{ V}$
- $I_{Cmax} = 100\text{mA}$
- $V_{Cesat} = 0,3\text{ V}$
- $CTR = 50\%$

Alasan pemilihan 4N25 sebagai komponen *optocoupler* yang akan digunakan adalah karena 4N25 memiliki *switching time* cukup cepat dibanding beberapa jenis *optocoupler* lain, contohnya 4N33 dan 4N35. Dengan *switching time* yang cepat memungkinkan *optocoupler* meneruskan sinyal dengan frekuensi tinggi.

Sinyal *switching* yang dibangkitkan oleh mikrokontroler ATmega8 dengan spesifikasi:

- $I_{OL} = 20\text{ mA}$
- $I_{OH} = 20\text{ mA}$
- $V_{OL} = 0\text{ V}$
- $V_{OH} = 5\text{ V}$

Perancangan R1

$$R_{1min} = \frac{V_A - V_F}{I_{OH}}$$

$$R_{1min} = \frac{5 - 1,2}{20 \cdot 10^{-3}} = \underline{\underline{190\Omega}}$$

Nilai R_1 yang akan digunakan dalam sistem adalah 220Ω .

Dengan nilai $R_1 = 220\Omega$, maka:

$$I_{OH} = \frac{V_A - V_F}{R_{1,3}}$$

$$I_{OH} = \frac{5 - 1,2}{220} = 1,727 \cdot 10^{-2} A = 17,27 mA$$

Perancangan R_2

$$I_C = CTR * I_{OH}$$

$$I_C = 50\% * 17,27 mA$$

$$I_C = 8,635 mA$$

$$R_{2min} = \frac{15 - V_{CEsat}}{I_C}$$

$$R_{2min} = \frac{15 - 0,3}{8,635 \cdot 10^{-3}} = \underline{\underline{1760\Omega}}$$

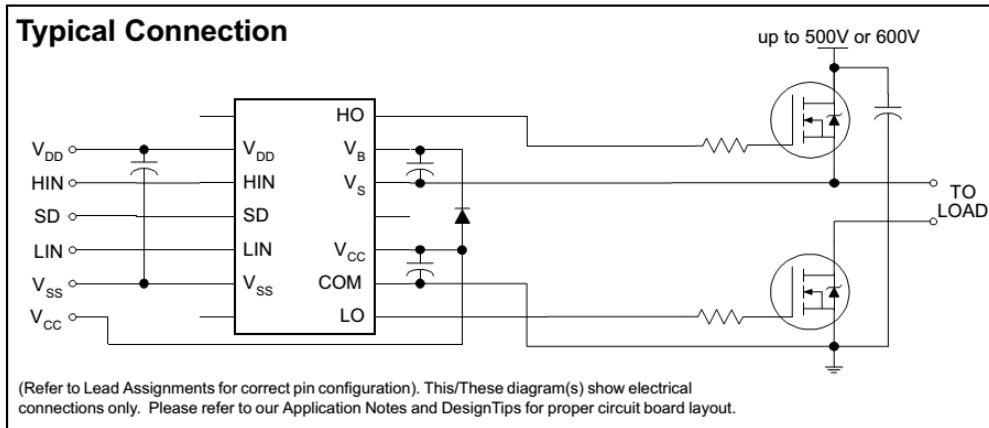
Nilai R_2 yang akan digunakan dalam sistem adalah $1.2 k\Omega$. Resistor ini berfungsi untuk membatasi arus. Dengan nilai $R_2 = 1.2 k\Omega$, maka:

$$I_C = \frac{15 - V_{CEsat}}{R_2}$$

$$I_C = \frac{15 - 0,3}{1200} = 12,25 mA$$

4.2.3 Rangkaian *Gate Driver* MOSFET

Besar tegangan V_G untuk MOSFET pada *low side* yaitu $12V$ sedangkan pada *high side* yaitu $12V + V_{beban}$. maka diperlukan rangkaian penghasil tegangan yang lebih tinggi dari tegangan catu. Dalam perancangan ini digunakan rangkaian *bootstrap* yang bisa diaplikasikan untuk berbagai frekuensi. Rangkaian ini dikombinasikan dengan IC IR2110 keluaran *international rectifier* yang secara integrasi dapat memberi sinyal *switching* baik dari sisi *high side* maupun *low side* dari MOSFET sekaligus dan hanya membutuhkan satu *supply*. Gambaran umum IC IR2110 yang dihubungkan dengan rangkaian *bootstrap* ditunjukkan dalam Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Rangkaian IR2110 yang Terhubung dengan Rangkaian *Bootstrap*.

Sumber: Datasheet IR2110.

Rangkaian *bootstrap* terdiri dari D_{bs} dan C_{bs} yang dihubungkan dengan *pin* V_b dan V_s pada IR2110. Besar kapasitor minimum ditentukan dengan besar nilai minimum *charging* yang dibutuhkan dengan rumus:

$$Q_{bs} = 2Q_g + \frac{I_{qbs(max)}}{f} + Q_{ls} + \frac{I_{cbs}}{f} \quad (4.1)$$

Dengan:

Q_g = Gate charge high side MOSFET (pada *datasheet* MOSFET)

$I_{qbs(max)}$ = Quiescent current for the high side driver (pada *datasheet* IR2110)

Q_{ls} = Level shift required per cycle (pada *datasheet* IR2110)

I_{cbs} = Capacitor leakage current (jika kapasitor non polar maka nilainya = 0)

Pada perancangan:

$$Q_g = 128 \text{ nC}$$

$$I_{qbs(max)} = 100 \text{ } \mu\text{A}$$

$$Q_{ls} = 5 \text{ nC}$$

$$I_{cbs} = 0$$

$$f = 1000 \text{ Hz (frekuensi switching terendah pada perancangan)}$$

Maka,

$$\begin{aligned} Q_{bs} &= 2 \times 128 \times 10^{-9} + \frac{100 \times 10^{-6}}{1000} + 5 \times 10^{-9} + 0 \\ &= 3.2158 \times 10^{-7} \text{ C} \end{aligned}$$

Untuk menghitung besar kapasitor digunakan rumus:

$$C \geq \frac{2 \times Q_{bs}}{V_{cc} - V_f - V_{LS} - V_{min}} \quad (4.2)$$

Dimana:

V_f = Drop tegangan maju dari diode *bootstrap*

V_{LS} = Drop tegangan dari MOSFET

V_{min} = Tegangan *threshold* MOSFET

Pada perancangan

V_{cc} = 15 volt

V_f = 1,3 volt

V_{min} = 4 volt

V_{LS} = 2.64 volt

Maka

$$\begin{aligned} C &\geq \frac{2 \times Q_{bs}}{V_{cc} - V_f - V_{LS} - V_{min}} \\ &\geq \frac{2 \times 3.2158 \times 10^{-7}}{15 - 1,3 - 4 - 2.64} \\ &\geq 9.0585 \times 10^{-8} F \\ &\geq 90.585 \text{ nF} \end{aligned}$$

Besar nilai kapasitor di atas merupakan nilai yang paling minimal sedangkan pada *application note 978* dari International Rectifier merekomendasikan nilai 470 nF. Maka digunakan nilai 470 nF dalam perancangan karena nilai itu masih lebih besar dari nilai perhitungan.

Diode yang dipakai harus mempunyai tegangan balik *repetitive* sama dengan nilai tegangan sumber DC dan mempunyai *ultra fast recovery*. Pada perancangan ini sumber DC yang digunakan menggunakan sumber DC Laboratorium Elektronika Daya yang mempunyai tegangan maksimum 240 V. Sedangkan besar arus diode mempunyai ketentuan minimum:

$$I_f = Q_{bs} \times f$$

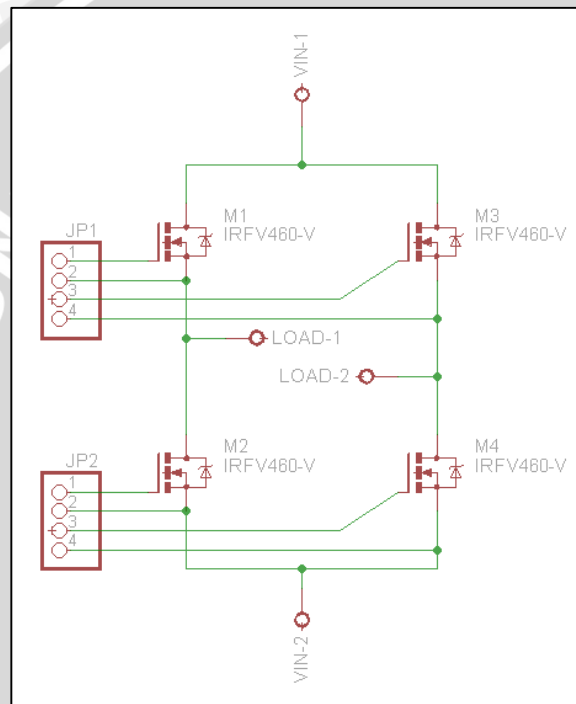
Maka

$$I_f = 468,3 \times 10^{-9} \times 3000 \\ = 1,4 \text{ mA}$$

Sehingga dipilih diode RGP10J yang mampu menahan tegangan balik 600V dengan arus maju maksimum 1 A dan mempunyai *recovery* 250 ns. Tidak ada ketentuan khusus untuk nilai resistor pada *gate* MOSFET, hanya pada desain tips ditentukan nilainya direkomendasikan adalah 22Ω (*Design tips*, www.irf.com).

4.2.4 Rangkaian Full Bridge Inverter

Susunan *full bridge inverter* satu fasa ditunjukkan dalam Gambar 4.6.



Gambar 4.6. Susunan *full bridge* E-MOSFET kanal N

Perencanaan awal sebagai berikut:

MOSFET yang digunakan adalah IRPF460 dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$V_{DS \max} = 500\text{V}$$

$$I_{D \max} = 18\text{A}$$

$$R_{DS \text{ on } \max} = 0.27\Omega$$

$$V_{GS \max} = 20\text{V}$$

$$V_{GS \text{ threshold}} = 2\text{V} - 4\text{V}$$

Alasan pemilihan IRF460 sebagai transistor yang akan digunakan adalah karena IRF460 memiliki $I_{D \max}$ cukup besar dan $R_{DS \text{ on } \max}$ kecil dibanding beberapa jenis E-MOSFET kanal N lain, contohnya IRF820, IRFP452, IRFP440 dan IRFP462, dengan

$I_{D\ max}$ yang cukup besar dan $R_{DS\ on\ max}$ yang kecil membuat IRFP460 tidak cepat panas ketika dilewati arus yang cukup besar.

Kasus:

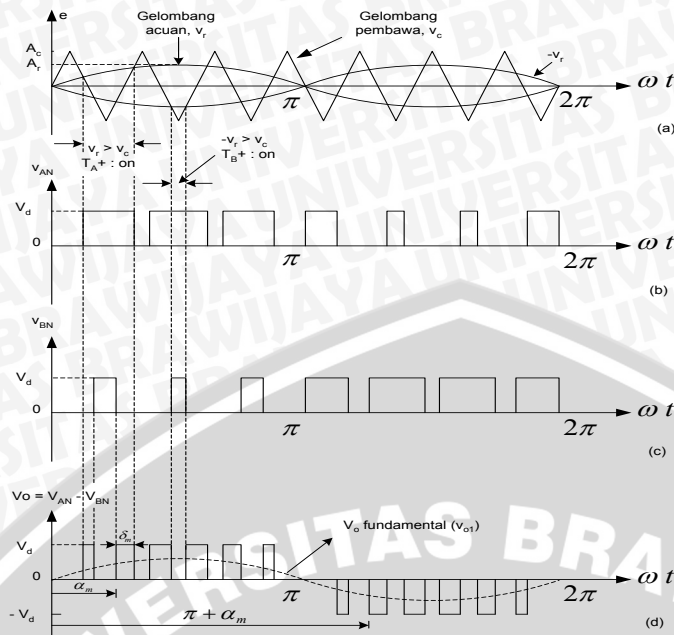
- 1) MOSFET selalu dikondisikan dalam keadaan saturasi atau *cut off*-nya. Hal ini dimaksudkan agar tidak terlalu banyak daya yang terbuang dalam MOSFET itu sendiri.
 - a. Untuk E-MOSFET kanal N syarat agar komponen dalam kondisi *cut off* adalah ketika $V_{GS} < V_{threshold}$. Karena $V_{threshold\ IRFP460} = 3\ V$, maka V_{GS} *cut off* yang digunakan kurang dari 3 V. V_{GS} yang digunakan adalah 0V.
 - b. Untuk E-MOSFET kanal N syarat agar komponen dalam kondisi aktif saturasi adalah ketika $V_{GS} > V_{threshold}$, dan $V_{DS} > (V_{GS} - V_{threshold})$. Mengingat $V_{GS\ max} = 20\ V$, maka $3V < V_{GS} < 20V$. V_{GS} saturasi yang digunakan adalah 12V.
- 2) Sesuai perancangan blok *full bridge* E-MOSFET kanal N ditetapkan bahwa V_{GS} tiap E-MOSFET kanal N yang digunakan adalah 12V agar saturasi dan 0V agar *cut off*. Untuk E-MOSFET kanal N sisi bawah yaitu Q_2 dan Q_4 (*low side*) pada Gambar 4.6 V_G minimum yang digunakan sama dengan tetapan V_{GS} , yaitu 12V agar saturasi dan 0V agar *cut off* karena sisi *source* E-MOSFET kanal N sisi bawah terhubung langsung dengan *ground*.
- 3) Untuk E-MOSFET kanal N sisi atas yaitu Q_1 dan Q_3 (*high side*) V_G minimum yang digunakan agar E-MOSFET kanal N sisi atas berada pada kondisi saturasi adalah $V_{GS} + V_{beban}$, yaitu $12V + V_{beban}$. Karena V_G minimum lebih besar dari tegangan sumber maka diperlukan rangkaian *gate driver* MOSFET.

4.3 Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak yang dibuat menggunakan bahasa C menggunakan CodeVision AVR. Pembuatan program pada mikokontroler terdiri dari 3 hal yaitu program utama SPWM, input variabel frekuensi dan tampilan pada LCD.

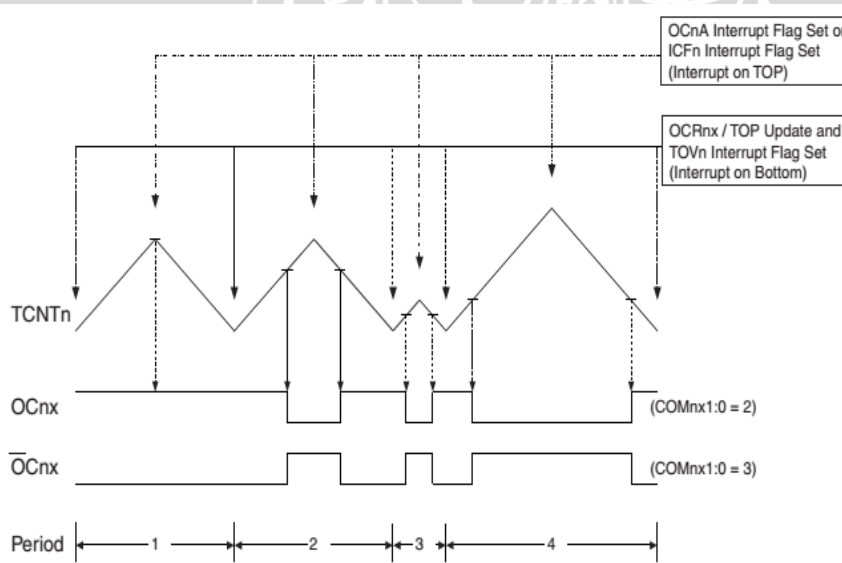
4.3.1 Perancangan *Sinusoidal Pulse Width Modulation*

Metode *unipolar* SPWM memerlukan dua buah sinyal sinus dengan beda fasa 180 sebagai sinyal referensi dan sinyal segitiga sebagai sinyal *carrier*. Jika sinyal referensi dibandingkan dan sinyal *carrier* maka akan didapatkan dua sinyal PWM dengan *duty cycle* yang berbeda-beda dalam satu siklus. Sinyal inilah yang akan digunakan sebagai sinyal *switching* pada *full bridge* MOSFET. Hal ini bisa dilihat seperti pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Proses pembangkitan unipolar SPWM.
 Sumber: Mohan (2003).

Pada mikrokontroler AVR telah disediakan fitur pembangkitan sinyal PWM yang salah satunya adalah *phase and frequency correct* PWM. Proses pembangkitan dengan metode *phase and frequency correct* PWM bisa dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Proses pembangkitan PFCPWM.
 Sumber: Datasheet ATmega8.

Maka untuk membentuk sinyal *switching* seperti pada Gambar 4.7 diperlukan nilai-nilai untuk meng-update isi register OCR. Hal ini bisa disiasati dengan membentuk *array* dengan Persamaan 4.3 dan 4.4.



$$SPWM1[i]=ICR1*\sin(\pi*2i/Mf) \quad (4.3)$$

$$SPWM2[i]=ICR1*\sin(\pi*2i/Mf-\pi) \quad (4.4)$$

Dimana:

SPWM1[i] dan SPWM2[i] merupakan *array* sinyal sinus yang berisi 100 titik *sampling* namun berbeda fasa 180 derajat sedangkan *register* ICR1 menentukan lama periode dari sinyal *switching* yang dibangkitkan pada mikrokontroler.

Sistem dirancang agar mampu mengatur frekuensi keluaran dengan jangkauan 10 Hz sampai 80 Hz sehingga dengan mengatur isi *register* ICR1 *range* tersebut bisa didapatkan. Isi nilai pada *register* ICR1 bisa didapatkan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$ICR1 = \frac{f_{i/o}}{2 * Mf * f_o} \quad (4.5)$$

Dimana:

$f_{i/o}$ = frekuensi sistem mikrokontroler (16 MHz),

Mf = Indeks modulasi frekuensi (100),

f_o = frekuensi keluaran *inverter*.

