



TUGAS AKHIR - TF 145565

RANCANG BANGUN DAN ANALISIS *INVERTER FULL BRIDGE* 1 FASA DENGAN BERBAGAI VARIASI *INPUT* MENGGUNAKAN SPWM (*SINUSOIDAL PULSE WIDTH MODULATION*)

Aqidatul Izzah
NRP 2414.031.049

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc
NIP. 19620822 198803 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK INSTRUMENTASI
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017



TUGAS AKHIR - TF 145565

**RANCANG BANGUN DAN ANALISIS *INVERTER
FULL BRIDGE* 1 FASA DENGAN BERBAGAI
VARIASI INPUT MENGGUNAKAN SPWM
(*SINUSOIDAL PULSE WIDTH MODULATION*)**

Aqidatul Izzah
NRP 2414.031.049

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc
NIP. 19620822 198803 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK INSTRUMENTASI
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017



FINAL PROJECT - TF 145565

***BUILDING DESIGN AND FULL BRIDGE 1 PHASE
INVERTER ANALYSIS WITH VARIOUS INPUT
VARIATIONS USING SPWM (SINUSOIDAL
PULSE WIDTH MODULATION)***

**Aqidatul Izzah
NRP 2414.031.049**

Advisor Lecturer
Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc
NIP. 19620822 198803 1 001

**DEPARTEMENT OF ENGINEERING INSTRUMENTATION
FACULTY OF VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**

RANCANG BANGUN DAN ANALISIS *INVERTER FULL BRIDGE* 1 FASA DENGAN BERBAGAI VARIASI INPUT MENGGUNAKAN SPWM (*SINUSOIDAL PULSE WIDTH MODULATION*)

TUGAS AKHIR

Oleh :

**Aqidatul Izzah
NRP. 2414 031 049**

**Surabaya, 28 Juli 2017
Mengetahui / Menyetujui**

**Kepala Departemen
Teknik Instrumentasi FV - ITS**

Dosen Pembimbing

A circular official stamp of Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) is centered on the page. The stamp contains the text: "KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI", "INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER", "FAKULTAS VOKASI", and "DEPARTEMEN INSTRUMENTASI". Two handwritten signatures in blue ink are written across the stamp. The signature on the left is for the Head of Department, and the signature on the right is for the Supervisor.

**Dr. Ir. Purwadi Agus D., M.Sc.
NIP. 19620822 198803 1 001**

**Dr. Ir. Purwadi Agus D., M.Sc.
NIP. 19620822 198803 1 001**

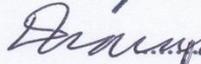
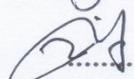
RANCANG BANGUN DAN ANALISIS INVERTER FULL BRIDGE 1 FASA DENGAN BERBAGAI VARIASI INPUT MENGGUNAKAN SPWM (SINUSOIDAL PULSE WIDTH MODULATION)

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
Pada
Program Studi DIII Teknik Instrumentasi
Departemen Teknik Instrumentasi
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
Aqidatul Izzah
NRP. 2414 031 049

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc.  (Dosen Pembimbing)
2. Ir. Tutug Dhanardono, MT.  (Ketua Tim Penguji)
3. Detak Yan Pratama, ST., M.Sc. (Dosen Penguji 1)
4. Murry Raditya, ST., MT.  (Dosen Penguji 2)

SURABAYA
28 Juli 2017

RANCANG BANGUN DAN ANALISIS *INVERTER FULL BRIDGE* 1 FASA DENGAN BERBAGAI VARIASI INPUT MENGGUNAKAN SPWM (*SINUSOIDAL PULSE WIDTH MODULATION*)

Nama Mahasiswa : Aqidatul Izzah
NRP : 2414 031 049
Program Studi : D3 Teknik Instrumentasi,
Jurusan : Teknik Instrumentasi FV - ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc.

Abstrak

Dalam tugas akhir ini dirancang suatu alat *converter* DC-AC yaitu berupa *inverter*. *Inverter* adalah sebuah *converter* yang merubah arus DC menjadi arus AC. *Inverter* yang akan dibuat adalah jenis *inverter* satu fasa dengan tegangan *output* lebih besar dari tegangan *input*. *Inverter* menggunakan teknik SPWM (*sinusoidal pulse width modulation*) sebagai proses *switching*. Tujuan perancangan ini adalah merancang sebuah *inverter full bridge* 1 fasa dengan berbagai variasi *input* serta mengatur *switching* mosfet *inverter* agar dihasilkan *output* gelombang sinusoidal. Metodologi pembuatan *inverter full bridge* 1 fasa adalah mengubah tegangan dari baterai atau *power supply* sebesar 10V-15V DC menjadi 10V-15V AC. Kemudian tegangan 10V-15V DC AC tersebut dinaikkan dengan menggunakan trafo *step up*. Dari hasil pengujian tegangan *inverter* dari 12V DC menggunakan trafo CT 12/220 VAC dengan efisiensi trafo yang digunakan yaitu 70%. Hasil dari hasil sinyal SPWM dengan masukkan *inverter* 12.5V DC tegangan yang dikeluarkan oleh *inverter* sebesar 108.20 tanpa beban, sebesar 85.55V AC dengan beban 5 Watt dan sebesar 82.11V AC dengan beban 10 Watt.

Kata kunci : *inverter*, *converter*, SPWM, *switching*, trafo *step up*

***BUILDING DESIGN AND INVERTER FULL BRIDGE 1
PHASE INVERTER ANALYSIS WITH VARIOUS INPUT
VARIATIONS USING SPWM (SINUSOIDAL PULSE WIDTH
MODULATION)***

Student Name : Aqidatul Izzah
NRP : 2414 031 049
Study Program : D3 Teknik Instrumentasi,
Major : Teknik Instrumentasi FV - ITS
Advisor Lecturer : Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc.

Abstract

In this final project designed a DC-AC converter tool that is inverter form. Inverter is a converter that converts DC current into AC current. The inverter to be made is a type of single phase inverter with an output voltage greater than the input voltage. Inverter uses SPWM technique (sinusoidal pulse width modulation) as the switching process. The purpose of this design is to design a single phase full bridge inverter with various input variations and adjust the inverter mosfet switching to produce sinusoidal wave output. The method of manufacturing a 1-phase full bridge inverter is to change the voltage from a battery or power supply of 10V-15V DC to 10V-15V AC. Then the 10V-15V DC AC voltage is raised by using a step-up transformer. From the result of inverter voltage test from 12V DC using 12/220 VAC CT transformer with transformer efficiency used is 70%. The result of the SPWM signal by inserting a 12.5V DC inverter voltage issued by an inverter of 108.20 without load, is 85.55V AC with 5 Watt load and 82.11V AC with 10 Watt load.

Keywords : Inverter, converter, SPWM, switching, step up transformer

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT penulis panjatkan karena atas rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul **“RANCANG BANGUN DAN ANALISIS INVERTER FULL BRIDGE 1 FASA DENGAN BERBAGAI VARIASI INPUT MENGGUNAKAN SPWM (SINUSOIDAL PULSE WIDTH MODULATION)”** dengan tepat waktu. Laporan ini dapat terselesaikan dengan dukungan dan peran serta dari berbagai pihak. Untuk itulah dalam kesempatan kali ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc. selaku Ketua Departemen Teknik Instrumentasi FV- ITS sekaligus pembimbing Tugas Akhir yang telah membina, memberikan banyak ilmu serta pengalaman dan senantiasa sabar dalam membimbing dalam pengerjaan tugas akhir ini.
2. Agus Muhammad Hatta, ST, M.Sc, Ph.D selaku Dosen Wali penulis yang memberikan nasehat dari semester awal hingga semester akhir dalam kuliah ini.
3. Murry Raditya, ST. MT. selaku Dosen Pengampu Laboratorium *Microprocessor* dan *Microcontroller* yang memberikan ilmu serta saran dalam pengerjaan dalam tugas ini.
4. Keluarga penulis yaitu ibu, bapak dan saudara penulis yang selalu mendukung dan memberikan semangat untuk belajar dalam pengerjaan tugas akhir ini.
5. Teman – teman D3 Teknik Instrumentasi FV - ITS tahun angkatan 2014 yang menjadi penyemangat untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Teman-Teman Tree Fortees yang menjadi bagian dari angkatan 2014 yang memberikan semangat dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Teman – teman laboratorium Fotonika Teknik Fisika - ITS yang memberikan fasilitas penunjang dalam tugas akhir ini.

8. Teman – teman asisten laboratorium Rekayasa bahan Teknik Fisika - ITS yang menemani dalam pengerjaan tugas akhir ini.
9. Achmadi, ST dan Hadrian Saputra yang membantu dalam menyelesaikan masalah serta *troubleshooting* dalam pengerjaan tugas akhir ini.
10. Elok faiqoh dan Dyah Ayu, teman kosan yang setia menemani dan memberikan semangat dalam pengerjaan laporan tugas akhir ini.
11. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih kurang sempurna. Oleh karena itu, penulis menerima segala masukan berupa saran, kritik, dan segala bentuk tegur sapa demi kesempurnaan laporan ini.

Demikian laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan dengan harapan dapat bermanfaat dalam akademik baik bagi penulis maupun bagi pembaca.

Surabaya, 28 Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan	2
1.4. Batasan Masalah	2
1.5. Manfaat	2
1.6. Sistematika Laporan.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. <i>Inverter</i>	5
2.1.1 Pengertian <i>Inverter</i>	5
2.1.2 Macam-macam Sinyal <i>Output Inverter</i>	5
2.1.3 <i>Inverter Full Bridge</i>	6
2.1.4 <i>Inverter</i> dengan SPWM	7
2.2. PWM.....	9
2.2.1 Pengertian PWM.....	9
2.2.2 <i>Duty Cycle</i>	10
2.2.3 Pembangkit Sinyal PWM.....	11
2.3. Mikrokontroler AVR ATMEGA16	13
2.3.1 Pengertian Mikrokontroler AVR ATMEGA16	13
2.3.2 Konfigurasi Mikrokontroler AVR ATMEGA16	15
2.4. Komponen Pendukung Alat.....	15
2.4.1 MOSFET	16
2.4.4 Resistor.....	17
2.4.5 Ouptocoupler.....	18
2.5. Transformator	20
2.5.1 Pengertian Transformator.....	20

2.5.2	Macam-macam Transformator	21
2.5.3	Prinsip Kerja Transformator	24
BAB III	PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT	27
3.1.	<i>Flowchart</i> Perancangan Alat.....	27
3.2.	Perancangan Alat Tugas Akhir	28
3.2.1	Studi Literature	28
3.2.2	Perancangan dan Pembuatan <i>Hardware</i> dan <i>Software Inverter</i>	29
3.2.3	Integrasi <i>Hardware</i> dan <i>Software</i> Pemrograman	36
3.2.4	Pengujian <i>Inverter</i>	37
3.2.5	Pengambilan Data <i>Inverter</i>	37
3.2.6	Analisis Data dan Penarikan Kesimpulan	38
BAB IV	ANALISA DATA	39
4.1.	Hasil Pengujian dan Pengambilan Data <i>Inverter</i>	39
4.1.1	Hasil Rancang Bangun.....	39
4.1.2	Pengujian Frekuensi	41
4.1.3	Pengujian Sinyal Masukan <i>Transistor</i>	43
4.1.4	Pengujian Sinyal SPWM.....	45
4.1.5	Pengujian Keluaran <i>Inverter</i>	48
4.2.	Pembahasan	61
BAB V	PENUTUP	65
5.1.	Kesimpulan	65
5.2.	Saran	65
	DAFTAR PUSTAKA	
	LAMPIRAN	
	BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Macam Sinyal <i>Output Inverter</i>	6
Gambar 2.2	Rangkaian <i>Inverter Full Bridge</i>	7
Gambar 2.3	Pemicuan Gelombang SPWM	8
Gambar 2.4	Tegangan Fasa-Netral dan Tegangan fasa-fasa	9
Gambar 2.5	Sinyal PWM	10
Gambar 2.6	<i>Duty Cycle</i> PWM.....	11
Gambar 2.7	Komparasi Sinyal Refrensi dengan Sinyal <i>Carrier</i> pada Pembangkitan PWM	11
Gambar 2.8	Terbentuknya Sinyal PWM dari Proses Komparasi.....	12
Gambar 2.9	Resolusi <i>Duty Cycle</i> pada PWM.....	13
Gambar 2.10	Konfigurasi Kaki (<i>Pin</i>) ATMEGA16	15
Gambar 2.11	MOSFET dalam Kondisi Mati.....	16
Gambar 2.12	MOSFET dalam Kondisi Hidup	17
Gambar 2.13	Jenis – jenis Resistor.....	18
Gambar 2.14	Simbol Optocoupler.....	18
Gambar 2.15	Bentuk-bentuk Optocoupler.....	19
Gambar 2.16	Cara Kerja Optocoupler	19
Gambar 2.17	Lambang Transformator <i>Step-Up</i>	21
Gambar 2.18	Skema Transformator <i>Step-Down</i>	22
Gambar 2.19	Skema Transformator	22
Gambar 2.20	Skema Transformator Variabel.....	23
Gambar 2.21	Bagian-bagian Transformator	24
Gambar 2.22	Lambang Transformator	24
Gambar 2.23	Skema Transformator Kumputan Primer dan Kumputan Sekunder terhadap Medan Magnet ...	25
Gambar 2.24	Hubungan antara Tegangan Primer, Jumlah Lilitan Primer, Tegangan Sekunder, dan Jumlah Lilitan Sekunder	25
Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> Pengerjaan Tugas Akhir	28
Gambar 3.2	<i>Block Flow Diagram</i> Perancangan <i>Inverter</i>	29
Gambar 3.3	Rangkaian <i>Inverter Full Bridge</i> 1 Fasa.....	30
Gambar 3.4	Rangkaian Optocoupler	31
Gambar 3.5	Skema Transformator	32

Gambar 3.6	Skema Rangkaian <i>filter</i> dengan Menggunakan Kapasitor.....	32
Gambar 3.7	Rangkaian <i>Inverter</i> pada <i>Software</i> PSIM	33
Gambar 3.8	Rangkaian <i>Inverter</i> pada <i>Software</i> Eagle	34
Gambar 3.9	Rangkaian Skema <i>Board Inverter</i> pada <i>Software</i> Eagle	35
Gambar 3.10	Blok Diagram Teknik SPWM.....	36
Gambar 4.1	<i>Hardware Inverter</i>	40
Gambar 4.2	Frekuensi Gelombang <i>Inverter</i>	42
Gambar 4.3	Sinyal Masukan Rangkaian <i>Transistor</i>	44
Gambar 4.4	Mosfet IRF540 dengan Tipe N-Channel.....	45
Gambar 4.5	Mosfet IRF9530 dengan Tipe P-Channel	45
Gambar 4.6	Hasil Sinyal SPWM	47
Gambar 4.7	Gelombang <i>Inverter</i> Akhir tanpa beban	49
Gambar 4.8	Gelombang <i>Inverter</i> Akhir dengan Menggunakan Beban 5 Watt	50
Gambar 4.9	Gelombang <i>Inverter</i> Akhir dengan Menggunakan Beban 10 Watt	51