Sedangkan untuk nilai indeks modulasi amplitudo dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Ma = \frac{ICR1}{ICR1'} \quad (4.6)$$

Dimana:

ICR1 = Isi *register* ICR1 dari Persamaan 4.5.

ICR1' = isi *register* ICR1 yang digunakan sebagai acuan frekuensi dasar 50 Hz.

Nilai ICR1 dan Ma yang didapatkan untuk frekuensi keluaran 10-80 Hz dapat dilihat pada Tabel 4.1. Kemudian sinyal masukan pada mikrokontroler yang digunakan sebagai pengatur perubahan nilai frekuensi dan tegangan keluaran *inverter* menggunakan fitur *Analog to Digital Converter* (ADC). ADC yang digunakan adalah ADC0 yang menerima masukan dari potensiometer. Potensiometer meter sendiri bekerja pada dengan *range* 0-5 V, maka nilai tegangan ini akan dikonversi oleh ADC dengan *range* 0-1023. Sehingga isi *register* ICR1 bisa diubah-ubah dengan menggunakan persamaan:

$$ICR1 = 8000 - ADC * 6.8426 \quad (4.7)$$

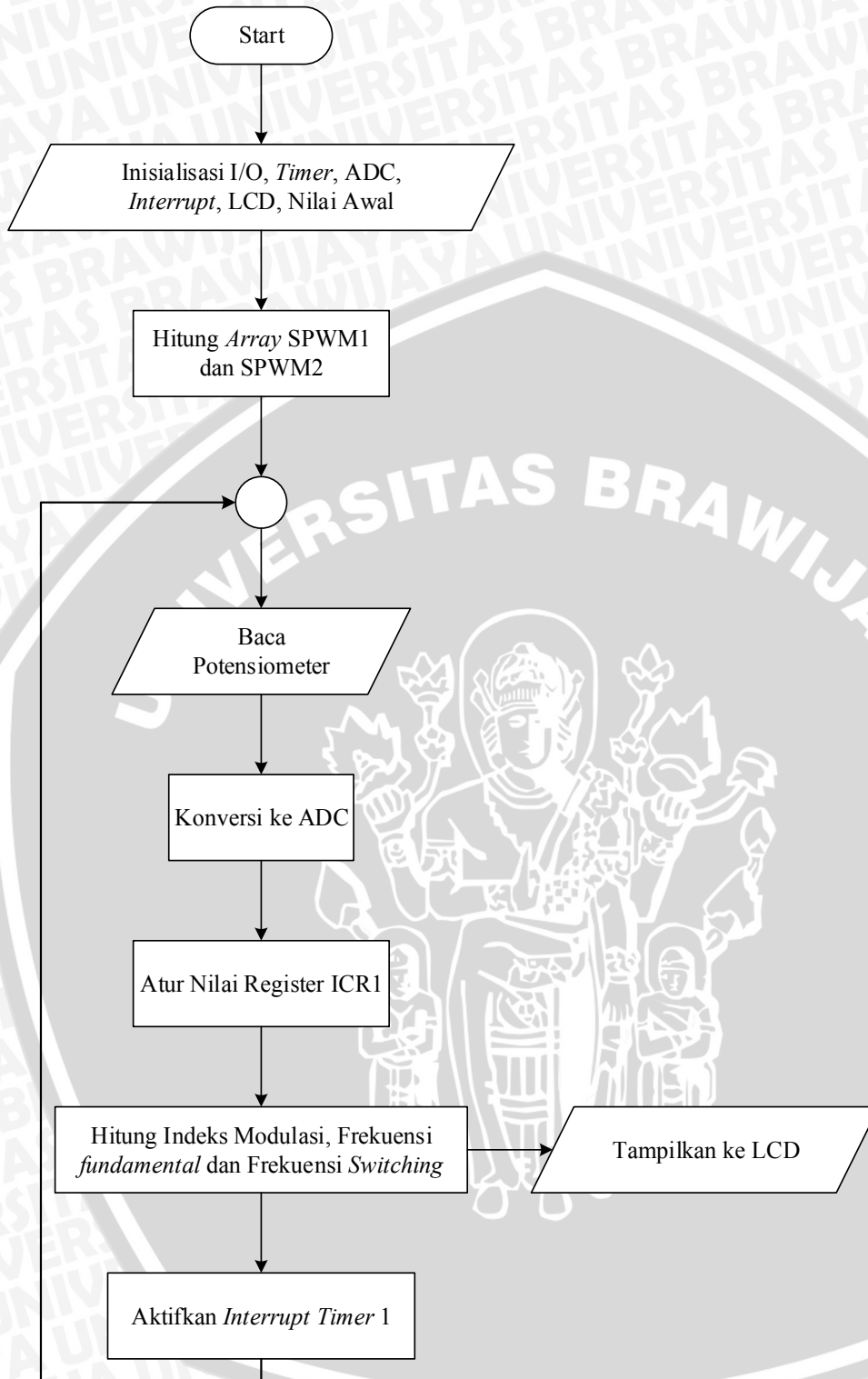
Karena pengaturan tegangan keluaran *inverter* ditentukan oleh indeks modulasi *amplitude* maka ditentukan untuk indeks modulasi amplitudo sama dengan satu saat frekuensi 50 Hz. Dalam hal ini maka diperlukan data awal sehingga bisa dibandingkan

dengan isi *register* ICR1. Jika terjadi perubahan frekuensi maka akan terjadi perubahan tegangan, hal ini dimaksudkan untuk menjaga rasio tegangan dan frekuensi adalah konstan.

Tabel 4.2 Hasil perhitungan nilai ICR1, Ma, konversi ADC untuk program *switching*.

Fo (Hz)	ICR1	Ma	ADC
10	8000	0.2	0
15	5333	0.3	390
20	4000	0.4	585
25	3200	0.5	701
30	2667	0.6	779
35	2286	0.7	835
40	2000	0.8	877
45	1778	0.9	909
50	1600	1.0	935
55	1455	1.1	957
60	1333	1.2	974
65	1231	1.3	989
70	1143	1.4	1002
75	1067	1.5	1013
80	1000	1.6	1023

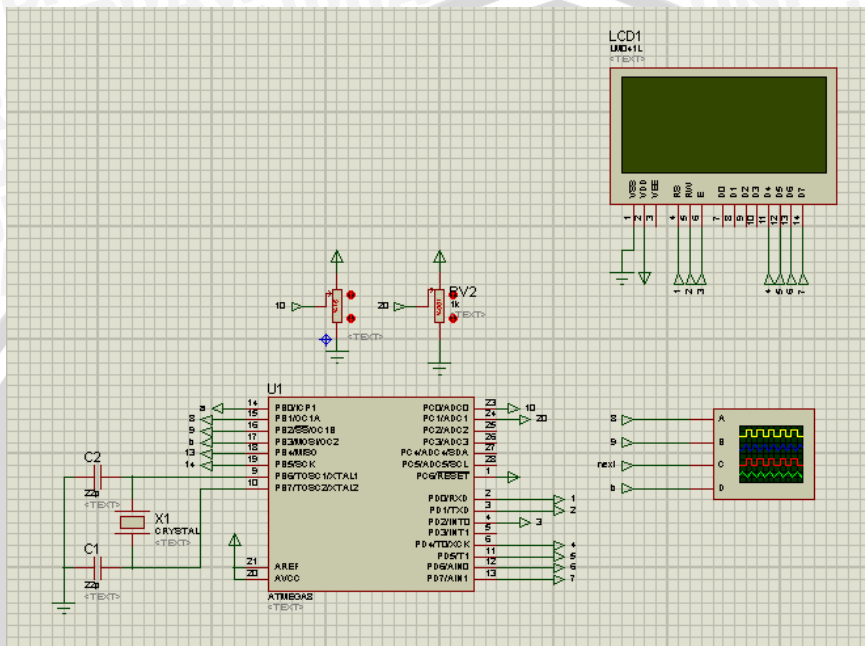
Kemudian setelah perhitungan selesai maka dibuatlah program menggunakan CodeVisionAVR. *Flowchart* program yang akan dikerjakan oleh mikrokontroler ATmega8 bisa dilihat pada Gambar 4.9. Ketika mikrokontroler dihidupkan maka proses inisialisasi akan dilakukan yang meliputi inisialisasi I/O, *timer*, ADC, *interrupt*, LCD, nilai awal, serta variabel-variabel yang digunakan untuk keperluan pemrograman. Setelah proses itu selesai maka mikrokontroler akan menghitung *array* SPWM sesuai Persamaan 4.3 dan 4.4 dimana hasil perhitungan akan disimpan pada RAM. Kemudian dengan memanfaatkan fitur ADC *free running mode*, mikrokontroler akan memulai konversi tegangan yang terbaca pada potensiometer dan mengkonversinya dengan resolusi 10bit. Dimana hasil konversi akan digunakan untuk menentukan nilai isi pada *register* ICR1. Ketika isi *register* ICR1 telah memiliki nilai maka program akan menjalankan *interrupt timer1 overflow* untuk membaca *array* SPWM1 dan SPWM2 yang telah tersimpan sebelumnya pada RAM. Karena ADC bekerja seakan akan bebas maka akan selalu ada konversi dimana hal ini dimanfaatkan untuk mengubah-ubah isi *register* ICR1 untuk mengatur frekuensi dan tegangan *output inverter*.



Gambar 4.9 Flowchart program inverter.

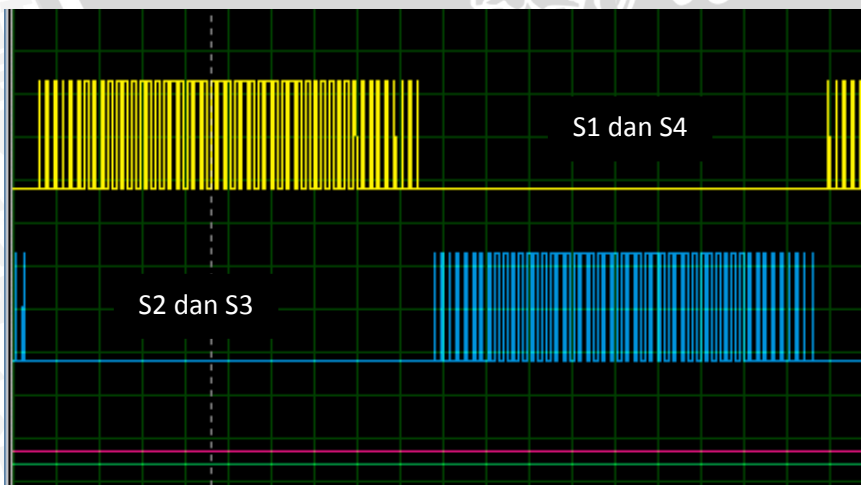
4.3.2 Strategi *Swiching* SPWM

Program yang telah dibuat maka disimulasikan terlebih dahulu dengan bantuan *software* PROTEUS. Skematik rangkaian yang digunakan untuk menguji program ditampilkan pada Gambar 4.10. Komponen utama yang digunakan adalah IC Mikrokontroler ATmega8 dengan Kristal 16 MHz, LCD sebagai *interface* dan osiloskop untuk melihat sinyal SPWM yang dihasilkan oleh mikrokontroler.

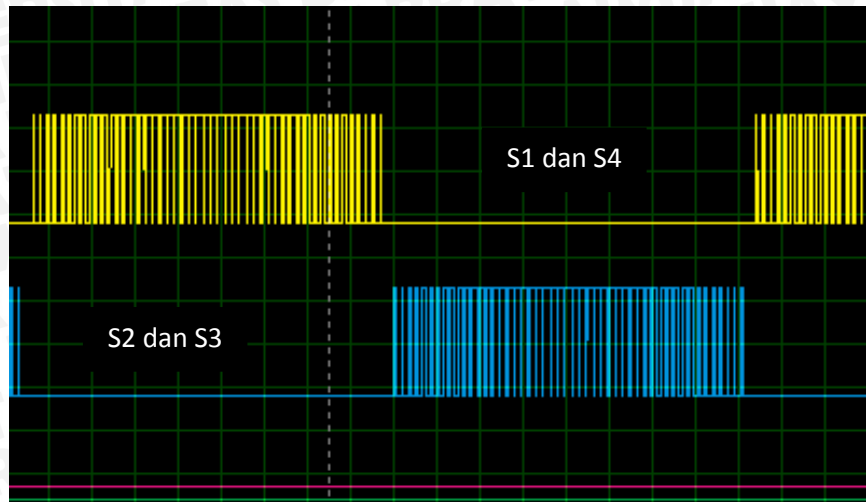
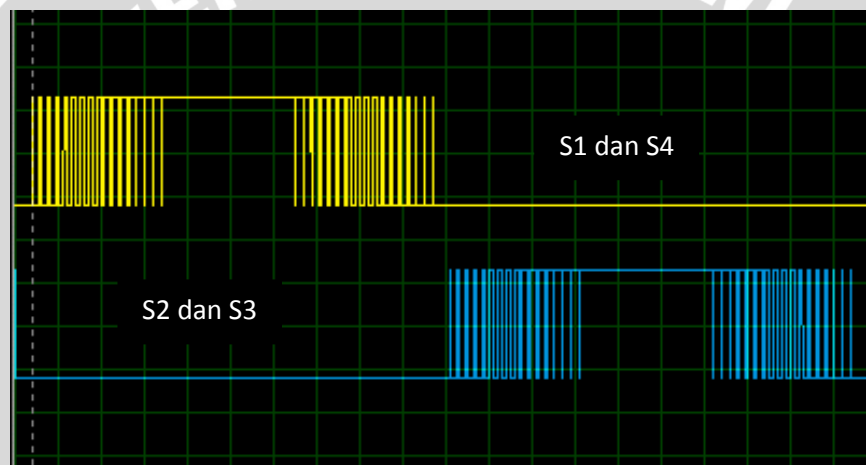


Gambar 4.10 Skematik Simulasi Program

Demi menghindari *short circuit* pada sisi *high side* dan *low side* dari rangkaian *full bridge inverter* maka digunakan strategi *switching* seperti tampak pada Gambar 4.11, 4.12, 4.13 dimana sinyal warna kuning untuk kendali S1 dan S4 sedangkan sinyal warna biru untuk kendali S2 dan S3. Berikut ditampilkan hasil simulasi dari program yang telah dibuat untuk berbagai indeks modulasi amplitudo.



Gambar 4.11 sinyal *switching* dengan $M_a=0.69$

Gambar 4.12 sinyal *switching* dengan $M_a=1$.Gambar 4.13 sinyal *switching* dengan $M_a=1.13$

Strategi ini mengacu pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Ismail (2006) mengatakan dalam jurnal penelitiannya bahwa strategi tersebut digunakan untuk menghindari terjadinya *short circuit* antara sisi *high side* dan *low side* pada *full bridge inverter*.



BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pada bab ini membahas pengujian dan analisis alat yang telah dirancang. Pengujian dilakukan pengukuran tiap-tiap blok untuk mengetahui kerja dari tiap blok apakah sesuai dengan yang telah direncanakan. Pengujian yang dilakukan meliputi:

- Pengujian rangkaian catu daya.
- Pengujian program *switching* dengan mikrokontroler.
- Pengujian rangkaian *optocoupler*.
- Pengujian rangkaian *gate driver* MOSFET.
- Pengujian rangkaian *full bridge* E-MOSFET kanal N.
- Pengujian alat keseluruhan.

5.1 Pengujian Rangkaian Catu Daya Mikrokontroler

5.1.1 Tujuan

Pengujian ini dilakukan untuk melihat apakah rangkaian catu daya bekerja sesuai dengan fungsinya. Tegangan yang dibutuhkan sebesar 5 volt untuk mencatu mikrokontroler.

5.1.2 Peralatan

Dalam melakukan pengujian catu daya dibutuhkan beberapa peralatan sebagai berikut:

- Sumber tegangan DC
- Regulator LM7805
- Osiloskop

5.1.3 Prosedur pengujian

Prosedur pengujian dilakukan catu daya dapat dilakukan beberapa tahap, yaitu:

- Menyusun rangkaian yang ditunjukkan pada Gambar 5.1

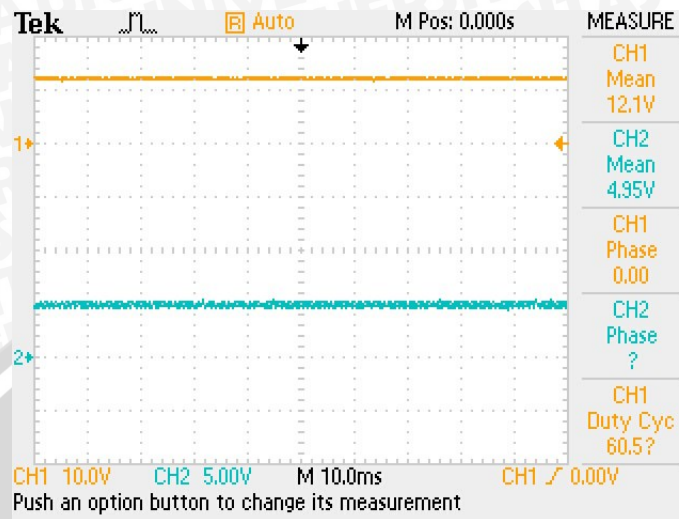


Gambar 5.1 Blok diagram pengujian catu daya

- Memberikan tegangan masukan pada regulator LM7805 sebesar 15 volt.
- Melihat tegangan keluaran dari regulator LM7805.
- Hubungkan CH1 osiloskop pada input LM7805 dan CH2 osiloskop pada output LM7805.