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Hasil Pengolahan Data Pengukuran Frekuensi (Hz)	.42
Tabel 4.2	Hasil Pengujian Tegangan Keluaran <i>Inverter</i> Tanpa Beban Vin 10.50.....	53
Tabel 4.3	Hasil Pengujian Tegangan Keluaran <i>Inverter</i> Tanpa Beban Vin 11.00.....	53
Tabel 4.4	Hasil Pengujian Tegangan Keluaran <i>Inverter</i> Tanpa Beban Vin 11.50.....	54
Tabel 4.5	Hasil Pengujian Tegangan Keluaran <i>Inverter</i> Tanpa Beban Vin 12.00.....	54
Tabel 4.6	Hasil Pengujian Tegangan Keluaran <i>Inverter</i> Tanpa Beban Vin 12.50.....	55
Tabel 4.7	Hasil Pengujian Tegangan Keluaran <i>Inverter</i> dengan Beban 5 Watt dan Vin 10.50	56
Tabel 4.8	Hasil Pengujian Tegangan Keluaran <i>Inverter</i> dengan Beban 5 Watt dan Vin 11.00	56
Tabel 4.9	Hasil Pengujian Tegangan Keluaran <i>Inverter</i> dengan Beban 5 Watt dan Vin 11.50	57
Tabel 4.10	Hasil Pengujian Tegangan Keluaran <i>Inverter</i> dengan Beban 5 Watt dan Vin 12.00	57
Tabel 4.11	Hasil Pengujian Tegangan Keluaran <i>Inverter</i> dengan Beban 5 Watt dan Vin 12.50	58
Tabel 4.12	Hasil Pengujian Tegangan Keluaran <i>Inverter</i> dengan Beban 10 Watt dan Vin 10.50	58
Tabel 4.13	Hasil Pengujian Tegangan Keluaran <i>Inverter</i> dengan Beban 10 Watt dan Vin 11.00	59
Tabel 4.14	Hasil Pengujian Tegangan Keluaran <i>Inverter</i> dengan Beban 10 Watt dan Vin 11.50	60
Tabel 4.15	Hasil Pengujian Tegangan Keluaran <i>Inverter</i> dengan Beban 10 Watt dan Vin 12.00	60
Tabel 4.16	Hasil Pengujian Tegangan Keluaran <i>Inverter</i> dengan Beban 10 Watt dan Vin 12.50	61

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Inverter adalah perangkat elektrik yang digunakan untuk mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC). *Inverter* mengkonversi DC dari perangkat seperti baterai, panel surya / *solar cell* menjadi AC. Beberapa tahun belakangan ini perkembangan di dunia elektronika mengalami kemajuan pesat, semua itu di dasari oleh kemajuan pendidikan yang ada selama ini. Seiring dengan keadaan yang semakin maju terutama dalam dunia elektronika, pasti membutuhkan sumber arus untuk menjalankan alat-alat elektronika tersebut. Perkembangan barang barang elektronika sangat pesat, beberapa perangkat pendukung mengalami perkembangan, alat – alat elektronika yang semakin beragam. Salah satu sistem elektronika yang kita kenal adalah *inverter* yang berfungsi mengubah tegangan DC 12V menjadi tegangan 220 AC 50Hz. Inverter ini sangat berfungsi sebagai penyedia listrik cadangan baik di kendaraan maupun dirumah, sebagai *emergency power* saat aliran listrik rumah padam. Selain itu di masa mendatang, *inverter* DC to AC akan memegang peranan penting dalam mengubah energi DC dari sumber energi terbarukan sel surya menjadi energi listrik AC yang kita gunakan sehari-hari.^[1]

Oleh karena itu pada tugas akhir ini dirancang bangun dan analisa sebuah *inverter full bridge* 1 fasa dengan berbagai variasi *input* menggunakan mode SPWM. Tujuan pembuatan inverter ini yaitu untuk membuat *inverter full bridge* 1 fasa dengan berbagai variasi *input* serta mengatur *switching* mosfet *inverter* agar dihasilkan *output* gelombang *sinusoidal*. Dengan menggunakan teknik *sinusoidal pulse width modulation* (SPWM) dalam proses *switching* tersebut akan menghasilkan tegangan AC. *Inverter* dengan menggunakan teknik SPWM ini seperti inverter biasanya, dimana menggunakan trafo untuk tegangan *step up* nya. Sehingga tegangan yang dihasilkan lebih tinggi dari tegangan masukan.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, permasalahan yang diangkat dalam Tugas Akhir ini diantaranya adalah :

- a. Bagaimana cara membuat sebuah *inverter full bridge* 1 fasa dengan berbagai variasi *input*?
- b. Bagaimana cara mengatur *switching* mosfet *inverter* agar dihasilkan *output* gelombang SPWM?

1.3. Tujuan

Tujuan dibuatnya Tugas Akhir ini adalah merancang sebuah *inverter full bridge* 1 fasa dengan berbagai variasi *input* serta mengatur *switching* mosfet *inverter* agar dihasilkan *output* gelombang *sinusoidal*.

1.4. Batasan Masalah

Adapun beberapa batasan masalah pada Tugas Akhir ini diantaranya adalah :

- a. Alat yang dirancang dan dibangun hanya memiliki fungsi untuk mengubah tegangan DC menjadi AC.
- b. *Inverter* yang dibuat menggunakan sistem SPWM (*Pulse Width Modulation*)
- c. Menggunakan trafo *step up* untuk menaikkan tegangan keluaran dari *inverter*
- d. *Input* yang digunakan sekitar 10V-15V DC
- e. *Inverter* digunakan hanya untuk menyalakan lampu

1.5. Manfaat

Manfaat yang didapatkan pada penyelesaian tugas akhir ini adalah sebagai pengkonversi daya listrik dari tegangan DC menjadi tegangan AC serta menaikkan tegangan tersebut dengan trafo *step up*.

1.6. Sistematika Laporan

Penyusunan laporan tugas akhir ini dilakukan secara sistematis dan tersusun dalam lima bab dengan penjelasan sebagai berikut.

BAB I Pendahuluan

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika laporan pada pengerjaan *inverter* ini.

BAB II Tinjauan Pustaka

Bab ini membahas tentang teori - teori dasar yang terkait *inverter*, PWM, trafo, IC 4N35, dan MOSFET.

BAB III Metodologi Penelitian

Bab ini menjelaskan mengenai tentang perancangan dan pembuatan *inverter*.

BAB IV Pengujian dan Analisa

Bab ini berisi tentang analisa data hasil pengujian *inverter* beserta pembahasannya.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi tentang kesimpulan pokok dari seluruh rangkaian penelitian yang telah dilakukan dan saran yang dapat dijadikan sebagai pengembangan penelitian selanjutnya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Inverter

2.1.1. Pengertian Inverter

Inverter adalah perangkat yang digunakan untuk mengubah arus DC dari aki menjadi arus AC dengan tegangan umumnya 220 volt. Alat ini diperlukan untuk *Solar Home System* (SHS) karena menyangkut instalasi kabel yang banyak dan panjang. Apabila beban bukan untuk instalasi rumah, misalnya hanya untuk menghidupkan satu lampu atau alat dengan tegangan 12V DC, maka *inverter* tidak diperlukan. Jika menggunakan *inverter* yang mana mengubah arus DC menjadi AC 220 V, ini akan sesuai dengan listrik PLN sehingga bisa dibuat untuk sistem listrik *hybrid* (gabungan listrik PLN dan SHS). Dalam Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), *inverter* diperlukan untuk menyediakan sumber arus AC untuk perangkat listrik seperti lampu, televisi, pompa air, dan lain sebagainya.^[2]

2.1.2. Macam-macam Sinyal Output Inverter

Adapun macam – macam sinyal *output inverter* adalah sebagai berikut :

a. Square sine wave inverter

Merupakan tipe *inverter* yang menghasilkan *output* gelombang (sinus) persegi. Jenis *inverter* ini tidak cocok untuk beban AC tertentu seperti motor induksi atau *transformer*, selain tidak dapat bekerja *square sine wave* dapat merusak peralatan tersebut.^[2]

b. Modified sine wave inverter

Merupakan tipe *inverter* yang menghasilkan *output* gelombang persegi yang disempurnakan/persegi kuasi yang merupakan kombinasi antara *square wave* dan *sine wave*. *Inverter* ini masih dapat menggerakkan perangkat yang menggunakan kumparan, hanya saja tidak maksimal serta faktor *energy - loss* yang besar dan tidak cocok dengan perangkat elektronik yang

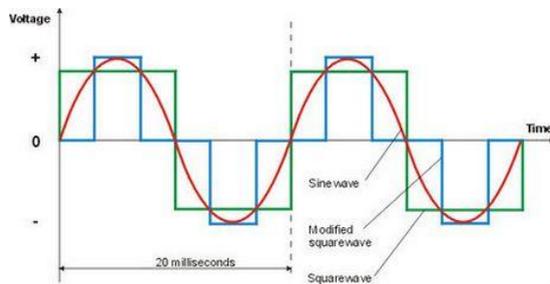
sensitif atau khusus, misalnya laser printer tertentu dan peralatan audio.^[2]

c. *Pure sine wave inverter*

Merupakan tipe *inverter* yang menghasilkan *output* gelombang sinus murni setara PLN. *Inverter* jenis ini diperlukan terutama untuk beban - beban yang menggunakan kumparan induksi agar bekerja lebih mudah, lancar dan tidak cepat panas.^[2]

d. *Grid Tie Inverter*

Merupakan tipe *special inverter* yang dirancang untuk menyuntikkan arus listrik ke sistem distribusi tenaga listrik yang sudah ada, misalkan PLN / Genset. *Inverter* tersebut harus disinkronkan dengan frekuensi grid yang sama, biasanya berisi satu atau lebih fitur maksimum *power point tracking* untuk mengkonversi jumlah maksimum daya yang tersedia, dan juga termasuk fitur proteksi keselamatan.^[2]



Gambar 2.1 Macam Sinyal Output *Inverter* ^[2]

2.1.3. *Inverter Full Bridge*

Rangkaian *inverter full bridge* berfungsi mengubah tegangan 220 Vdc dari keluaran penyearah menjadi tegangan 220 Vac frekuensi 50 Hz. Besar frekuensi dapat dilakukan dengan mengatur periode gelombang keluaran. Seperti pada persamaan 2.1 berikut ini.

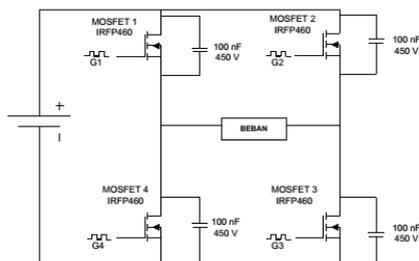
$$f = \frac{1}{T} (\text{Hz}) \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

f = Frekuensi (Hz)

T = Periode (ms)

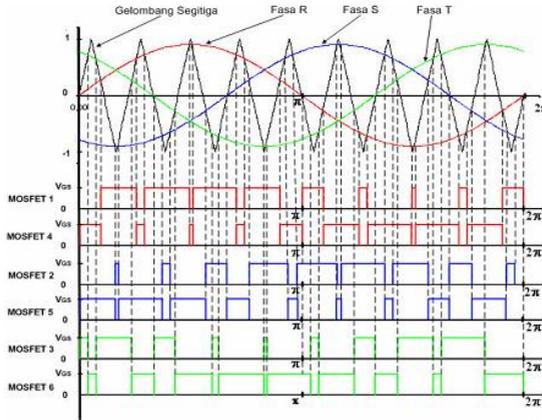
Rangkaian *full bridge converter* untuk mendesain konverter yang baik diperlukan perhitungan nilai komponen-komponen yang tepat. Karena nilai komponen yang tidak tepat, dapat menyebabkan hasil output yang kurang baik, seperti keluarnya *ripple* tegangan dan arus yang terlalu besar.^[2]



Gambar 2.2 Rangkaian *Inverter Full Bridge*^[2]

2.1.4. *Inverter* dengan SPWM

SPWM adalah suatu metode yang digunakan untuk menentukan sudut pemucuan dengan cara membandingkan gelombang segitiga dengan 3 gelombang sinus (fasa R, fasa S, dan fasa T) yang masing-masing berbeda fasa 120° , seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2.3 Pemicuan gelombang SPWM^[2]

Berdasarkan bentuk gelombang *inverter*, nilai V_{rms} akan berbeda-beda. Adapun rumus dari hubungan V_{rms} dan V_{pp} dengan bentuk gelombang :

Pada gelombang sinus

$$V_{rms} = \frac{V_{[p-p]}}{2\sqrt{2}} \dots\dots\dots (2.2)$$

Pada gelombang segitiga

$$V_{rms} = \frac{V_{[p-p]}}{2\sqrt{3}} \dots\dots\dots (2.3)$$

Pada gelombang kotak

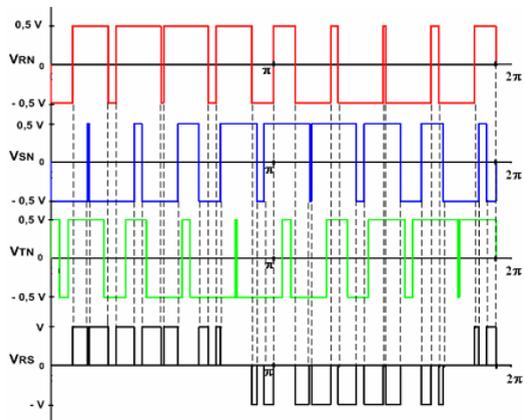
$$V_{rms} = \frac{V_{[p-p]}}{2} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

V_{rms} = Tegangan Keluaran Akhir (V)

V = Tegangan yang diinginkan (V)

Setelah didapatkan titik potong antara gelombang segitiga dan tiga gelombang sinus (R, S, dan T), maka di tiap titik dilakukan pemicuan secara bergantian antara MOSFET sisi atas dan bawah sampai satu periode. Sedangkan tegangan pemicuan dapat dilihat dari **Gambar 2.4** di bawah ini :



Gambar 2.4 Tegangan fasa-netral dan tegangan fasa-fasa^[2]

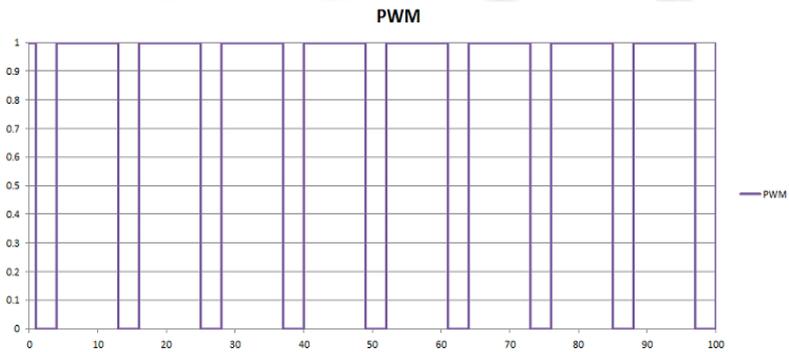
Tegangan VRN, VSN, dan VTN adalah tegangan fasa ke netral yang merupakan hasil pemicuan MOSFET sisi atas dan MOSFET sisi bawah, sedangkan tegangan antar fasa merupakan selisih antara tegangan dua fasa yang berbeda.^[2]