5.1.4 Hasil dan pembahasan

Pada pengujian catu daya, melihat kerja dari regulator untuk mencatu daya 5 volt dengan tegangan masukan 15 volt, hasilnya diperlihatkan oleh Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Hasil pengujian catu daya 5 volt

V/div CH1=10 volt, V/div CH2=5 volt dan time/div=10 ms

Hasil pengujian menunjukkan rangkaian regulator LM7805 berfungsi dengan baik dengan tegangan keluaran sebesar 4.95 volt. Nilai tegangan 4.95 volt ini telah sesuai dengan tegangan kerja yang dibutuhkan oleh mikrokontroler yaitu antara 4.5-5.5 volt.

5.2 Pengujian Program Sinyal *Switching*

5.2.1 Tujuan

Pengujian sinyal *switching* bertujuan untuk mengetahui bentuk sinyal yang dihasilkan oleh mikrokontroler dari pemrograman yang telah dilakukan.

5.2.2 Peralatan

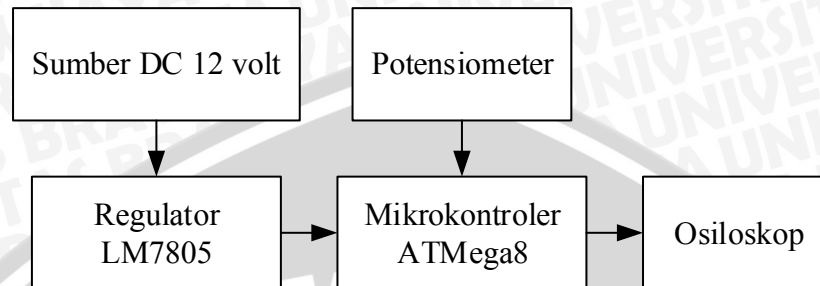
Peralatan yang dibutuhkan untuk pengujian ini adalah sebagai berikut:

- Sumber DC
- Catu daya 5 volt
- Minimum sistem mikrokontroler
- Potensiometer
- Osiloskop

5.2.3 Prosedur pengujian

Prosedur pengujian sinyal *switching* dilakukan beberapa tahap, yaitu:

- Membuat perangkat lunak mikrokontroler ATmega8 yang digunakan untuk mengeluarkan sinyal *switching* sinusoidal PWM, dengan menggunakan program CodeVison AVR. Kemudian di *download* ke dalam mikrokontroler.
- Menyusun rangkaian pengujian seperti pada Gambar 5.3.

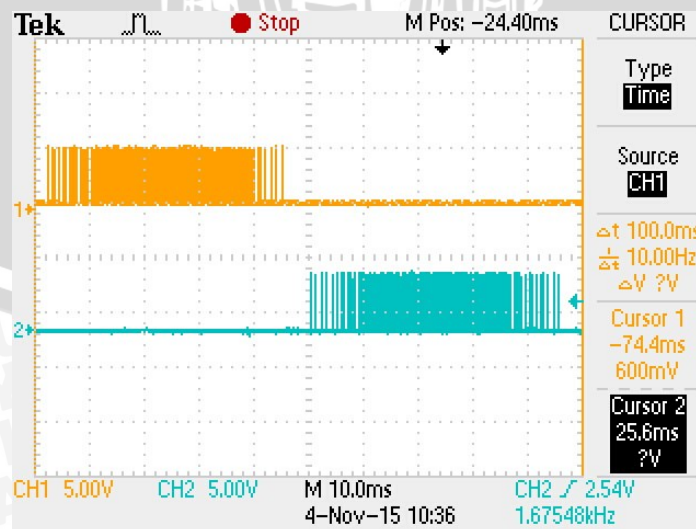


Gambar 5.3 Blok diagram pengujian sinyal switching

- Menghubungkan potensiometer pada *PIN* 23 mikrokontroler. Menghubungkan *probe* osiloskop pada *PIN* 15, 16 mikrokontroler dan *ground*.
- Parameter sinyal yang diamati pada osiloskop yaitu: bentuk sinyal SPWM, frekuensi *switching*, nilai indeks modulasi amplitudo untuk setiap nilai frekuensi keluaran yang diinginkan.
- Membandingkan hasil pengujian dengan hasil simulasi pada bab 4.

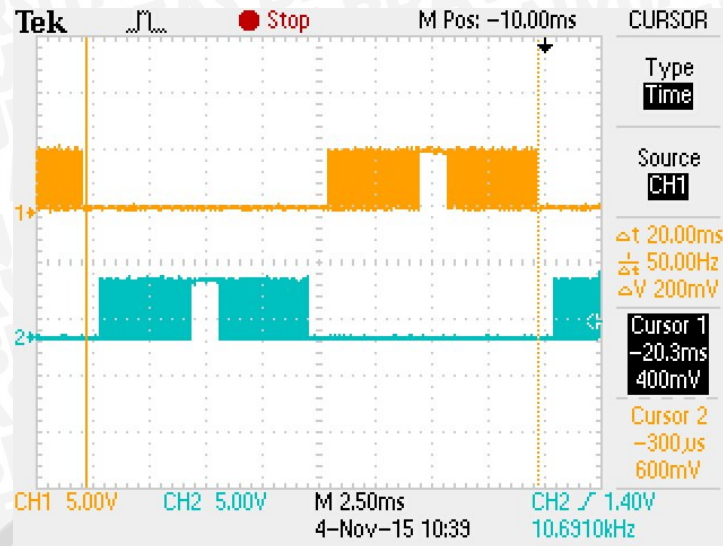
5.2.4 Hasil dan pembahasan

Bentuk sinyal *switching* SPWM yang diamati ada pengujian ini ditentukan oleh besarnya indeks modulasi amplitudo (M_a). Hasil pengujian untuk nilai $M_a < 1$ ditunjukkan oleh Gambar 5.4, nilai $M_a = 1$ ditunjukkan oleh Gambar 5.5 dan nilai $M_a > 1$ ditunjukkan oleh Gambar 5.6.

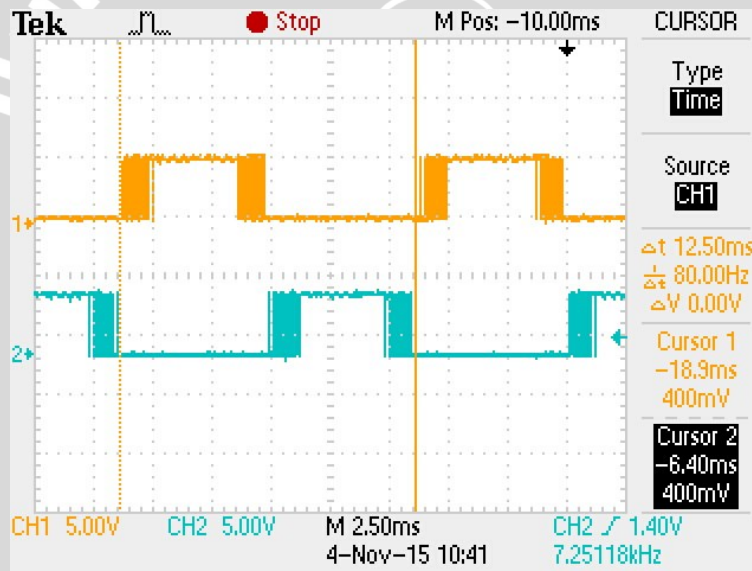


Gambar 5.4 Sinyal *switching* untuk frekuensi keluaran 10 Hz dengan $M_a = 0.2$

V/div=5 volt dan *time*/div=10 ms



Gambar 5.5 Sinyal *switching* untuk frekuensi keluaran 50 Hz dengan $M_a=1$
 $V/div=5$ volt dan $time/div=2.5$ ms



Gambar 5.6 Sinyal *switching* untuk frekuensi keluaran 80 Hz dengan $M_a=1.6$
 $V/div=5$ volt dan $time/div=2.5$ ms

Berdasarkan 3 bentuk sinyal yang diamati dari pengujian ini lalu dibandingkan dengan hasil simulasi pada Sub Bab 4.3.2 maka bentuk sinyal yang dihasilkan untuk nilai $M_a < 1$, $M_a = 1$, $M_a > 1$ telah sesuai dengan simulasi yang dilakukan. Frekuensi sinyal *switching* yang dihasilkan oleh mikrokontroler ditentukan oleh banyaknya titik *sampling* yang digunakan. Dalam perencanaan digunakan 100 titik *sampling*. Data hasil pengujian sinyal *switching* yang dihasilkan oleh mikrokontroler ATmega8 secara lengkap ditunjukkan oleh Tabel 5.1. Berdasarkan data pada Tabel 5.1, M_a memiliki nilai dengan *range* 0.2-1.6 untuk frekuensi keluaran *inverter* dari 10 Hz hingga 80 Hz. Besarnya perubahan frekuensi keluaran *inverter* telah sesuai dengan nilai *setpoint* yang diberikan.

Tabel 5.1 Hasil pengujian sinyal SPWM mikrokontroler

No	Frekuensi Keluaran (Hz)	Ma	Frekuensi <i>switching</i> (Hz)
1	10	0.2	1000
2	20	0.4	2000
3	30	0.6	3000
4	40	0.8	4000
5	50	1.0	5000
6	60	1.2	6000
7	70	1.4	7000
8	80	1.6	8000

5.3 Pengujian Rangkaian *Driver*

5.3.1 Tujuan

Tujuan pengujian rangkaian *driver* adalah untuk melihat bentuk sinyal keluaran dari *optocoupler* 4N25 dan IC *gate driver* IR2110 dalam meneruskan sinyal *switching* yang diberikan oleh mikrokontroler.

5.3.2 Peralatan

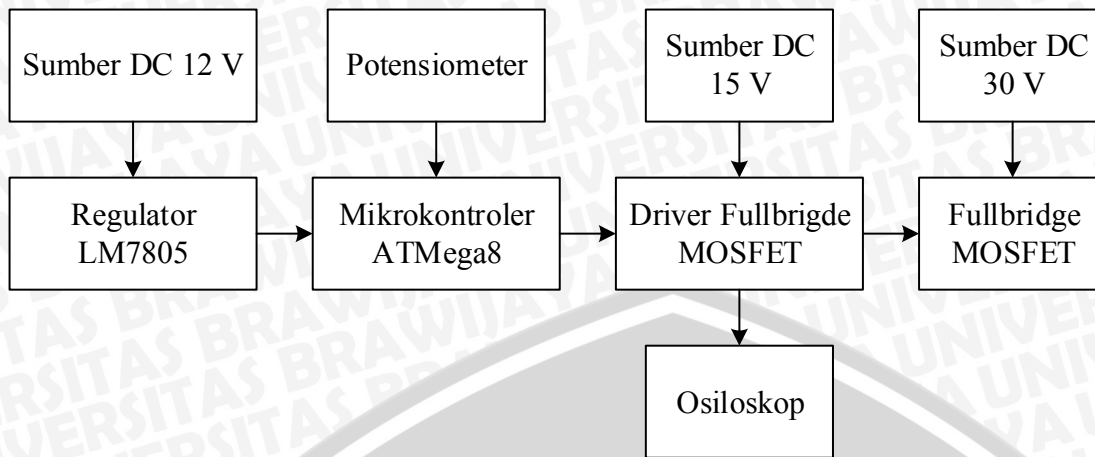
Peralatan yang diperlukan untuk melakukan pengujian ini adalah sebagai berikut:

- Sumber DC 12V, 15V dan 240V
- Minimum sistem mikrokontroler ATmega8
- Driver Full bridge* MOSFET
- Full bridge* MOSFET
- Isolation Amplifier*

5.3.3 Prosedur pengujian

Prosedur pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

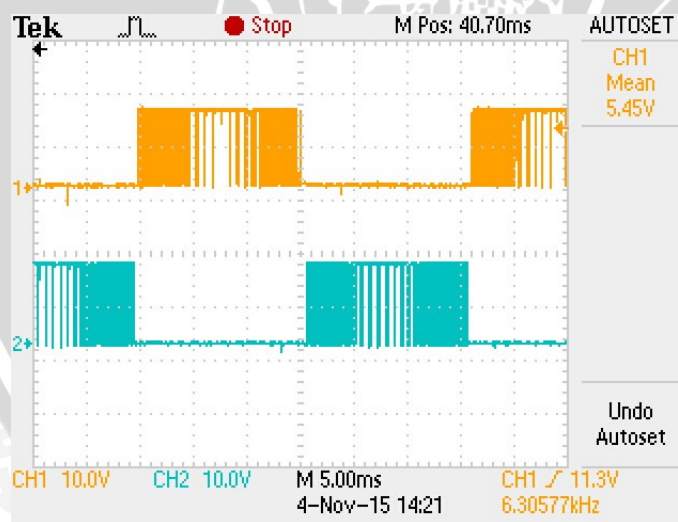
- Menyusun rangkaian seperti yang ditunjukkan blok diagram Gambar 5.7
- Memberikan sinyal *switching* dari mikrokontroler
- Menghubungkan *probe* osiloskop pada *pin* HO dan LO dari IR2110
- Mengamati bentuk sinyal yang dihasilkan pada osiloskop



Gambar 5.7 Diagram blok pengujian *driver*

5.3.4 Hasil dan pembahasan

IR2110 sebagai komponen *driver gate* tampak bekerja dengan baik seperti pada Gambar 5.8. IR2110 mampu meneruskan sinyal *switching* yang diberikan oleh mikrokontroler sesuai dengan pengaturan melalui potensiometer. Pada Gambar 5.8 CH1 menampilkan sinyal keluaran sisi *high side* dan CH2 menampilkan sinyal keluaran sisi *low side*. Tampak pada gambar bentuk sinyal adalah sama namun berbeda fasa 180 derajat. Berdasarkan hasil ini maka sisi *high side* dan *low side* tidak akan *on* secara bersamaan sehingga *short circuit* antar keduanya bisa dihindari.



Gambar 5.8 Sinyal keluaran IR2110 pada HO dan LO
V/div=10 volt dan *time/div*=5 ms

5.4 Pengujian Rangkaian *Full bridge Inverter*

5.4.1 Tujuan

Tujuan pengujian ini adalah untuk melihat bentuk sinyal keluaran yang dihasilkan oleh rangkaian *full bridge*.

5.4.2 Peralatan

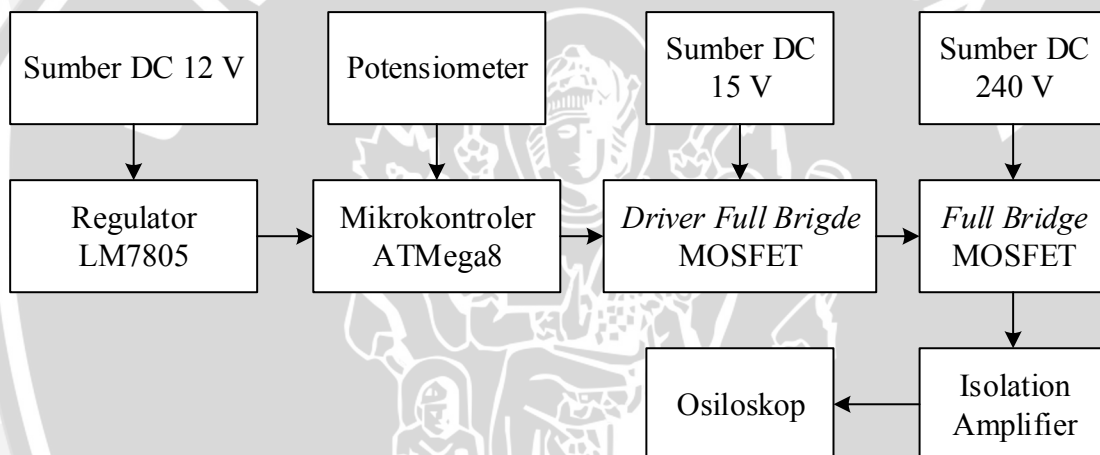
Peralatan yang diperlukan untuk melakukan pengujian ini adalah sebagai berikut:

- Sumber DC 12V, 15V dan 240V
- Minimum sistem mikrokontroler ATmega8
- Driver full bridge* MOSFET
- Full bridge* MOSFET
- Isolation amplifier*
- Osiloskop

5.4.3 Prosedur pengujian

Prosedur pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Menyusun rangkaian sesuai dengan blok diagram pada Gambar 5.9
- Mengamati sinyal yang tampak pada osiloskop.



Gambar 5.9 Blok diagram pengujian *full bridge inverter*

5.4.4 Hasil dan pembahasan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan didapatkan bentuk sinyal dari *full bridge* MOSFET seperti pada Gambar 5.10. Meski bentuk sinyal yang dihasilkan telah sama dengan teori namun tampak ada *spike* yang muncul. Ini diakibatkan MOSFET yang digunakan tidak ideal dan mengandung komponen parasitik yang mana mempengaruhi waktu *turn off* dan *turn on* MOSFET saat proses *switching*. Bentuk sinyal adalah sinyal *square* yang memiliki nilai *duty cycle* berbeda dalam setengah periodenya sehingga jika diambil nilai rata-ratanya maka nilainya akan setara dengan sinyal berbentuk sinusoida.



Gambar 5.10 Sinyal yang dihasilkan oleh *full bridge* MOSFET
 $V/div=50$ volt dan $time/div=5$ ms

5.5 Pengujian Sistem Keseluruhan.

5.5.1 Tujuan

Tujuan pengujian ini adalah untuk melihat kinerja dari alat yang telah dibuat untuk men-*supply* beban resistif ataupun beban resistif-induktif.