2.2. PWM

2.2.1. Pengertian PWM

Pulse Width Modulation (PWM) secara umum adalah sebuah cara memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam suatu periode, untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda. PWM banyak digunakan untuk aplikasi-aplikasi yang berkaitan dengan kontrol analog-digital atau sebaliknya. Metode PWM dinilai merupakan cara efektif untuk sistem kontrol dengan berbagai variabel-nya. Sebagai contoh PWM sebagai pengendali kecepatan motor, PWM sebagai sistem kendali tenaga,

PWM dalam sistem pengukuran, dan lain sebagainya. Sinyal PWM pada umumnya memiliki amplitudo dan frekwensi dasar yang tetap, namun memiliki lebar pulsa yang bervariasi. Lebar Pulsa PWM berbanding lurus dengan amplitudo sinyal asli yang belum termodulasi. Artinya, Sinyal PWM memiliki frekuensi gelombang yang tetap namun memiliki lebar pulsa yang bervariasi (antara 0% hingga 100%).^[3]



Gambar 2.5 Sinyal PWM^[3]

2.2.2. Duty Cycle

Merupakan sebuah istilah yang tidak dapat dipisahkan dari PWM. *Duty cycle* adalah persentasi dari satu periode sinyal aktif (*high*) dibanding dengan periode sinyal total yang terdiri dari sinyal aktif (*high*) dan sinyal mati (*low*).^[3]

Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut :

$$T_{total} = T_{on} + T_{off} \dots\dots\dots(2.5)$$

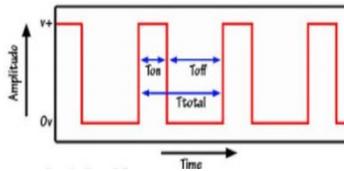
$$D = \frac{T_{on}}{T_{off}} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

D = Duty Cycle

T_{on} = Sinyal Aktif

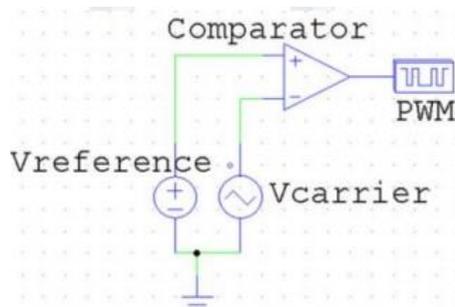
T_{off} = Sinyal mati



Gambar 2.6 Duty Cycle PWM^[3]

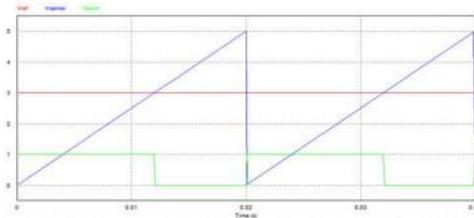
2.2.3. Pembangkit Sinyal PWM

Sinyal PWM dapat dibangkitkan dengan 2 cara, yaitu secara analog dan secara digital. Pada pembangkitan sinyal PWM secara analog dilakukan dengan cara membandingkan sinyal gigi gergaji sebagai tegangan *carrier* dengan tegangan referensi menggunakan rangkaian op-amp jenis *comparator*. Proses komparasinya dapat dilihat gambar di bawah ini.^[3]



Gambar 2.7 Komparasi Sinyal Refrensi dengan Sinyal *Carrier* pada Pembangkitan PWM^[3]

Cara kerja dari komparator analog tersebut adalah dengan membandingkan gelombang tegangan gigi gergaji dengan tegangan referensi seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.8 Terbentuknya Sinyal PWM dari Proses Komparasi^[3]

Keterangan :

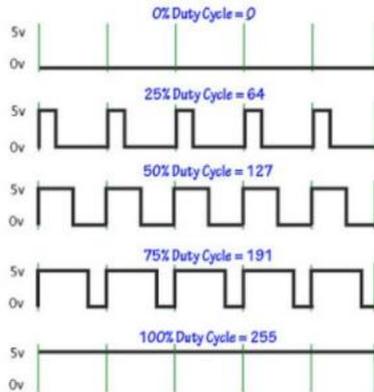
Merah : Tegangan Refrensi

Biru : Tegangan *Carrier*

Hijau : Tegangan PWM

Saat nilai tegangan referensi lebih besar dari tegangan *carrier* (gigi gergaji) maka keluaran *comparator* akan bernilai *high*. Namun saat tegangan referensi bernilai lebih kecil dari tegangan *carrier*, maka keluaran *comparator* akan bernilai *low*. Dengan memanfaatkan prinsip kerja dari komparator ini, untuk mengubah *duty cycle* dari sinyal *output* cukup dengan mengubah besar tegangan referensi.^[3]

Dengan menggunakan metode digital, setiap perubahan PWM dipengaruhi oleh resolusi dari PWM itu sendiri. Resolusi adalah jumlah perubahan nilai digital dalam PWM tersebut. Misalkan suatu PWM memiliki resolusi 8 bit berarti PWM ini memiliki variasi perubahan nilai sebanyak $2^8 = 256$ variasi mulai dari 0-255 perubahan nilai yang mewakili *duty cycle* 0-100% dari keluaran PWM tersebut.^[3]



Gambar 2.9 Resolusi *Duty Cycle* pada PWM^[3]

2.3. Mikrokontroler AVR ATMEGA16

2.3.1. Pengertian Mikrokontroler AVR ATMEGA16

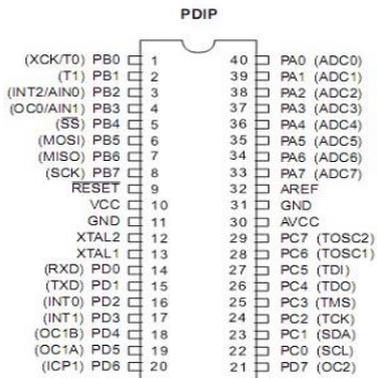
AVR merupakan seri mikrokontroler *Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS) 8-bit* buatan Atmel berbasis arsitektur RISC (*Reduced Instruction Set Computer*). Hampir semua instruksi pada program dieksekusi dalam satu siklus *clock*. AVR mempunyai 32 register *general-purpose, timer/counter* fleksibel dengan mode *compare*, interupsi *internal* dan *eksternal*, serial UART, *programmable Watchdog Timer, power saving mode*, ADC dan PWM. AVR pun mempunyai *In-System Programmable (ISP) Flash on-chip* yang memungkinkan memori program untuk diprogram ulang (*read/write*) dengan koneksi secara serial yang disebut *Serial Peripheral Interface (SPI)*. AVR memiliki keunggulan dibandingkan dengan mikrokontroler lain, keunggulan mikrokontroler AVR yaitu memiliki kecepatan dalam mengeksekusi program yang lebih cepat, karena sebagian besar instruksi dieksekusi dalam 1 siklus *clock* (lebih cepat dibandingkan mikrokontroler keluarga MCS 51 yang memiliki arsitektur *Complex Intrukstion Set Compute*). ATMEGA16 mempunyai *throughput* mendekati 1 *Millions Instruction Per Second (MIPS)* per MHz, sehingga membuat konsumsi daya menjadi rendah terhadap kecepatan proses eksekusi perintah.^[5]

Beberapa keistimewaan dari AVR ATMEGA16 antara lain:

- a. Mikrokontroler AVR 8 bit yang memiliki kemampuan tinggi dengan konsumsi daya rendah
- b. Arsitektur RISC dengan *throughput* mencapai 16 MIPS pada frekuensi 16MHz
- c. Memiliki kapasitas *Flash* memori 16 Kbyte, EEPROM 512 Byte dan SRAM 1 Kbyte.
- d. Saluran I/O sebanyak 32 buah, yaitu *Port A*, *Port B*, *Port C* dan *Port D*
- e. CPU yang terdiri dari 32 buah *register*
- f. Unit interupsi dan eksternal
- g. *Port* USART untuk komunikasi serial
- h. Fitur *peripheral*
 - Tiga buah *Timer/Counter* dengan kemampuan perbandingan (*compare*)
 - Dua buah *Timer/Counter* 8 bit dengan *Prescaler* terpisah dan *Mode Compare*
 - Satu buah *Timer/Counter* 16 bit dengan *Prescaler* terpisah, *Mode Compare* dan *Mode Capture*
 - *Real Time Counter* dengan *Oscillator* tersendiri
 - Empat kanal PWM
 - 8 kanal ADC
 - 8 *Single-ended Channel* dengan keluaran hasil konversi 8 dan 10 resolusi (register ADCH dan ADCL)
 - 7 *Diferrential Channel* hanya pada kemasan *Thin Quad Flat Pack* (TQFP)
 - 2 *Differential Channel* dengan *Programmable Gain*
 - Antarmuka *Serial Peripheral Interface* (SPI) *Bus*
 - *Watchdog Timer* dengan *Oscillator Internal* 9
 - *On-chip Analog Comparator* 9.
- i. *Non-volatile program memory*

2.3.2. Konfigurasi Mikrokontroler AVR ATMEGA16

Mikrokontroler adalah sebuah sistem komputer lengkap dalam satu serpih (*chip*). Mikrokontroler lebih dari sekedar sebuah mikroprosesor karena sudah terdapat atau berisikan ROM (*Read-Only Memory*), RAM (*Read-Write Memory*), beberapa bandar masukan maupun keluaran, dan beberapa *peripheral* seperti pencacah/pewaktu, ADC (*Analog to Digital converter*), DAC (*Digital to Analog converter*) dan serial komunikasi. Seperti mikroprosesor pada umumnya, secara internal mikrokontroler ATMega16 terdiri atas unit-unit fungsionalnya *Arithmetic and Logical Unit* (ALU), himpunan register kerja, register dan dekoder instruksi, dan pewaktu beserta komponen kendali lainnya. Berbeda dengan mikroprosesor, mikrokontroler menyediakan memori dalam serpih yang sama dengan prosesornya (*in chip*). Berikut akan dijelaskan pin dari atmega16 beserta letak pin khusus untuk bagian *analog digital converter* atau yang biasa dikenal sebagai ADC.^[5]



Gambar 2.10 Konfigurasi Kaki (*Pin*) ATMEGA16^[5]

2.4. Komponen Pendukung Alat

Dalam pembuatan alat tugas akhir ini dibutuhkan komponen pendukung agar alat yang dibuat bisa berjalan sesuai dengan yang

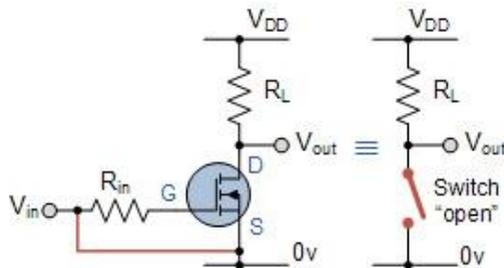
diinginkan. Berikut dijelaskan komponen pendukung dalam pembuatan inverter sebagai berikut.

2.4.1. MOSFET

MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) merupakan salah satu jenis transistor yang memiliki impedansi masukan (*gate*) sangat tinggi sehingga dengan menggunakan MOSFET sebagai saklar elektronik (metode *switching*), memungkinkan untuk menghubungkannya dengan semua jenis gerbang logika. Dengan menjadikan MOSFET sebagai saklar, maka dapat digunakan untuk mengendalikan beban dengan arus yang lebih tinggi dan biaya yang relatif lebih murah daripada menggunakan *transistor bipolar* (BJT). Untuk membuat MOSFET sebagai saklar maka hanya menggunakan MOSFET pada kondisi saturasi (*ON*) dan kondisi *cut-off* (*OFF*).^[6]

Karakteristik MOSFET pada daerah *cut-off* antara lain sebagai berikut :

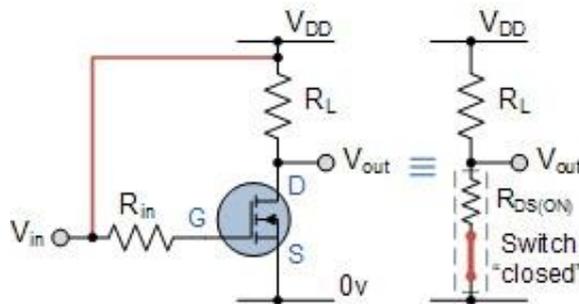
- Input gate* (V_{gs}) tidak mendapat tegangan bias karena terhubung ke *ground* ($0V$)
- Tegangan *input gate* (V_{gs}) lebih rendah dari tegangan *threshold* ($V_{gs} < V_{th}$)
- Tidak ada arus *drain* yang mengalir pada MOSFET
- Tegangan *output* $V_{out} = V_{ds} = V_{dd}$
- Pada daerah *cut-off* MOSFET dianalogikan seperti saklar yang terbuka.



Gambar 2.11 MOSFET dalam Kondisi Mati^[6]

Sedangkan karakteristik MOSFET ketika saturasi adalah sebagai berikut :

- Tegangan *input gate* (V_{gs}) tinggi
- Tegangan *input gate* (V_{gs}) lebih tinggi dari tegangan *threshold* ($V_{gs} > V_{th}$)
- Tegangan *drain* dan *source* ideal (V_{ds}) pada daerah saturasi adalah $0V$ ($V_{ds} = 0V$)
- Resistansi *drain* dan *source* sangat rendah ($R_{ds} < 0,1 \text{ Ohm}$)
- Tegangan *output* $V_{out} = V_{ds} = 0,2V$
- MOSFET dianalogikan sebagai saklar kondisi tertutup



Gambar 2.12 MOSFET dalam Kondisi Hidup^[6]

2.4.2. Resistor

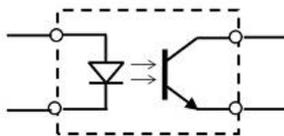
Resistor atau disebut juga dengan Hambatan adalah komponen elektronika pasif yang berfungsi untuk menghambat dan mengatur arus listrik dalam suatu rangkaian elektronika. Satuan nilai resistor atau hambatan adalah Ohm (Ω).^[7]

Nama Komponen	Gambar	Simbol
Resistor (Nilai Tetap)		
Variable Resistor		
LDR (Light Depending Resistor)		
Thermistor (NTC / PTC)		

Gambar 2.13 Jenis – jenis Resistor^[7]

2.4.3. Optocoupler

Optocoupler adalah suatu piranti yang terdiri dari 2 bagian yaitu transmitter dan receiver, yaitu antara bagian cahaya dengan deteksi sumber cahaya terpisah. Biasanya optocoupler digunakan sebagai saklar elektrik, yang bekerja secara otomatis. Optocoupler atau optoisilator merupakan komponen penggandeng (coupling) antara rangkaian input dengan rangkaian output yang menggunakan media cahaya (opto) sebagai penghubung. Dengan kata lain, tidak ada bagian yang konduktif antara kedua rangkaian tersebut. Optocoupler sendiri terdiri dari 2 bagian, yaitu transmitter (pengirim) dan receiver (penerima).^[8]



Gambar 2.14 Simbol Optocoupler^[8]