5.5.2 Peralatan

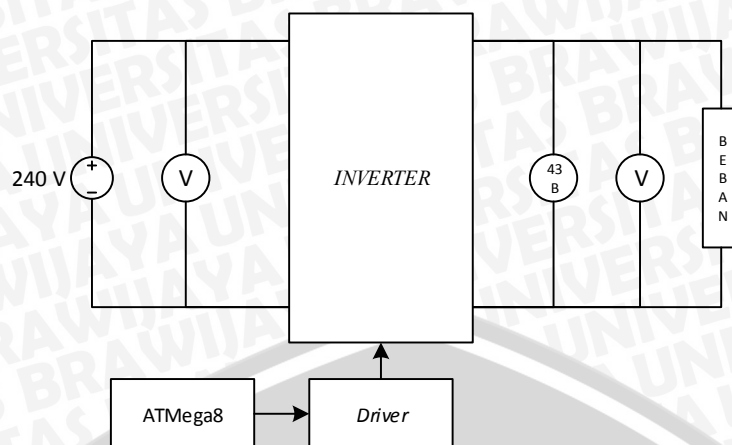
Peralatan yang diperlukan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

- Sumber DC 240 V
- Voltmeter
- Fluke 43 B
- Tachometer
- Rangkaian *inverter* satu fasa.
- Beban resistif (Lampu 15W)
- Beban resistif induktif (Motor induksi satu fasa)

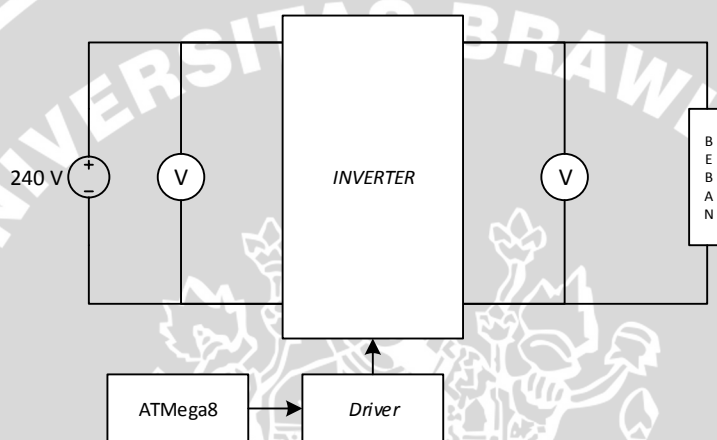
5.5.3 Prosedur pengujian

Prosedur pengujian sistem secara keseluruhan adalah sebagai berikut:

- Menyusun rangkaian pengujian seperti blok diagram pada Gambar 5.11 untuk pengujian sistem dengan beban resistif.
- Mengamati dan mencatat parameter frekuensi keluaran *inverter*, frekuensi *switching inverter*, THD, M_a , nilai tegangan keluaran *inverter*.
- Menyusun rangkaian pengujian seperti pada Gambar 5.12 untuk pengujian sistem dengan beban resistif induktif.
- Mengamati dan mencatat parameter frekuensi keluaran, ukur kecepatan motor dengan tachometer.



Gambar 5.11 Rangkaian pengujian dengan beban resistif



Gambar 5.12 Rangkaian pengujian dengan bebab resistif-induktif

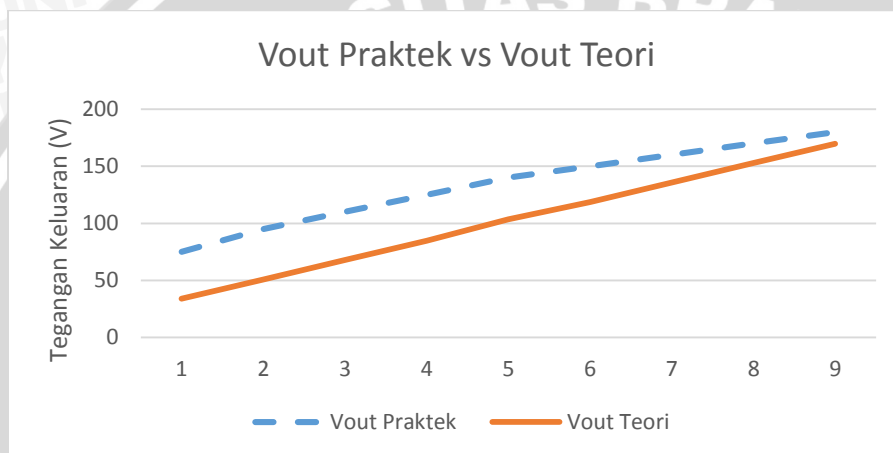
5.5.4 Hasil dan pembahasan

Hasil pengujian *inverter* dengan beban resistif 230 ohm diberikan oleh Tabel 5.2.

Tabel 5.2. Hasil Pengujian *Inverter* Beban Resistif

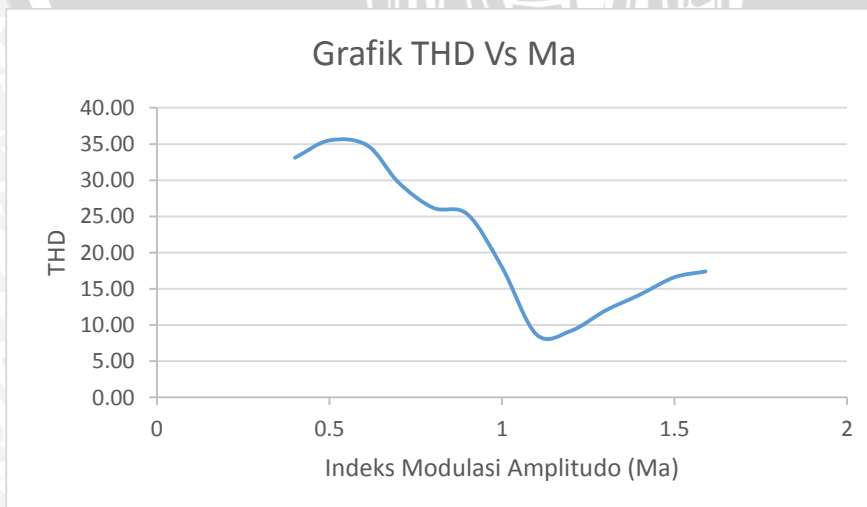
Frekuensi (Hz)	Ma	Vout Praktek (V)	Vout Teori (V)	THD (%)	V/f
10	0.2	75	33.941	----	7.49
15	0.3	95	50.912	----	6.27
20	0.4	110	67.883	33.10	5.50
25	0.5	125	84.854	35.50	4.98
30	0.6	140	103.52	34.80	4.62
35	0.7	150	118.80	29.70	4.27
40	0.8	160	135.77	26.20	4.00
45	0.9	170	152.74	25.30	3.77
50	1.0	180	169.71	18.00	3.59
55	1.1	195	----	8.70	3.54
60	1.2	200	----	9.20	3.30
65	1.3	205	----	12.00	3.14
70	1.4	210	----	14.20	3.00
75	1.5	210	----	16.60	2.79
80	1.6	210	216.19	17.40	2.64

Berdasarkan Tabel 5.2 Nilai M_a mempengaruhi nilai tegangan keluaran *inverter*. Perubahan tegangan yang terjadi adalah linier saat $M_a \leq 1$ dan tidak linier ketika nilai $M_a > 1$. V_{out} secara teori dihitung berdasarkan Persamaan 2.1 untuk $M_a \leq 1$ sedangkan ketika nilai $M_a > 1$ tegangan keluaran *inverter* adalah 216.19 volt berdasarkan Persamaan 2.2 untuk tegangan masukan 240 V_{dc} . Hasil pengukuran tegangan maksimum keluaran *inverter* adalah 210 V_{rms} . Perbandingan nilai tegangan keluaran *inverter* secara teori dan praktek diperlihatkan oleh Gambar 5.13 menunjukkan ada selisih yang cukup besar, hal ini disebabkan oleh kemampuan *switching optocoupler* 4N25 yang kurang cepat sehingga mengakibatkan perubahan nilai M_a yang telah diprogram dalam mikrokontroler.



Gambar 5.13 Grafik perbandingan tegangan keluaran secara praktek dan teori

Nilai THD tegangan keluaran *inverter* yang didapatkan dari pengukuran dengan *fluke 43B* diberikan oleh Gambar 5.14. Tampak bahwa nilai THD terkecil saat nilai $M_a = 1.1$ dan apabila nilai M_a kurang dari atau lebih dari 1.1 maka nilai THD akan semakin besar.



Gambar 5.14 Grafik perbandingan THD terhadap M_a .

Pengujian sistem dengan beban resistif-induktif yaitu dengan motor induksi satu fasa sebagai beban menunjukkan adanya perubahan kecepatan motor saat nilai frekuensi dan tegangan yang diberikan berubah. Hasil pengujian dengan beban motor bisa dilihat pada Tabel 5.3. Kecepatan motor bisa diatur dengan range kecepatan dari 210 rpm sampai 1711 rpm. Nilai rasio V/f adalah relatif konstan, hal ini disebabkan oleh nilai tegangan keluaran inverter yang berubah akibat penggunaan *optocoupler* 4N25 sebagai isolasi *ground*.

Tabel 5.3 Hasil pengujian *inverter* dengan beban motor induksi satu fasa.

Frekuensi (Hz)	Vout (V)	V/f	Speed (rpm)
10	75	7.50	210
15	95	6.33	335
20	110	5.50	470
25	125	5.00	600
30	140	4.67	720
35	150	4.29	880
40	160	4.00	1025
45	170	3.78	1170
50	180	3.60	1305
55	195	3.55	1425
60	200	3.33	1540
65	205	3.15	1625
70	210	3.00	1670
75	210	2.80	1696
80	210	2.63	1711



BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian tiap blok dan pengujian sistem secara keseluruhan yang telah dilakukan dalam Bab V, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Rangkaian *control unit inverter* meliputi: ATmega8 sebagai pembangkit sinyal *switching* SPWM secara digital, *optocoupler* 4N25 sebagai isolasi *ground* Atmega8 dengan IR2110, IR2110 sebagai *gate driver transistor*, dan IRFP460 sebagai komponen *switching* rangkaian *full bridge*.
2. Frekuensi keluaran *inverter* diatur dengan mengubah nilai *register* ICR1 pada ATmega8 sedangkan tegangan keluaran *inverter* bisa diatur dengan mengubah nilai indeks modulasi amplitudo (M_a).
3. Bentuk sinyal tegangan keluaran *inverter* telah sesuai dengan teori yaitu sinyal *square* dengan nilai *dutycycle* yang berbeda dan jika diambil nilai rata-ratanya akan setara dengan sinyal berbentuk sinusoida.
4. THD terkecil dihasilkan saat $M_a = 1.1$ yaitu sebesar 8.7 %.

6.2 Saran

Beberapa hal yang direkomendasikan untuk pengembangan lebih lanjut adalah:

1. Perlu adanya filter dari hasil keluaran *inverter* sehingga dihasilkan nilai THD yang lebih kecil.
2. *Optocoupler* yang digunakan sebaiknya memiliki kecepatan *switching* yang lebih tinggi dari 4N25 sehingga kualitas tegangan *output* lebih baik.
3. Perlu rangkaian *snubber* untuk menghilangkan *spike-spike* yang timbul saat *switching* agar kualitas gelombang yang dihasilkan lebih baik.
4. Algoritma pemrograman perlu pengembangan agar nilai THD yang dihasilkan bisa lebih kecil saat frekuensi keluaran *inverter* kurang dari 50 Hz.



DAFTAR PUSTAKA

- Application Note 1092, *Understanding HVIC datasheet Specifications*.
<http://www.irf.com>, diakses tanggal 17 Oktober 2014.
- Application Note 978, *HV Floating MOS Gate Driver IC's RevD*.
<http://www.irf.com>, diakses tanggal 17 Oktober 2014.
- Atmel. 2013. *8-bit AVR with 8KBytes In-System Programmable Flash ATmega8*.
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/atmel/2486S.pdf>. Diakses tanggal 13 September 2014.
- Bobby, W.U. 2011. *Pembuatan Inverter Satu Fasa Unipolar Pulse Width Modulation Switching untuk Praktikum pada Laboratorium Elektronika Daya*. Skripsi tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Design Tips DT04-4, *Use Monolithics High Voltage Gate Driver*. <http://www.irf.com>, diakses tanggal 17 Oktober 2014.
- Electus Distribution Reference Datasheet. 2001. *Optocouplers: When & How to Use Them*. Electus Distribution
- International Rectifier. IR2110 datasheet. <http://www.irf.com>, diakses tanggal 17 Oktober 2014.
- International Rectifier. IRFP460 datasheet. <http://www.irf.com>, diakses tanggal 17 Oktober 2014.
- Ismail, B., Taib, S. MIEEE., M. Saad, A. R., Isa, M., Hadzer, C. M. 2006. *Development of a Single Phase SPWM Microcontroller-Based Inverter*. Makalah dalam First International Power and Energy Conference PECon. Putrajaya Malaysia, 28-29 November 2006.
- Mohan, Ned, Tore Undeland, P.Robbins. 2003. *Power Electronics 3rd edition*. New York: John Willey&Son.
- Rashid, Muhamad. 2011. *Power Electronics handbook 3rd edition*. UK: Butterworth-Heinemann.



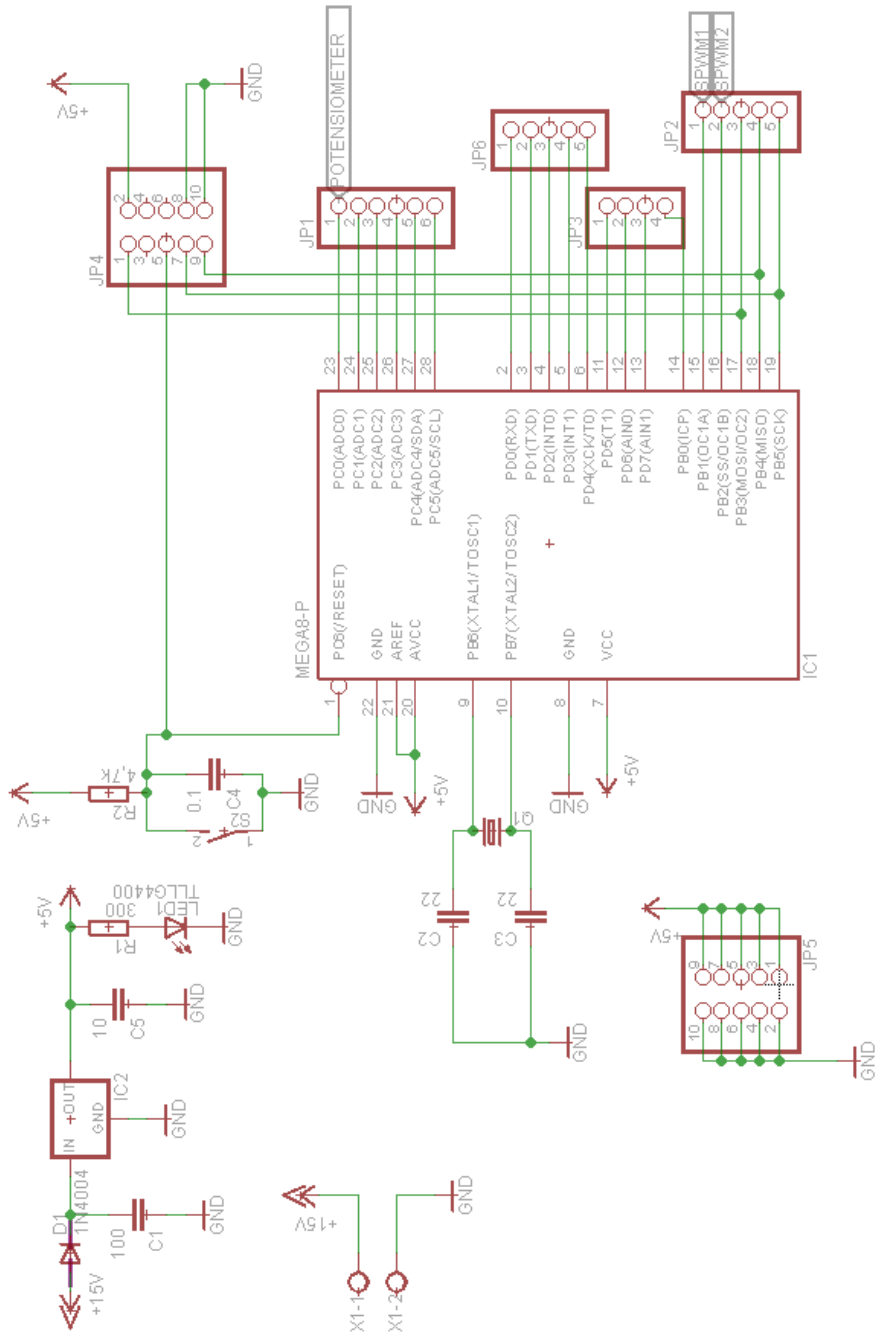


Lampiran

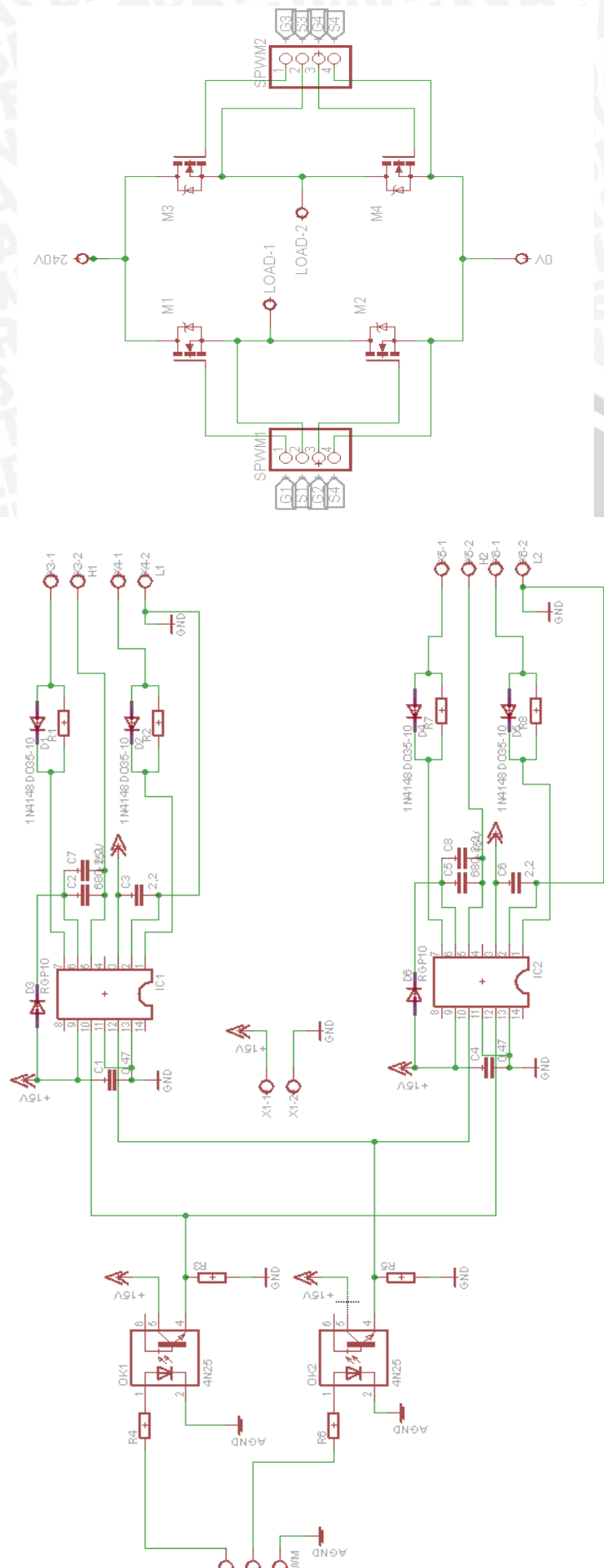


Lampiran 1

Skematik Rangkaian Keseluruhan



Gambar L1. Rangkaian Minimum System ATmega8



Gambar L2. Rangkaian Driver dan Full Bridge Inverter

Lampiran 2*Listing Program*

```

/*****

```

```

This program was created by the
CodeWizardAVR V3.16 Evaluation
Automatic Program Generator
© Copyright 1998-2014 Pavel Haiduc, HP InfoTech s.r.l.
http://www.hpinfotech.com