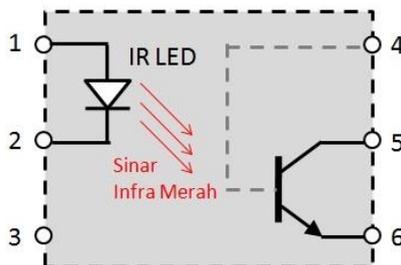
Jenis-jenis Optocoupler yang sering ditemukan adalah Optocoupler yang terbuat dari bahan Semikonduktor dan terdiri dari kombinasi LED (Light Emitting Diode) dan Phototransistor. Dalam Kombinasi ini, LED berfungsi sebagai pengirim sinyal

cahaya optik (Transmitter) sedangkan Phototransistor berfungsi sebagai penerima cahaya tersebut (Receiver). Jenis-jenis lain dari Optocoupler diantaranya adalah kombinasi LED-Photodiode, LED-LASCR dan juga Lamp-Photoresistor.^[8]



Gambar 2.15 Bentuk-bentuk Optocoupler^[8]

Pada prinsipnya, Optocoupler dengan kombinasi LED-Phototransistor adalah Optocoupler yang terdiri dari sebuah komponen LED (Light Emitting Diode) yang memancarkan cahaya infra merah (IR LED) dan sebuah komponen semikonduktor yang peka terhadap cahaya (Phototransistor) sebagai bagian yang digunakan untuk mendeteksi cahaya infra merah yang dipancarkan oleh IR LED. Untuk lebih jelas mengenai Prinsip kerja Optocoupler, silakan lihat rangkaian internal komponen Optocoupler dibawah ini.^[8]



Gambar 2.16 Cara Kerja Optocoupler^[8]

Dari gambar diatas dapat dijelaskan bahwa Arus listrik yang mengalir melalui IR LED akan menyebabkan IR LED memancarkan sinyal cahaya Infra merahnya. Intensitas Cahaya tergantung pada jumlah arus listrik yang mengalir pada IR LED tersebut. Kelebihan Cahaya Infra Merah adalah pada ketahanannya yang lebih baik jika dibandingkan dengan Cahaya yang tampak. Cahaya Infra Merah tidak dapat dilihat dengan mata telanjang. Cahaya Infra Merah yang dipancarkan tersebut akan dideteksi oleh Phototransistor dan menyebabkan terjadinya hubungan atau Switch ON pada Phototransistor. Prinsip kerja Phototransistor hampir sama dengan Transistor Bipolar biasa, yang membedakan adalah Terminal Basis (Base) Phototransistor merupakan penerima yang peka terhadap cahaya. Optocoupler banyak diaplikasikan sebagai driver pada rangkaian pada Mikrokontroler, driver pada Motor DC, DC dan AC power control dan juga pada komunikasi rangkaian yang dikendalikan oleh PC (Komputer).^[8]

2.5. Transformator

2.5.1. Pengertian Transformator

Transformator atau trafo adalah suatu peralatan listrik yang dapat memindahkan energi listrik atau memindahkan dan mengubah energi listrik bolak-balik dari satu level ke level tegangan yang lain melalui kinerja satu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Pada umumnya transformator terdiri atas sebuah inti yang terbuat dari besi berlapis, dan dua buah kumparan yaitu kumparan perimer dan kumparan sekunder. Kedua kumparan ini tidak terhubung secara langsung. Satu satunya hubungan antara kedua kumparan adalah fluks magnetik bersama yang terdapat dalam inti. Salah satu dari kedua kumparan transformator tadi dihubungkan ke sumber daya listrik bolak-balik dan kumparan kedua (serta ketiga jika ada) akan mensuplai daya ke beban. Kumparan transformator yang terhubung kesumber daya dinamakan kumparan primer sedangkan yang terhubung ke beban dinamakan kumparan sekunder, jika terdapat kumparan ketiga dinamakan kumparan

tersier. Transformator digunakan secara luas baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaan transformator dalam sistem tenaga memungkinkan terpilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan misalnya, kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya jarak jauh. Penggunaan transformator yang sangat sederhana dan andal merupakan salah satu alasan penting dalam pemakaiannya dalam penyaluran tenaga listrik arus bolak-balik, karena arus bolak-balik sangat banyak dipergunakan untuk pembangkitan dan penyaluran tenaga listrik.^[9]

2.5.2. Macam-macam Transformator

Adapun macam-macam transformator yaitu sebagai berikut :

a. *Step Up*

Transformator step-up adalah transformator yang memiliki lilitan sekunder lebih banyak daripada lilitan primer, sehingga berfungsi sebagai penaik tegangan. Transformator ini biasa ditemui pada pembangkit tenaga listrik sebagai penaik tegangan yang dihasilkan generator menjadi tegangan tinggi yang digunakan dalam transmisi jarak jauh.^[9]



Gambar 2.17 Lambang Transformator *Step-Up*^[9]

b. *Step Down*

Transformator step-down memiliki lilitan sekunder lebih sedikit daripada lilitan primer, sehingga berfungsi sebagai penurun tegangan. Transformator jenis ini sangat mudah ditemui, terutama dalam adaptor AC-DC.^[9]



Gambar 2.18 Skema Transformator *Step-Down*^[9]

c. Autotransformator

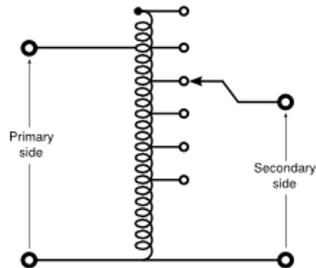
Transformator jenis ini hanya terdiri dari satu lilitan yang berlanjut secara listrik, dengan sadapan tengah. Dalam transformator ini, sebagian lilitan primer juga merupakan lilitan sekunder. Fasa arus dalam lilitan sekunder selalu berlawanan dengan arus primer, sehingga untuk tarif daya yang sama lilitan sekunder bisa dibuat dengan kawat yang lebih tipis dibandingkan transformator biasa. Keuntungan dari autotransformator adalah ukuran fisiknya yang kecil dan kerugian yang lebih rendah daripada jenis dua lilitan. Tetapi transformator jenis ini tidak dapat memberikan isolasi secara listrik antara lilitan primer dengan lilitan sekunder. Selain itu, autotransformator tidak dapat digunakan sebagai penaik tegangan lebih dari beberapa kali lipat (biasanya tidak lebih dari 1,5 kali).^[15]



Gambar 2.19 Skema Transformator^[9]

d. Autotransformator Variabel

Autotransformator variabel sebenarnya adalah autotransformator biasa yang sadapan tengahnya bisa diubah-ubah, memberikan perbandingan lilitan primer-sekunder yang berubah-ubah.^[9]



Gambar 2.20 Skema Autotransformator Variabel^[9]

e. Transformator Isolasi

Transformator isolasi memiliki lilitan sekunder yang berjumlah sama dengan lilitan primer, sehingga tegangan sekunder sama dengan tegangan primer. Tetapi pada beberapa desain, gulungan sekunder dibuat sedikit lebih banyak untuk mengkompensasi kerugian. Transformator seperti ini berfungsi sebagai isolasi antara dua kalang. Untuk penerapan audio, transformator jenis ini telah banyak digantikan oleh kopling kapasitor.^[9]

f. Transformator Pulsa

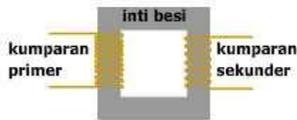
Transformator pulsa adalah transformator yang didesain khusus untuk memberikan keluaran gelombang pulsa. Transformator jenis ini menggunakan material inti yang cepat jenuh sehingga setelah arus primer mencapai titik tertentu, fluks magnet berhenti berubah. Karena GGL induksi pada lilitan sekunder hanya terbentuk jika terjadi perubahan fluks magnet, transformator hanya memberikan keluaran saat inti tidak jenuh, yaitu saat arus pada lilitan primer berbalik arah.^[9]

g. Transformator Tiga Fasa

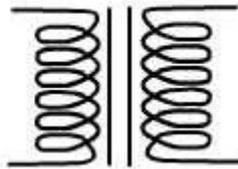
Transformator tiga fasa sebenarnya adalah tiga transformator yang dihubungkan secara khusus satu sama lain. Lilitan primer biasanya dihubungkan secara bintang (Y) dan lilitan sekunder dihubungkan secara delta (Δ).^[9]