```

```

Project : Inverter single fase
Version : Final
Date    : 07/11/2014
Author  : Joko Purnomo
Company : 63
Comments: This is a good result

```

```

Chip type      : ATmega8
Program type   : Application
AVR Core Clock frequency: 16,000000 MHz
Memory model   : Small
External RAM size : 0
Data Stack size : 256

```

```

*****/

```

```

#include <mega8.h>
#include <math.h>
#include <delay.h>
#include <stdio.h>
#include <alcd.h> // Alphanumeric LCD functions

```

```

// Declare your global variables here

```

```

int i=0;
int A[100], B[100];
float Fo, Fs, adc;
unsigned char lcd [33];

```

```

// Timer1 overflow interrupt service routine
interrupt [TIM1_OVF] void timer1_ovf_isr(void)

```

```

{
    OCR1A=A[i];
    OCR1B=B[i];
    i++;
    if (i>=100)
        i=0;
}

```

```

void SPWM(void)

```

```

{
    for(i=0;i<50;++i)
        {A[i]=1600*sin(PI*i/50);}
}

```

```
for(i=50;i<100;++i)
    {B[i]=1600*sin(PI*i/50-PI);}
}

void show0()
{
    lcd_clear();
    sprintf(lcd," SPWM Inverter\n   by JOE63");
    lcd_puts(lcd);
    delay_ms(1000);
    lcd_clear();
    lcd_gotoxy(0,0);
    sprintf(lcd,"Fo:");
    lcd_puts(lcd);
    lcd_gotoxy(0,1);
    sprintf(lcd,"Fs:");
    lcd_puts(lcd);
    lcd_gotoxy(9,0);
    sprintf(lcd,"Ma:");
    lcd_puts(lcd);
}

void show1()
{
    float ma;
    ma=1600/(8000-adc*6.84262);
    Fo=ma*50;
    Fs=Fo*100;
    lcd_gotoxy(3,0);
    sprintf(lcd,"%0f",Fo);
    lcd_puts(lcd);
    lcd_gotoxy(3,1);
    sprintf(lcd,"%02f",Fs);
    lcd_puts(lcd);
    lcd_gotoxy(12,0);
    sprintf(lcd,"%02f",ma);
    lcd_puts(lcd);
    lcd_gotoxy(3,2);
    sprintf(lcd,"%02f",adc);
    lcd_puts(lcd);
    lcd_gotoxy(3,3);
    sprintf(lcd,"%d",ICR1);
    lcd_puts(lcd);
}

// Voltage Reference: AVCC pin
#define ADC_VREF_TYPE ((0<<REFS1) | (1<<REFS0) | (0<<ADLAR))
```

```

// Read the AD conversion result
unsigned int read_adc(unsigned char adc_input)
{
  ADMUX=adc_input | ADC_VREF_TYPE;
  // Delay needed for the stabilization of the ADC input voltage
  delay_us(10);
  // Start the AD conversion
  ADCSRA|=(1<<ADSC);
  // Wait for the AD conversion to complete
  while ((ADCSRA & (1<<ADIF))==0);
  ADCSRA|=(1<<ADIF);
  return ADCW;
}

void main(void)
{
  // Declare your local variables here

  // Input/Output Ports initialization
  // Port B initialization
  // Function: Bit7=Out Bit6=Out Bit5=Out Bit4=Out Bit3=Out
  Bit2=Out Bit1=Out Bit0=Out
  DDRB=(1<<DDB7) | (1<<DDB6) | (1<<DDB5) | (1<<DDB4) | (1<<DDB3) |
  (1<<DDB2) | (1<<DDB1) | (1<<DDB0);
  // State: Bit7=0 Bit6=0 Bit5=0 Bit4=0 Bit3=0 Bit2=0 Bit1=0
  Bit0=0
  PORTB=(0<<PORTB7) | (0<<PORTB6) | (0<<PORTB5) | (0<<PORTB4) |
  (0<<PORTB3) | (0<<PORTB2) | (0<<PORTB1) | (0<<PORTB0);

  // Port C initialization
  // Function: Bit6=In Bit5=In Bit4=In Bit3=In Bit2=In Bit1=In
  Bit0=In
  DDRC=(0<<DDC6) | (0<<DDC5) | (0<<DDC4) | (0<<DDC3) | (0<<DDC2) |
  (0<<DDC1) | (0<<DDC0);
  // State: Bit6=T Bit5=T Bit4=T Bit3=T Bit2=T Bit1=T Bit0=T
  PORTC=(0<<PORTC6) | (0<<PORTC5) | (0<<PORTC4) | (0<<PORTC3) |
  (0<<PORTC2) | (0<<PORTC1) | (0<<PORTC0);

  // Port D initialization
  // Function: Bit7=In Bit6=In Bit5=In Bit4=In Bit3=In Bit2=In
  Bit1=In Bit0=In
  DDRD=(0<<DDD7) | (0<<DDD6) | (0<<DDD5) | (0<<DDD4) | (0<<DDD3) |
  (0<<DDD2) | (0<<DDD1) | (0<<DDD0);
  // State: Bit7=T Bit6=T Bit5=T Bit4=T Bit3=T Bit2=T Bit1=T
  Bit0=T
  PORTD=(0<<PORTD7) | (0<<PORTD6) | (0<<PORTD5) | (0<<PORTD4) |
  (0<<PORTD3) | (0<<PORTD2) | (0<<PORTD1) | (0<<PORTD0);

  // Timer/Counter 0 initialization

```

```

// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 0 Stopped
TCCR0=(0<<CS02) | (0<<CS01) | (0<<CS00);
TCNT0=0x00;

// Timer/Counter 1 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: 16000,000 kHz
// Mode: Ph. & fr. cor. PWM top=ICR1
// OC1A output: Non-Inverted PWM
// OC1B output: Non-Inverted PWM
// Noise Canceler: Off
// Input Capture on Falling Edge
// Timer Period: 0 us
// Output Pulse(s):
// OC1A Period: 0 us
// OC1B Period: 0 us
// Timer1 Overflow Interrupt: On
// Input Capture Interrupt: Off
// Compare A Match Interrupt: Off
// Compare B Match Interrupt: Off
TCCR1A=(1<<COM1A1) | (0<<COM1A0) | (1<<COM1B1) | (0<<COM1B0) |
(0<<WGM11) | (0<<WGM10);
TCCR1B=(0<<ICNC1) | (0<<ICES1) | (1<<WGM13) | (0<<WGM12) |
(0<<CS12) | (0<<CS11) | (1<<CS10);
TCNT1H=0x00;
TCNT1L=0x00;
ICR1H=0x00;
ICR1L=0x00;
OCR1AH=0x00;
OCR1AL=0x00;
OCR1BH=0x00;
OCR1BL=0x00;

// Timer/Counter 2 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer2 Stopped
// Mode: Normal top=0xFF
// OC2 output: Disconnected
ASSR=0<<AS2;
TCCR2=(0<<PWM2) | (0<<COM21) | (0<<COM20) | (0<<CTC2) |
(0<<CS22) | (0<<CS21) | (0<<CS20);
TCNT2=0x00;
OCR2=0x00;

// Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
TIMSK=(0<<OCIE2) | (0<<TOIE2) | (0<<TICIE1) | (0<<OCIE1A) |
(0<<OCIE1B) | (1<<TOIE1) | (0<<TOIE0);

```

```

// External Interrupt(s) initialization
// INT0: Off
// INT1: Off
MCUCR=(0<<ISC11) | (0<<ISC10) | (0<<ISC01) | (0<<ISC00);

// USART initialization
// USART disabled
UCSRB=(0<<RXCIE) | (0<<TXCIE) | (0<<UDRIE) | (0<<RXEN) |
(0<<TXEN) | (0<<UCSZ2) | (0<<RXB8) | (0<<TXB8);

// Analog Comparator initialization
// Analog Comparator: Off
// The Analog Comparator's positive input is
// connected to the AIN0 pin
// The Analog Comparator's negative input is
// connected to the AIN1 pin
ACSR=(1<<ACD) | (0<<ACBG) | (0<<ACO) | (0<<ACI) | (0<<ACIE) |
(0<<ACIC) | (0<<ACIS1) | (0<<ACIS0);

// ADC initialization
// ADC Clock frequency: 250,000 kHz
// ADC Voltage Reference: AVCC pin
ADMUX=ADC_VREF_TYPE;
ADCSRA=(1<<ADEN) | (0<<ADSC) | (0<<ADFR) | (0<<ADIF) | (0<<ADIE)
| (1<<ADPS2) | (1<<ADPS1) | (0<<ADPS0);
SFIOR=(0<<ACME);

// SPI initialization
// SPI disabled
SPCR=(0<<SPIE) | (0<<SPE) | (0<<DORD) | (0<<MSTR) | (0<<CPOL) |
(0<<CPHA) | (0<<SPR1) | (0<<SPR0);

// TWI initialization
// TWI disabled
TWCR=(0<<TWEA) | (0<<TWSTA) | (0<<TWSTO) | (0<<TWEN) |
(0<<TWIE);

// Alphanumeric LCD initialization
// Connections are specified in the
// Project|Configure|C Compiler|Libraries|Alphanumeric LCD menu:
// RS - PORTD Bit 0
// RD - PORTD Bit 1
// EN - PORTD Bit 2
// D4 - PORTD Bit 4
// D5 - PORTD Bit 5
// D6 - PORTD Bit 6
// D7 - PORTD Bit 7
// Characters/line: 24
lcd_init(16);

```

```
show0();  
SPWM();  
#asm("sei") // Global enable interrupts  
  
while (1)  
{  
    // Place your code here  
    adc=read_adc(0);  
    ICR1=8000-adc*6.84262;  
    show1();  
}
```



Lampiran 3

Modul Praktikum *Inverter* Satu Fasa Laboratorium Elektronika Daya

PERCOBAAN INVERTER SATU FASA

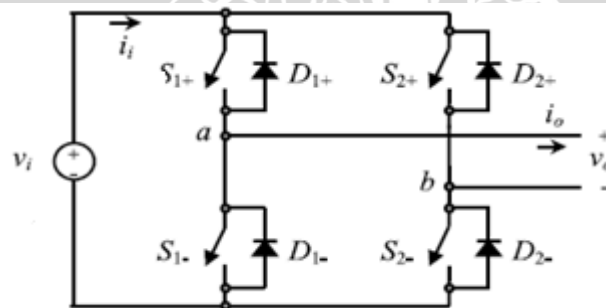
1.1. Tujuan

1. Mempelajari metode pembangkitan sinyal *unipolar* SPWM
2. Mempelajari cara kerja rangkaian inverter satu fasa.
3. Mempelajari bentuk gelombang arus dan tegangan hasil keluaran inverter
4. Mempelajari pengaruh perubahan indeks modulasi amplitudo terhadap besar tegangan output dan THD yang dihasilkan.
5. Memahami pengaruh perubahan frekuensi dan tegangan output terhadap kecepatan motor.

1.2. Dasar Teori

Konversi daya dari DC ke AC disebut dengan *inverter*. Fungsi dari inverter adalah untuk merubah masukan DC menjadi tegangan AC. Frekuensi ataupun besar tegangan keluaran dari *inverter* bisa tetap atau berubah-ubah.

Inverter satu fasa bisa dibuat dengan rangkaian *half bridge* dan *full bridge*. Untuk rangkaian inverter *full bridge* dalam percobaan ini menggunakan komponen elektronika daya sebagai *switching device* yaitu MOSFET.



Gambar 1.1 Rangkaian *full bridge inverter*

Berdasarkan konfigurasinya, inverter satu fasa dibedakan menjadi dua yaitu inverter setengah jembatan dan inverter jembatan penuh. Pada percobaan digunakan inverter jembatan penuh.

Pada Gambar 1.1, ketika MOSFET S1+ dan S2- konduksi bersamaan, maka tegangan Vi akan mengalir ke beban. Sedangkan ketika S1- dan S2 konduksi bersamaan,

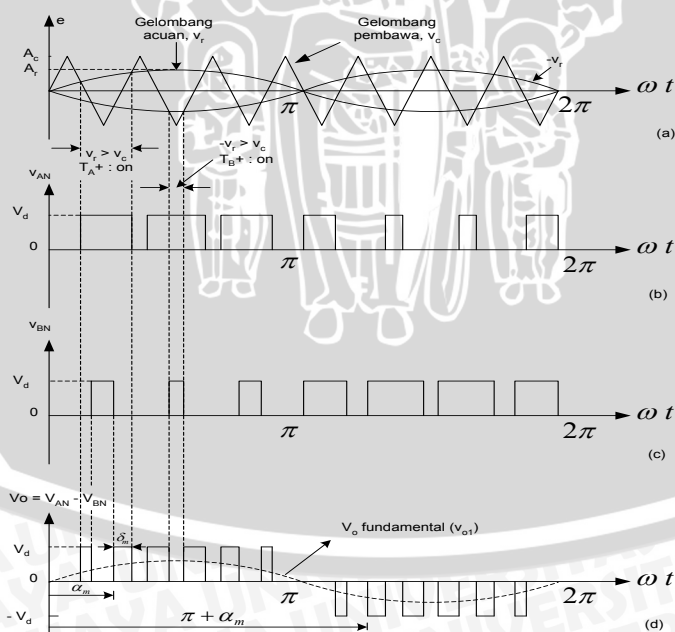
maka tegangan yang mengalir ke beban adalah $-V_i$. Kondisi pensaklaran dari rangkaian yang ditunjukkan oleh Gambar 1.1 diberikan oleh Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Kondisi pensaklaran *full bridge inverter*

State	State #	v_{aN}	v_{bN}	v_o	Components conducting
S_{1+} and S_{2-} are on and S_{1-} and S_{2+} are off	1	$v_i/2$	$-v_i/2$	v_i	S_{1+} and S_{2-} if $i_o > 0$ D_{1+} and D_{2-} if $i_o < 0$
S_{1-} and S_{2+} are on and S_{1+} and S_{2-} are off	2	$-v_i/2$	$v_i/2$	$-v_i$	D_{1-} and D_{2+} if $i_o > 0$ S_{1-} and S_{2+} if $i_o < 0$
S_{1+} and S_{2+} are on and S_{1-} and S_{2-} are off	3	$v_i/2$	$v_i/2$	0	S_{1+} and D_{2+} if $i_o > 0$ D_{1+} and S_{2+} if $i_o < 0$
S_{1-} and S_{2-} are on and S_{1+} and S_{2+} are off	4	$-v_i/2$	$-v_i/2$	0	D_{1-} and S_{2-} if $i_o > 0$ S_{1-} and D_{2-} if $i_o < 0$
S_{1-} , S_{2-} , S_{1+} , and S_{2+} are all off	5	$-v_i/2$ $v_i/2$	$v_i/2$ $-v_i/2$	v_i $-v_i$	D_{1-} and D_{2+} if $i_o > 0$ D_{1+} and D_{2-} if $i_o < 0$

Sumber: Rashid (2011)

Pada percobaan ini metode yang dilakukan adalah Modulasi lebar pulsa sinusoida (SPWM). Untuk metode SPWM ini, sakelar dari Gambar 1.1, bagian S_1 dan S_2 dikontrol secara terpisah. Tegangan keluaran dari *switching* yaitu V_i , $-V_i$ dan 0. Untuk menghasilkan keadaan ini, teknik dasarnya dapat dilihat pada Gambar 1.2, dimana 2 sinusoida sebagai sinyal pemodulasi (v_c dan $-v_c$). Sinyal v_c digunakan untuk menghasilkan v_{aN} dan $-v_c$ digunakan untuk menghasilkan v_{bN} ,



Gambar 1.2 (a) Proses perbandingan antara sinyal pembawa dengan sinyal referensi,

(b) Sinyal penggerak v_{aN} , (c) Sinyal penggerak v_{bN} , (d) Sinyal SPWM

Sumber: Rashid, Power Electronic Handbook

Frekuensi dari sinyal pemodulasi menentukan frekuensi keluaran inverter. Sedangkan frekuensi sinyal pembawa akan menentukan besarnya frekuensi *switching*. M_f adalah perbandingan antara sinyal pemodulasi dengan sinyal carier. Maka nilai M_f diberikan oleh persamaan 1.1

$$M_f = \frac{f_s}{f_1} \quad (1.1)$$

Sedangkan untuk rasio amplitudo sinyal pemodulasi dan sinyal *carrier* (M_a) diberikan oleh persamaan 1.2

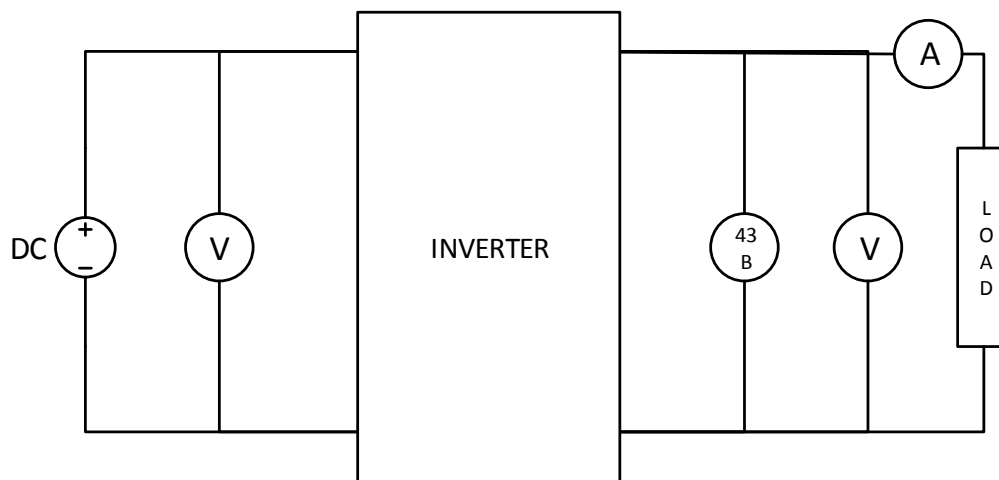
$$M_a = \frac{V_{control}}{V_{carrier}} \quad (1.2)$$

Tegangan keluaran inverter satu fasa dipengaruhi oleh nilai M_a . hal ini mengakibatkan nilai perubahan tegangan keluaran inverter akan linier dan tidak linear seperti diberikan oleh persamaan 1.3.

$$V_o = M_a * V_{dc} \quad \text{untuk } M_a \leq 1 \quad (1.3)$$

$$V_{dc} < V_o < \frac{4}{\pi} V_{dc} \quad \text{untuk } M_a > 1 \quad (1.4)$$

1.3. Diagram rangkaian



Gambar 1.3. Diagram Rangkaian untuk percobaan

1.4. Peralatan yang digunakan

Tabel 1.2 Peralatan yang digunakan dalam praktikum.

No.	Nama alat	Jumlah
1.	Fuse	3
2.	DC Power Supply 0-240V	1
3.	DC Power Supply,+/- 15 V	1
4.	Beban Tahanan	3
5.	Pembangkit sinyal <i>switching</i>	1
6.	RMS Meter	2
7.	fluke	1
8.	Tahanan shunt	1
9.	Isolation Amplifier	1
10.	Probe	Sesuai kebutuhan
11.	Bridging Plug	Sesuai kebutuhan
12.	Osiloskop	1

1.5. Prosedur Percobaan

1. Rangkailah peralatan sesuai dengan Gambar 1.3.
2. Tunjukkan pada asisten apakah peralatan yang telah dirangkai sudah benar.
3. Bila sudah benar, maka percobaan sudah bisa dilaksanakan.
4. Hubungkan rangkaian dengan beban Resistif $R=300 \Omega$.
5. Tekan tombol ON pada DC power supply 0-240V dan DC power supply 0-15V
6. Tekan tombol ON pada input *inverter*
7. Ukurlah besar tegangan keluaran untuk berbagai nilai *set point*, lalu masukan data tersebut pada Tabel 1.2 pada data percobaan.
8. Tampilkan pada layar osiloskop untuk tegangan keluraan inverter. Amati besar frekuensi *switching* dan frekuensi output. Catatlah nilai tegangan dan time/div dan faktor pengali yang ada pada isolation amplifier.
9. Lepas beban resistif kemudian ganti dengan motor kapasitor
10. Atur setpoint dan catatlah kecepatan motor pada Tabel 1.3

I.6. Data Hasil Percobaan.

Tabel 1.3 Data hasil pengukuran dengan beban Resistif

Frekuensi (Hz)	Ma	Vout Praktek (V)	Vout Teori (V)	THD (%)
10				
15				
20				
25				
30				
35				
40				
45				
50				
55				
60				
65				
70				
75				
80				

$$V_{in} = \quad V$$

$$M_f =$$

$$R = \quad \Omega$$

Tabel 1.4 Data hasil pengukuran dengan motor tanpa beban

Frekuensi (Hz)	V/f	Speed (rpm)
10		
15		
20		
25		
30		
35		
40		
45		
50		
55		
60		
65		
70		
75		
80		

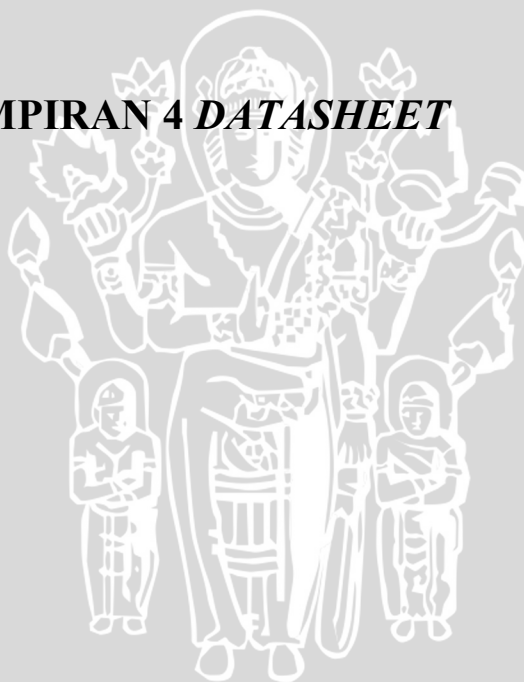
1.7. Analisis Data dan Pembahasan

1. Jelaskan dan sertai dengan grafik perbandingan nilai tegangan keluaran *inverter* secara teori dan praktek!
2. Jelaskan dan sertai dengan grafik hubungan indeks modulasi amplitudo dengan nilai THD yang dihasilkan!
3. Jelaskan pengaruh perubahan frekuensi dan tegangan terhadap kecepatan motor!
4. Tampilkan bentuk sinyal tegangan keluaran *inverter* dan tentukan nilai M_f , frekuensi switching, frekuensi output!

1.8 Kesimpulan

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LAMPIRAN 4 *DATASHEET*



Lampiran 4.1 Datasheet ATmega8

Features

- High-performance, Low-power Atmel®AVR® 8-bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
 - 130 Powerful Instructions – Most Single-clock Cycle Execution
 - 32 × 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 16MIPS Throughput at 16MHz
 - On-chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory segments
 - 8Kbytes of In-System Self-programmable Flash program memory
 - 512Bytes EEPROM
 - 1Kbyte Internal SRAM
 - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
 - Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C⁽¹⁾
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
 - In-System Programming by On-chip Boot Program
 - True Read-While-Write Operation
 - Programming Lock for Software Security
- Peripheral Features
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler, one Compare Mode
 - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Three PWM Channels
 - 8-channel ADC in TQFP and QFN/MLF package
 - Eight Channels 10-bit Accuracy
 - 6-channel ADC in PDIP package
 - Six Channels 10-bit Accuracy
 - Byte-oriented Two-wire Serial Interface
 - Programmable Serial USART
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
- Special Microcontroller Features
 - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated RC Oscillator
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Five Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, and Standby
- I/O and Packages
 - 23 Programmable I/O Lines
 - 28-lead PDIP, 32-lead TQFP, and 32-pad QFN/MLF
- Operating Voltages
 - 2.7V - 5.5V (ATmega8L)
 - 4.5V - 5.5V (ATmega8)
- Speed Grades
 - 0 - 8MHz (ATmega8L)
 - 0 - 16MHz (ATmega8)
- Power Consumption at 4Mhz, 3V, 25°C
 - Active: 3.6mA
 - Idle Mode: 1.0mA
 - Power-down Mode: 0.5µA



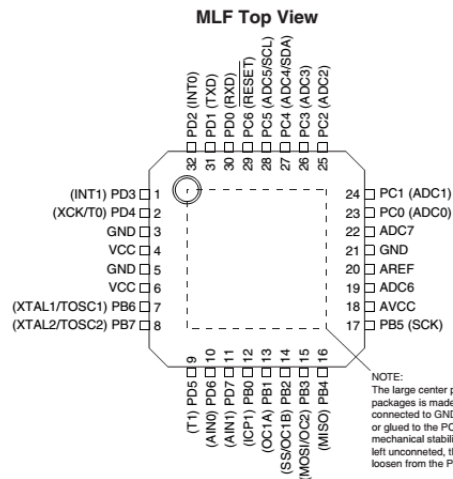
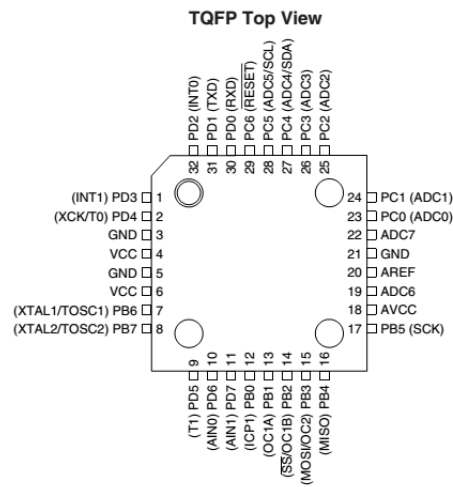
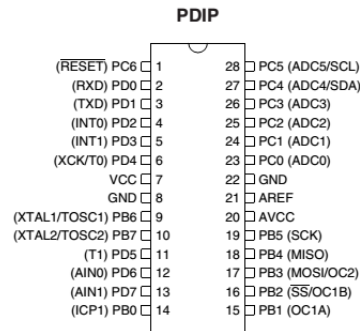
**8-bit Atmel with
8KBytes In-
System
Programmable
Flash**

**ATmega8
ATmega8L**

Rev.2486AA-AVR-02/2013



Pin Configurations



ATmega8(L)

Electrical Characteristics – TA = -40°C to 85°C

Note: Typical values contained in this datasheet are based on simulations and characterization of other AVR microcontrollers manufactured on the same process technology. Min and Max values will be available after the device is characterized.

Absolute Maximum Ratings*

Operating Temperature.....	-55°C to +125°C
Storage Temperature.....	-65°C to +150°C
Voltage on any Pin except $\overline{\text{RESET}}$ with respect to Ground.....	-0.5V to $V_{CC}+0.5V$
Voltage on $\overline{\text{RESET}}$ with respect to Ground.....	-0.5V to +13.0V
Maximum Operating Voltage.....	6.0V
DC Current per I/O Pin.....	40.0mA
DC Current V_{CC} and GND Pins.....	300.0mA

*NOTICE: Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or other conditions beyond those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

DC Characteristics

TA = -40°C to +85°C, VCC = 2.7V to 5.5V (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Condition	Min	Typ	Max	Units
V _{IL}	Input Low Voltage except XTAL1 and RESET pins	V _{CC} = 2.7V - 5.5V	-0.5		0.2 V _{CC} ⁽¹⁾	V
V _{IH}	Input High Voltage except XTAL1 and RESET pins	V _{CC} = 2.7V - 5.5V	0.6V _{CC} ⁽²⁾		V _{CC} + 0.5	
V _{IL1}	Input Low Voltage XTAL1 pin	V _{CC} = 2.7V - 5.5V	-0.5		0.1V _{CC} ⁽¹⁾	
V _{IH1}	Input High Voltage XTAL 1 pin	V _{CC} = 2.7V - 5.5V	0.8V _{CC} ⁽²⁾		V _{CC} + 0.5	
V _{IL2}	Input Low Voltage $\overline{\text{RESET}}$ pin	V _{CC} = 2.7V - 5.5V	-0.5		0.2 V _{CC}	
V _{IH2}	Input High Voltage $\overline{\text{RESET}}$ pin	V _{CC} = 2.7V - 5.5V	0.9V _{CC} ⁽²⁾		V _{CC} + 0.5	
V _{IL3}	Input Low Voltage $\overline{\text{RESET}}$ pin as I/O	V _{CC} = 2.7V - 5.5V	-0.5		0.2V _{CC}	
V _{IH3}	Input High Voltage $\overline{\text{RESET}}$ pin as I/O	V _{CC} = 2.7V - 5.5V	0.6V _{CC} ⁽²⁾ 0.7V _{CC} ⁽²⁾		V _{CC} + 0.5	
V _{OL}	Output Low Voltage ⁽³⁾ (Ports B,C,D)	I _{OL} = 20mA, V _{CC} = 5V I _{OL} = 10mA, V _{CC} = 3V			0.9 0.6	
V _{OH}	Output High Voltage ⁽⁴⁾ (Ports B,C,D)	I _{OH} = -20mA, V _{CC} = 5V I _{OH} = -10mA, V _{CC} = 3V	4.2 2.2			
I _{IL}	Input Leakage Current I/O Pin	V _{CC} = 5.5V, pin low (absolute value)			1	μA
I _{IH}	Input Leakage Current I/O Pin	V _{CC} = 5.5V, pin high (absolute value)			1	
R _{RST}	Reset Pull-up Resistor		30		80	kΩ

$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to $+85^{\circ}\text{C}$, $V_{CC} = 2.7\text{V}$ to 5.5V (unless otherwise noted) (Continued)

Symbol	Parameter	Condition	Min	Typ	Max	Units
R_{pu}	I/O Pin Pull-up Resistor		20		50	$k\Omega$
I_{CC}	Power Supply Current	Active 4MHz, $V_{CC} = 3\text{V}$ (ATmega8L)		3	5	mA
		Active 8MHz, $V_{CC} = 5\text{V}$ (ATmega8)		11	15	
		Idle 4MHz, $V_{CC} = 3\text{V}$ (ATmega8L)		1	2	
		Idle 8MHz, $V_{CC} = 5\text{V}$ (ATmega8)		4.5	7	
	Power-down mode ⁽⁵⁾	WDT enabled, $V_{CC} = 3\text{V}$		< 22	28	μA
WDT disabled, $V_{CC} = 3\text{V}$		< 1	3			
V_{ACIO}	Analog Comparator Input Offset Voltage	$V_{CC} = 5\text{V}$ $V_{in} = V_{CC}/2$			40	mV
I_{ACLK}	Analog Comparator Input Leakage Current	$V_{CC} = 5\text{V}$ $V_{in} = V_{CC}/2$	-50		50	nA
t_{ACPD}	Analog Comparator Propagation Delay	$V_{CC} = 2.7\text{V}$ $V_{CC} = 5.0\text{V}$		750 500		ns

- Notes:
1. "Max" means the highest value where the pin is guaranteed to be read as low
 2. "Min" means the lowest value where the pin is guaranteed to be read as high
 3. Although each I/O port can sink more than the test conditions (20mA at $V_{CC} = 5\text{V}$, 10mA at $V_{CC} = 3\text{V}$) under steady state conditions (non-transient), the following must be observed:
PDIP, TQFP, and QFN/MLF Package:
1] The sum of all IOL, for all ports, should not exceed 300mA.
2] The sum of all IOL, for ports C0 - C5 should not exceed 100mA.
3] The sum of all IOL, for ports B0 - B7, C6, D0 - D7 and XTAL2, should not exceed 200mA.
If IOL exceeds the test condition, VOL may exceed the related specification. Pins are not guaranteed to sink current greater than the listed test condition
 4. Although each I/O port can source more than the test conditions (20mA at $V_{CC} = 5\text{V}$, 10mA at $V_{CC} = 3\text{V}$) under steady state conditions (non-transient), the following must be observed:
PDIP, TQFP, and QFN/MLF Package:
1] The sum of all IOH, for all ports, should not exceed 300mA.
2] The sum of all IOH, for port C0 - C5, should not exceed 100mA.
3] The sum of all IOH, for ports B0 - B7, C6, D0 - D7 and XTAL2, should not exceed 200mA.
If IOH exceeds the test condition, VOH may exceed the related specification. Pins are not guaranteed to source current greater than the listed test condition
 5. Minimum V_{CC} for Power-down is 2.5V

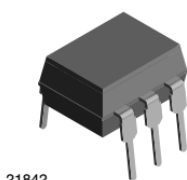
Lampiran 4.2 Datasheet Optocoupler 4N25

4N25, 4N26, 4N27, 4N28

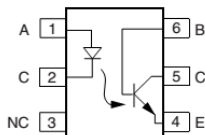
Vishay Semiconductors



Optocoupler, Phototransistor Output, with Base Connection



21842



1179004-6

FEATURES

- Isolation test voltage 5000 V_{RMS}
- Interfaces with common logic families
- Input-output coupling capacitance < 0.5 pF
- Industry standard dual-in-line 6 pin package
- Compliant to RoHS directive 2002/95/EC and in accordance to WEEE 2002/96/EC



RoHS
COMPLIANT

APPLICATIONS

- AC mains detection
- Reed relay driving
- Switch mode power supply feedback
- Telephone ring detection
- Logic ground isolation
- Logic coupling with high frequency noise rejection

AGENCY APPROVALS

- UL1577, file no. E52744
- BSI: EN 60065:2002, EN 60950:2000
- FIMKO: EN 60950, EN 60065, EN 60335

ORDER INFORMATION

PART	REMARKS
4N25	CTR > 20 %, DIP-6
4N26	CTR > 20 %, DIP-6
4N27	CTR > 10 %, DIP-6
4N28	CTR > 10 %, DIP-6

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (1)

PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
INPUT				
Reverse voltage		V _R	5	V
Forward current		I _F	60	mA
Surge current	t ≤ 10 μs	I _{FSM}	3	A
Power dissipation		P _{diss}	100	mW
OUTPUT				
Collector emitter breakdown voltage		V _{CEO}	70	V
Emitter base breakdown voltage		V _{EBO}	7	V
Collector current		I _C	50	mA
	t ≤ 1 ms	I _C	100	mA
Power dissipation		P _{diss}	150	mW



4N25, 4N26, 4N27, 4N28

Optocoupler, Phototransistor Output, Vishay Semiconductors
with Base Connection

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ⁽¹⁾				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
COUPLER				
Isolation test voltage		V_{ISO}	5000	V_{RMS}
Creepage distance			≥ 7	mm
Clearance distance			≥ 7	mm
Isolation thickness between emitter and detector			≥ 0.4	mm
Comparative tracking index	DIN IEC 112/VDE 0303, part 1		175	
Isolation resistance	$V_{IO} = 500\text{ V}, T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$	R_{IO}	10^{12}	Ω
	$V_{IO} = 500\text{ V}, T_{amb} = 100\text{ }^\circ\text{C}$	R_{IO}	10^{11}	Ω
Storage temperature		T_{stg}	- 55 to + 125	$^\circ\text{C}$
Operating temperature		T_{amb}	- 55 to + 100	$^\circ\text{C}$
Junction temperature		T_j	125	$^\circ\text{C}$
Soldering temperature ⁽²⁾	max.10 s dip soldering: distance to seating plane $\geq 1.5\text{ mm}$	T_{sld}	260	$^\circ\text{C}$

Notes

(1) $T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise specified.

Stresses in excess of the absolute maximum ratings can cause permanent damage to the device. Functional operation of the device is not implied at these or any other conditions in excess of those given in the operational sections of this document. Exposure to absolute maximum ratings for extended periods of the time can adversely affect reliability.

(2) Refer to reflow profile for soldering conditions for surface mounted devices (SMD). Refer to wave profile for soldering conditions for through hole devices (DIP).

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ⁽¹⁾							
PARAMETER	TEST CONDITION	PART	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
INPUT							
Forward voltage ⁽²⁾	$I_F = 50\text{ mA}$		V_F		1.3	1.5	V
Reverse current ⁽²⁾	$V_R = 3\text{ V}$		I_R		0.1	100	μA
Capacitance	$V_R = 0\text{ V}$		C_O		25		pF
OUTPUT							
Collector base breakdown voltage ⁽²⁾	$I_C = 100\text{ }\mu\text{A}$		BV_{CBO}	70			V
Collector emitter breakdown voltage ⁽²⁾	$I_C = 1\text{ mA}$		BV_{CEO}	30			V
Emitter collector breakdown voltage ⁽²⁾	$I_E = 100\text{ }\mu\text{A}$		BV_{ECO}	7			V
$I_{CEO}(\text{dark})$ ⁽²⁾	$V_{CE} = 10\text{ V}, (\text{base open})$	4N25			5	50	nA
		4N26			5	50	nA
		4N27			5	50	nA
		4N28			10	100	nA
$I_{CBO}(\text{dark})$ ⁽²⁾	$V_{CB} = 10\text{ V}, (\text{emitter open})$				2	20	nA
Collector emitter capacitance	$V_{CE} = 0$		C_{CE}		6		pF
COUPLER							
Isolation test voltage ⁽²⁾	Peak, 60 Hz		V_{IO}	5000			V
Saturation voltage, collector emitter	$I_{CE} = 2\text{ mA}, I_F = 50\text{ mA}$		$V_{CE(\text{sat})}$			0.5	V
Resistance, input output ⁽²⁾	$V_{IO} = 500\text{ V}$		R_{IO}	100			$\text{G}\Omega$
Capacitance, input output	$f = 1\text{ MHz}$		C_{IO}		0.6		pF

Notes

(1) $T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise specified.

Minimum and maximum values are testing requirements. Typical values are characteristics of the device and are the result of engineering evaluation. Typical values are for information only and are not part of the testing requirements.

(2) JEDEC registered values are 2500 V, 1500 V, 1500 V, and 500 V for the 4N25, 4N26, 4N27, and 4N28 respectively.

4N25, 4N26, 4N27, 4N28



Vishay Semiconductors Optocoupler, Phototransistor Output, with Base Connection

CURRENT TRANSFER RATIO (1)							
PARAMETER	TEST CONDITION	PART	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
DC current transfer ratio	$V_{CE} = 10\text{ V}, I_F = 10\text{ mA}$	4N25	CTR_{DC}	20	50		%
		4N26	CTR_{DC}	20	50		%
		4N27	CTR_{DC}	10	30		%
		4N28	CTR_{DC}	10	30		%

Note
(1) Indicates JEDEC registered values.

SWITCHING CHARACTERISTICS							
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT	
Rise and fall times	$V_{CE} = 10\text{ V}, I_F = 10\text{ mA}, R_L = 100\ \Omega$	t_r, t_f		2		μs	

TYPICAL CHARACTERISTICS

$T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise specified

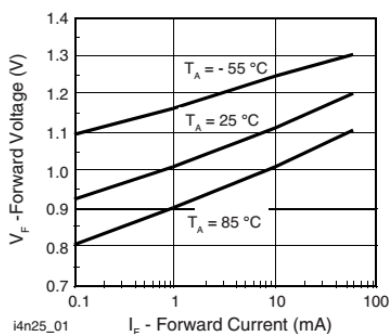


Fig. 1 - Forward Voltage vs. Forward Current

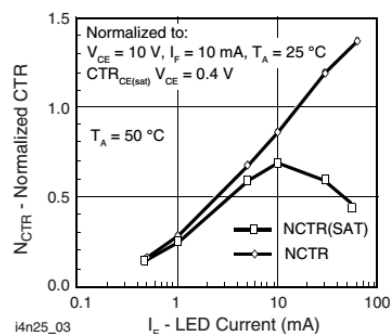


Fig. 3 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current

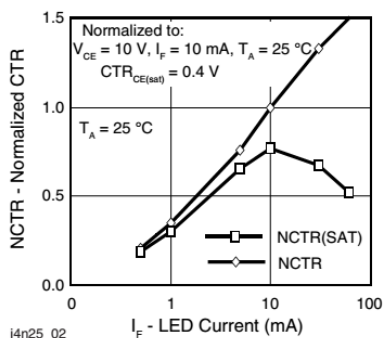


Fig. 2 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current

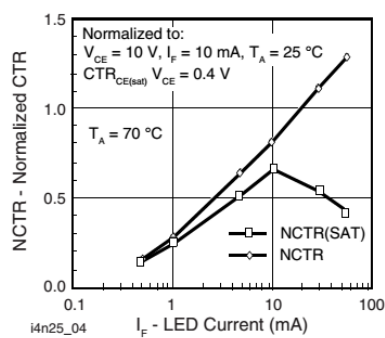


Fig. 4 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current



4N25, 4N26, 4N27, 4N28

Optocoupler, Phototransistor Output, Vishay Semiconductors with Base Connection

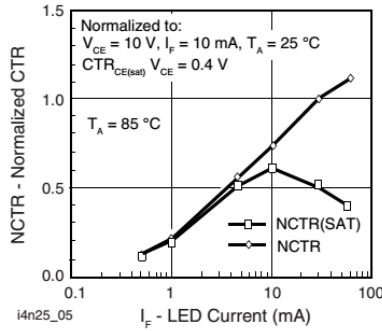


Fig. 5 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current

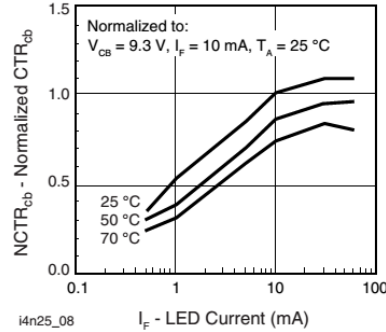


Fig. 8 - Normalized CTRcb vs. LED Current and Temperature

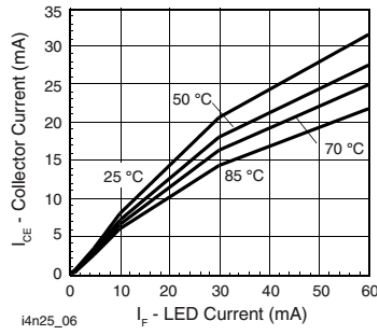


Fig. 6 - Collector Emitter Current vs. Temperature and LED Current

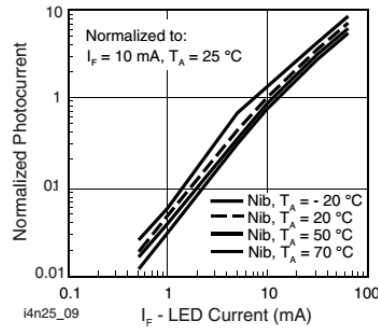


Fig. 9 - Normalized Photocurrent vs. I_F and Temperature

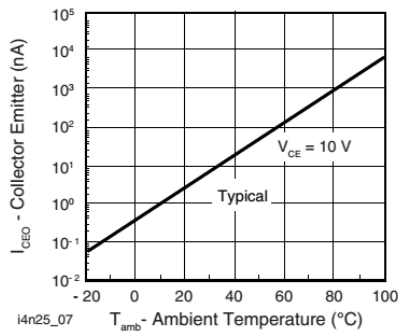


Fig. 7 - Collector Emitter Leakage Current vs. Temperature

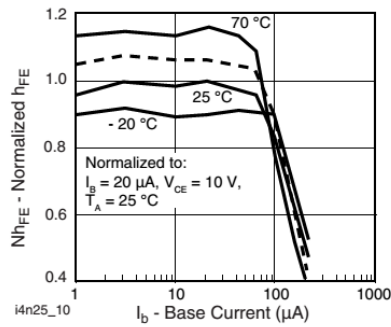


Fig. 10 - Normalized Non-Saturated h_{FE} vs. Base Current and Temperature

Lampiran 4.3 Datasheet IR2110

Data Sheet No. PD60147 rev.U

International IR Rectifier

IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

HIGH AND LOW SIDE DRIVER

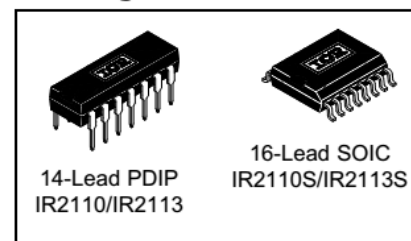
Features

- Floating channel designed for bootstrap operation
Fully operational to +500V or +600V
Tolerant to negative transient voltage
dV/dt immune
- Gate drive supply range from 10 to 20V
- Undervoltage lockout for both channels
- 3.3V logic compatible
Separate logic supply range from 3.3V to 20V
Logic and power ground $\pm 5V$ offset
- CMOS Schmitt-triggered inputs with pull-down
- Cycle by cycle edge-triggered shutdown logic
- Matched propagation delay for both channels
- Outputs in phase with inputs

Product Summary

V_{OFFSET} (IR2110)	500V max.
(IR2113)	600V max.
$I_{\text{O+/-}}$	2A / 2A
V_{OUT}	10 - 20V
$t_{\text{on/off}}$ (typ.)	120 & 94 ns
Delay Matching (IR2110)	10 ns max.
(IR2113)	20ns max.

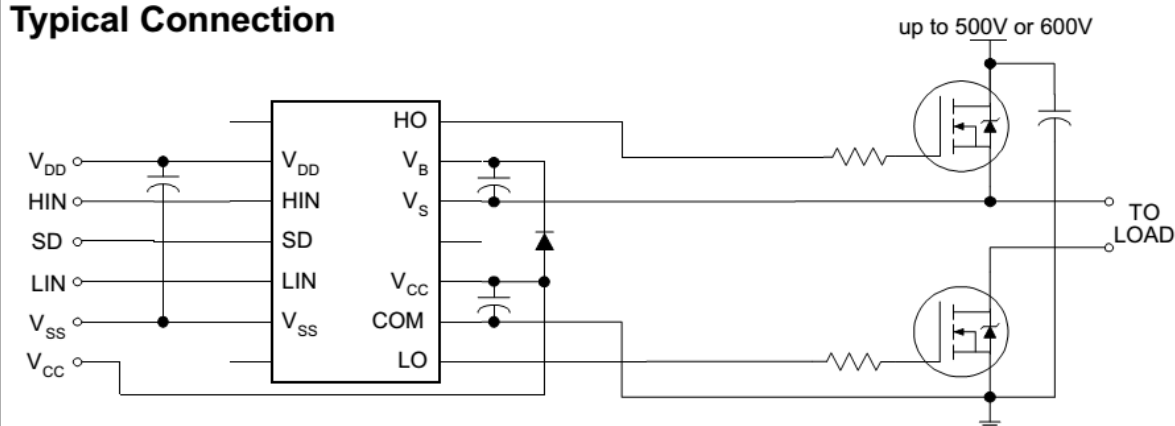
Packages



Description

The IR2110/IR2113 are high voltage, high speed power MOSFET and IGBT drivers with independent high and low side referenced output channels. Proprietary HVIC and latch immune CMOS technologies enable ruggedized monolithic construction. Logic inputs are compatible with standard CMOS or LSTTL output, down to 3.3V logic. The output drivers feature a high pulse current buffer stage designed for minimum driver cross-conduction. Propagation delays are matched to simplify use in high frequency applications. The floating channel can be used to drive an N-channel power MOSFET or IGBT in the high side configuration which operates up to 500 or 600 volts.

Typical Connection



(Refer to Lead Assignments for correct pin configuration). This/These diagram(s) show electrical connections only. Please refer to our Application Notes and DesignTips for proper circuit board layout.

IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

International
IR Rectifier

Absolute Maximum Ratings

Absolute maximum ratings indicate sustained limits beyond which damage to the device may occur. All voltage parameters are absolute voltages referenced to COM. The thermal resistance and power dissipation ratings are measured under board mounted and still air conditions. Additional information is shown in Figures 28 through 35.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units	
V _B	High side floating supply voltage (IR2110)	-0.3	525	V	
	(IR2113)	-0.3	625		
V _S	High side floating supply offset voltage	V _B - 25	V _B + 0.3		
V _{HO}	High side floating output voltage	V _S - 0.3	V _B + 0.3		
V _{CC}	Low side fixed supply voltage	-0.3	25		
V _{LO}	Low side output voltage	-0.3	V _{CC} + 0.3		
V _{DD}	Logic supply voltage	-0.3	V _{SS} + 25		
V _{SS}	Logic supply offset voltage	V _{CC} - 25	V _{CC} + 0.3		
V _{IN}	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	V _{SS} - 0.3	V _{DD} + 0.3		
dV _S /dt	Allowable offset supply voltage transient (figure 2)	—	50		V/ns
P _D	Package power dissipation @ T _A ≤ +25°C	(14 lead DIP)	—	1.6	W
		(16 lead SOIC)	—	1.25	
R _{THJA}	Thermal resistance, junction to ambient	(14 lead DIP)	—	75	°C/W
		(16 lead SOIC)	—	100	
T _J	Junction temperature	—	150	°C	
T _S	Storage temperature	-55	150		
T _L	Lead temperature (soldering, 10 seconds)	—	300		

Recommended Operating Conditions

The input/output logic timing diagram is shown in figure 1. For proper operation the device should be used within the recommended conditions. The V_S and V_{SS} offset ratings are tested with all supplies biased at 15V differential. Typical ratings at other bias conditions are shown in figures 36 and 37.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units
V _B	High side floating supply absolute voltage	V _S + 10	V _S + 20	V
V _S	High side floating supply offset voltage (IR2110)	Note 1	500	
	(IR2113)	Note 1	600	
V _{HO}	High side floating output voltage	V _S	V _B	
V _{CC}	Low side fixed supply voltage	10	20	
V _{LO}	Low side output voltage	0	V _{CC}	
V _{DD}	Logic supply voltage	V _{SS} + 3	V _{SS} + 20	
V _{SS}	Logic supply offset voltage	-5 (Note 2)	5	
V _{IN}	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	V _{SS}	V _{DD}	
T _A	Ambient temperature	-40	125	

Note 1: Logic operational for V_S of -4 to +500V. Logic state held for V_S of -4V to -V_{BS}. (Please refer to the Design Tip DT97-3 for more details).

Note 2: When V_{DD} < 5V, the minimum V_{SS} offset is limited to -V_{DD}.

International
IR Rectifier

IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

Dynamic Electrical Characteristics

V_{BIAS} (V_{CC} , V_{BS} , V_{DD}) = 15V, C_L = 1000 pF, T_A = 25°C and V_{SS} = COM unless otherwise specified. The dynamic electrical characteristics are measured using the test circuit shown in Figure 3.

Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
t_{on}	Turn-on propagation delay	7	—	120	150	ns	$V_S = 0V$
t_{off}	Turn-off propagation delay	8	—	94	125		$V_S = 500V/600V$
t_{sd}	Shutdown propagation delay	9	—	110	140		$V_S = 500V/600V$
t_r	Turn-on rise time	10	—	25	35		
t_f	Turn-off fall time	11	—	17	25		
MT	Delay matching, HS & LS turn-on/off	(IR2110) (IR2113)	—	—	—		10 20

Static Electrical Characteristics

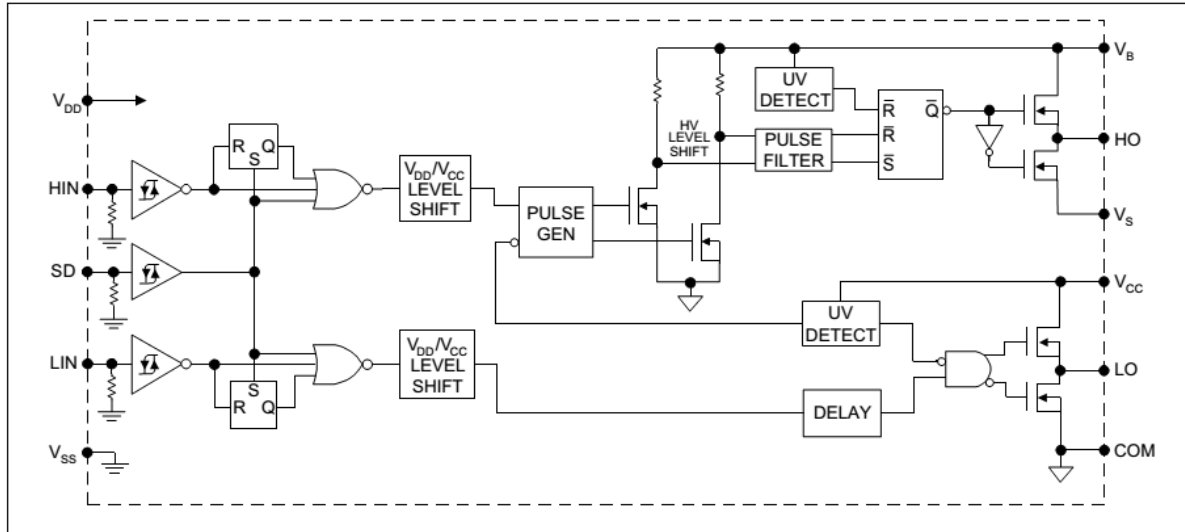
V_{BIAS} (V_{CC} , V_{BS} , V_{DD}) = 15V, T_A = 25°C and V_{SS} = COM unless otherwise specified. The V_{IN} , V_{TH} and I_{IN} parameters are referenced to V_{SS} and are applicable to all three logic input leads: HIN, LIN and SD. The V_O and I_O parameters are referenced to COM and are applicable to the respective output leads: HO or LO.

Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
V_{IH}	Logic "1" input voltage	12	9.5	—	—	V	
V_{IL}	Logic "0" input voltage	13	—	—	6.0		
V_{OH}	High level output voltage, $V_{BIAS} - V_O$	14	—	—	1.2		$I_O = 0A$
V_{OL}	Low level output voltage, V_O	15	—	—	0.1		$I_O = 0A$
I_{LK}	Offset supply leakage current	16	—	—	50	μA	$V_B = V_S = 500V/600V$
I_{QBS}	Quiescent V_{BS} supply current	17	—	125	230		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{QCC}	Quiescent V_{CC} supply current	18	—	180	340		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{QDD}	Quiescent V_{DD} supply current	19	—	15	30		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{IN+}	Logic "1" input bias current	20	—	20	40		$V_{IN} = V_{DD}$
I_{IN-}	Logic "0" input bias current	21	—	—	1.0		$V_{IN} = 0V$
V_{BSUV+}	V_{BS} supply undervoltage positive going threshold	22	7.5	8.6	9.7	V	
V_{BSUV-}	V_{BS} supply undervoltage negative going threshold	23	7.0	8.2	9.4		
V_{CCUV+}	V_{CC} supply undervoltage positive going threshold	24	7.4	8.5	9.6		
V_{CCUV-}	V_{CC} supply undervoltage negative going threshold	25	7.0	8.2	9.4		
I_{O+}	Output high short circuit pulsed current	26	2.0	2.5	—	A	$V_O = 0V$, $V_{IN} = V_{DD}$ $PW \leq 10 \mu s$
I_{O-}	Output low short circuit pulsed current	27	2.0	2.5	—		$V_O = 15V$, $V_{IN} = 0V$ $PW \leq 10 \mu s$

IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

International
IR Rectifier

Functional Block Diagram



Lead Definitions

Symbol	Description
V _{DD}	Logic supply
HIN	Logic input for high side gate driver output (HO), in phase
SD	Logic input for shutdown
LIN	Logic input for low side gate driver output (LO), in phase
V _{SS}	Logic ground
V _B	High side floating supply
HO	High side gate drive output
V _S	High side floating supply return
V _{CC}	Low side supply
LO	Low side gate drive output
COM	Low side return

International
IGR Rectifier

IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

Lead Assignments

<p style="text-align: center;">14 Lead PDIP IR2110/IR2113</p>	<p style="text-align: center;">18 Lead SOIC (Wide Body) IR2110S/IR2113S</p>
<p style="text-align: center;">14 Lead PDIP w/o lead 4 IR2110-1/IR2113-1</p>	<p style="text-align: center;">14 Lead PDIP w/o leads 4 & 5 IR2110-2/IR2113-2</p>
<p>Part Number</p>	

IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

International
IR Rectifier

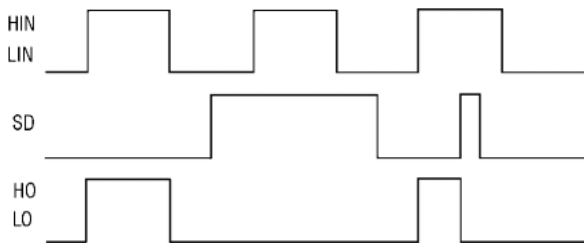


Figure 1. Input/Output Timing Diagram

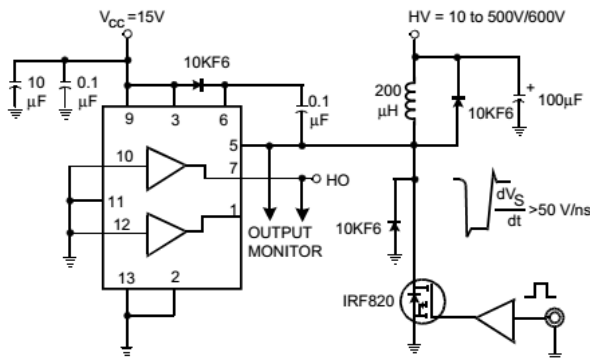


Figure 2. Floating Supply Voltage Transient Test Circuit

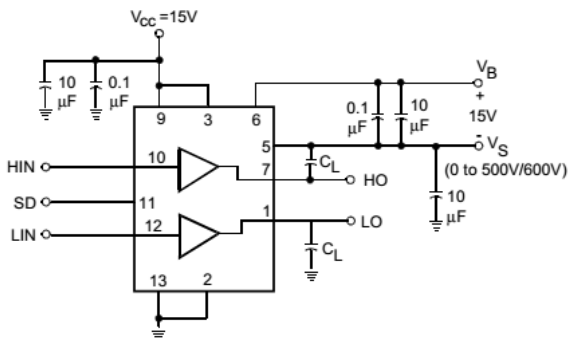


Figure 3. Switching Time Test Circuit

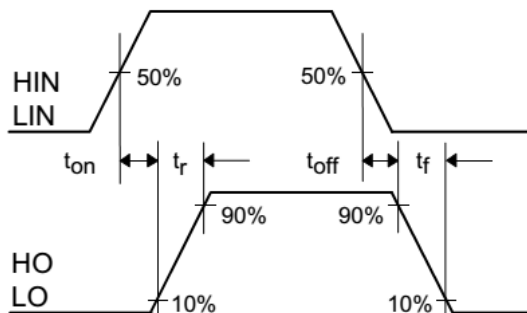


Figure 4. Switching Time Waveform Definition

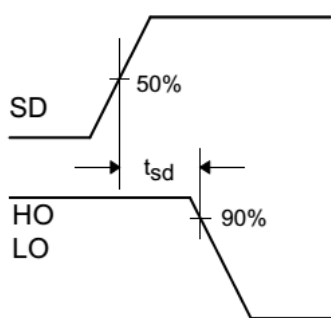


Figure 5. Shutdown Waveform Definitions

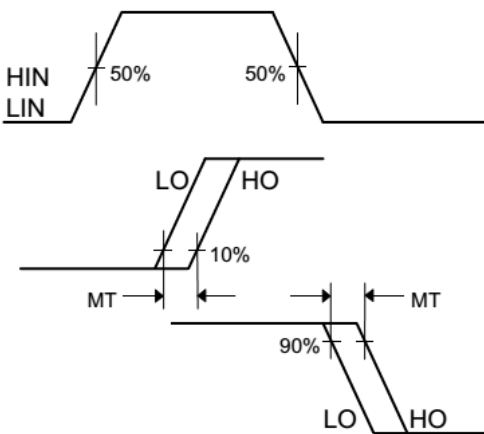


Figure 6. Delay Matching Waveform Definitions

Lampiran 4.4 Datasheet IRFP460



IRFP460

N-CHANNEL 500V - 0.22Ω - 18.4A TO-247

PowerMesh™ II MOSFET

TYPE	V _{DSS}	R _{DS(on)}	I _D
IRFP460	500V	< 0.27Ω	18.4A

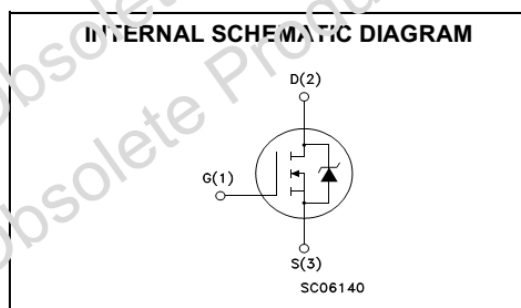
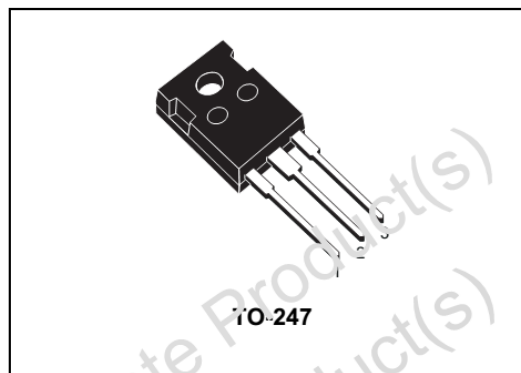
- TYPICAL R_{DS(on)} = 0.22Ω
- EXTREMELY HIGH dv/dt CAPABILITY
- 100% AVALANCHE TESTED
- NEW HIGH VOLTAGE BENCHMARK
- GATE CHARGE MINIMIZED

DESCRIPTION

The PowerMESH™ II is the evolution of the first generation of MESH OVERLAY™. The layout refinements introduced greatly improve the Ron*area figure of merit while keeping the device at the leading edge for what concerns switching speed, gate charge and ruggedness.

APPLICATIONS

- SWITCH MODE LOW POWER SUPPLIES (SMPS)
- HIGH CURRENT, HIGH SPEED SWITCHING
- DC-AC CONVERTERS FOR WELDING EQUIPMENT AND UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLIES AND MOTOR DRIVES



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V _{DS}	Drain-source Voltage (V _{GS} = 0)	500	V
V _{DGR}	Drain-gate Voltage (R _{GS} = 20 kΩ)	500	V
V _{GS}	Gate-source Voltage	±30	V
I _D	Drain Current (continuous) at T _C = 25°C	18.4	A
I _D	Drain Current (continuous) at T _C = 100°C	11.6	A
I _{DM} (●)	Drain Current (pulsed)	73.6	A
P _{TOT}	Total Dissipation at T _C = 25°C	220	W
	Derating Factor	1.75	W/°C
dv/dt(1)	Peak Diode Recovery voltage slope	3.5	V/ns
T _{stg}	Storage Temperature	-65 to 150	°C
T _j	Max. Operating Junction Temperature	150	°C

(*)Pulse width limited by safe operating area

(1)I_{SD} ≤ 18.4A, di/dt ≤ 100A/μs, V_{DD} ≤ V(BR)DSS, T_j ≤ T_{JMAX}.

May 2001

1/8

IRFP460**THERMAL DATA**

Rthj-case	Thermal Resistance Junction-case Max	0.57	°C/W
Rthj-amb	Thermal Resistance Junction-ambient Max	30	°C/W
Rthc-sink	Thermal Resistance Case-sink Typ	0.1	°C/W
T _l	Maximum Lead Temperature For Soldering Purpose	300	°C

AVALANCHE CHARACTERISTICS

Symbol	Parameter	Max Value	Unit
I _{AR}	Avalanche Current, Repetitive or Not-Repetitive (pulse width limited by T _j max)	20	A
E _{AS}	Single Pulse Avalanche Energy (starting T _j = 25 °C, I _D = I _{AR} , V _{DD} = 50 V)	960	mJ

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (TCASE = 25 °C UNLESS OTHERWISE SPECIFIED)
OFF

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V _{(BR)DSS}	Drain-source Breakdown Voltage	I _D = 250 μA, V _{GS} = 0	500			V
I _{DSS}	Zero Gate Voltage Drain Current (V _{GS} = 0)	V _{DS} = Max Rating V _{DS} = Max Rating, T _C = 125 °C			1 50	μA μA
I _{GSS}	Gate-body Leakage Current (V _{DS} = 0)	V _{GS} = ±30V			±100	nA

ON (1)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V _{GS(th)}	Gate Threshold Voltage	V _{DS} = V _{GS} , I _D = 250μA	2	3	4	V
R _{DS(on)}	Static Drain-source On Resistance	V _{GS} = 10V, I _D = 9 A		0.22	0.27	Ω
I _{D(on)}	On State Drain Current	V _{DS} > I _{D(on)} × R _{DS(on)} max, V _{GS} = 10V	18.4			A

DYNAMIC

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
g _{fs} (1)	Forward Transconductance	V _{DS} > I _{D(on)} × R _{DS(on)} max, I _D = 9A		18		S
C _{iss}	Input Capacitance	V _{DS} = 25V, f = 1 MHz, V _{GS} = 0		2980		pF
C _{oss}	Output Capacitance			410		pF
C _{rss}	Reverse Transfer Capacitance			58		pF

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (CONTINUED)

SWITCHING ON

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$t_{d(on)}$	Turn-on Delay Time	$V_{DD} = 250V, I_D = 10A$ $R_G = 4.7\Omega, V_{GS} = 10V$ (see test circuit, Figure 3)		29		ns
t_r	Rise Time			21		ns
Q_g	Total Gate Charge	$V_{DD} = 400V, I_D = 20A,$ $V_{GS} = 10V$		95	128	nC
Q_{gs}	Gate-Source Charge			14.7		nC
Q_{gd}	Gate-Drain Charge			41.7		nC

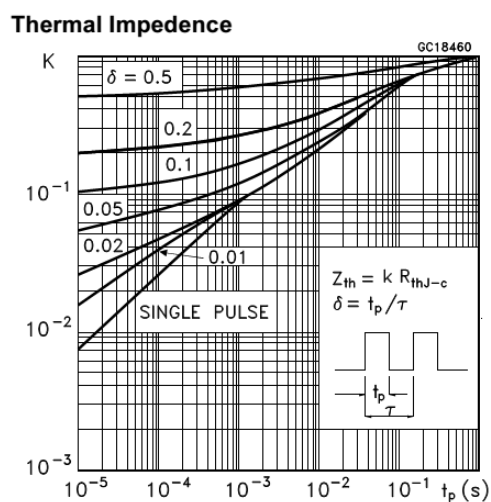
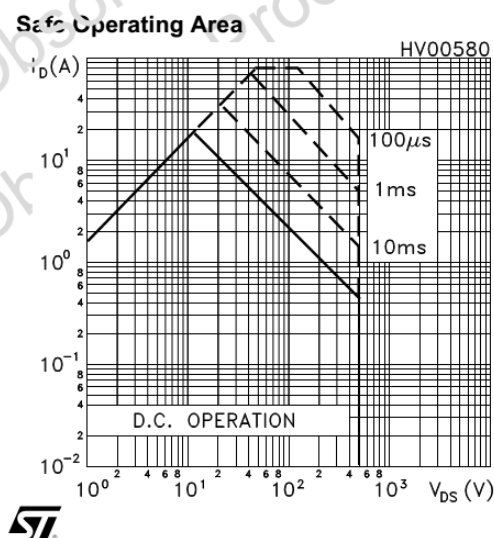
SWITCHING OFF

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$t_{r(Voff)}$	Off-voltage Rise Time	$V_{DD} = 400V, I_D = 20A,$ $R_G = 4.7\Omega, V_{GS} = 10V$ (see test circuit, Figure 5)		21		ns
t_f	Fall Time			21		ns
t_c	Cross-over Time			58		ns

SOURCE DRAIN DIODE

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
I_{SD}	Source-drain Current				18.4	A
$I_{SDM(2)}$	Source-drain Current (pulsed)				73.6	A
$V_{SD(1)}$	Forward On Voltage	$I_{SD} = 18.4A, V_{GS} = 0$			1.6	V
t_{rr}	Reverse Recovery Time	$I_{SD} = 20A, di/dt = 100A/\mu s,$ $V_{DD} = 100V, T_J = 150^\circ C$ (see test circuit, Figure 5)		480		ns
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge			5		μC
I_{RRM}	Reverse Recovery Current			21		A

Note: 1. Pulsed. Pulse duration = 300 μs , duty cycle 1.5 %.
2. Pulse width limited by safe operating area.





RIWAYAT HIDUP



Joko Purnomo, Banyuwangi, 16 Desember 1989 anak dari ayah Samsuri (Alm) dan ibu Siti Sa'ada, SD sampai SMA di kota Banyuwangi lulus SMA pada tahun 2008, lalu melanjutkan studi di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya pada tahun 2010 dan lulus pada tahun 2015. Minat yang diambil adalah Teknik Energi Elektrik. Pengalaman kerja sebagai asisten elektronika daya di Laboratorium Elektronika Daya Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya tahun 2012 hingga 2014.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