2.5.3. Prinsip Kerja Transformator

Komponen Transformator (trafo) Transformator (trafo) adalah alat yang digunakan untuk menaikkan atau menurunkan tegangan bolak-balik (AC). Transformator terdiri dari 3 komponen pokok yaitu: kumparan pertama (primer) yang bertindak sebagai input, kumparan kedua (sekunder) yang bertindak sebagai output, dan inti besi yang berfungsi untuk memperkuat medan magnet yang dihasilkan. ^[9]

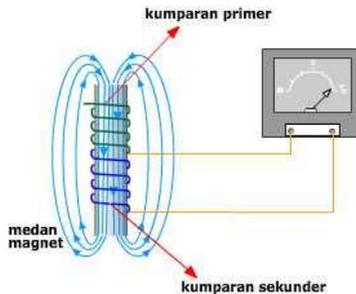


Gambar 2.21 Bagian-bagian Transformator^[9]



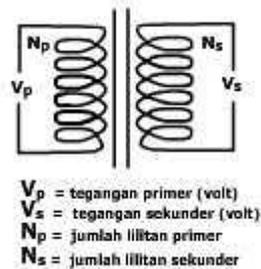
Gambar 2.22 Lambang Transformator^[9]

Prinsip kerja dari sebuah transformator adalah sebagai berikut. Ketika Kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, perubahan arus listrik pada kumparan primer menimbulkan medan magnet yang berubah. Medan magnet yang berubah diperkuat oleh adanya inti besi dan dihantarkan inti besi ke kumparan sekunder, sehingga pada ujung-ujung kumparan sekunder akan timbul ggl induksi. Efek ini dinamakan induktansi timbal-balik (mutual inductance). ^[9]



Gambar 2.23 Skema Transformator Kumparan Primer dan Kumparan Sekunder terhadap Medan Magnet^[9]

Pada skema transformator diatas, ketika arus listrik dari sumber tegangan yang mengalir pada kumparan primer berbalik arah (berubah polaritasnya) medan magnet yang dihasilkan akan berubah arah sehingga arus listrik yang dihasilkan pada kumparan sekunder akan berubah polaritasnya^[9]



Gambar 2.24 Hubungan antara Tegangan Primer, Jumlah Lilitan Primer, Tegangan Sekunder, dan Jumlah Lilitan Sekunder^[9]

Hubungan antara tegangan primer, jumlah lilitan primer, tegangan sekunder, dan jumlah lilitan sekunder, dapat dinyatakan dalam persamaan 2.7 :

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan

- V_p = tegangan primer (volt)
 V_s = tegangan sekunder (volt)
 N_p = jumlah lilitan primer
 N_s = jumlah lilitan sekunder

Dari hubungan antara tegangan primer, jumlah lilitan primer, arus primer, daya primer, tegangan sekunder, jumlah lilitan sekunder, arus sekunder dan daya sekunder efisiensi transformer dapat dinyatakan dalam persamaan dibawah ini.

$$\eta = \frac{V_s}{V_p} \times \frac{I_s}{I_p} \times 100\% \dots\dots\dots (2.8)$$

$$\eta = \frac{N_s}{N_p} \times \frac{I_s}{I_p} \times 100\% \dots\dots\dots (2.9)$$

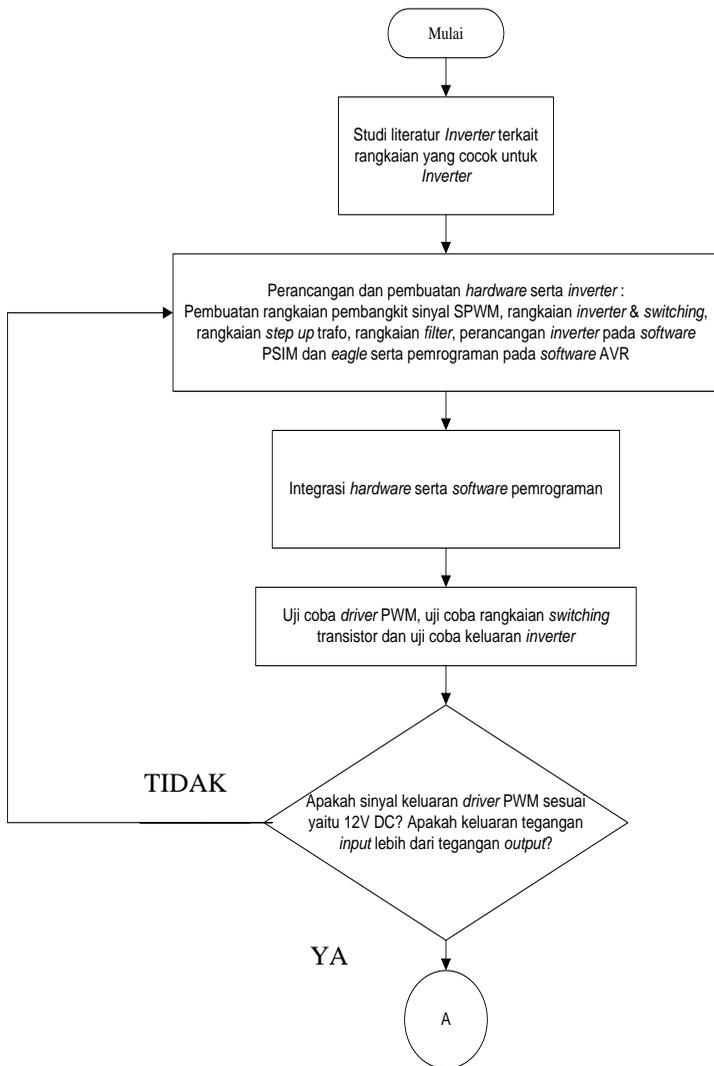
$$\eta = \frac{P_s}{P_p} \times 100\% \dots\dots\dots (2.10)$$

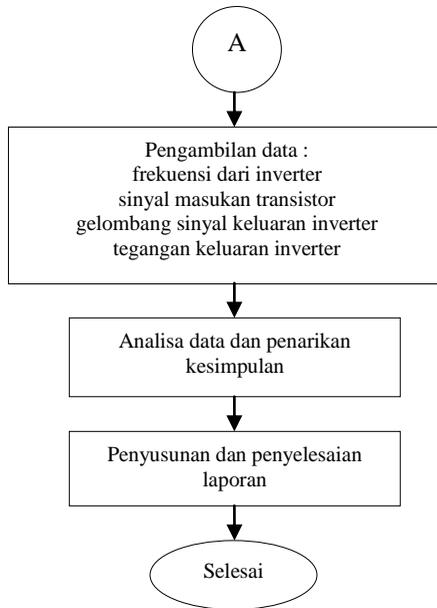
Keterangan

- V_p = tegangan primer (volt)
 V_s = tegangan sekunder (volt)
 N_p = jumlah lilitan primer
 N_s = jumlah lilitan sekunder
 I_p = arus primer (Ampere)
 I_s = arus sekunder (Ampere)
 P_p = daya primer (Watt)
 P_s = daya sekunder (Watt)

BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

3.1. Flowchart Perancangan Alat





Gambar 3.1 *Flowchart* Pengerjaan *Inverter*

3.2. Perancangan Alat Tugas Akhir

Berdasarkan *flowchart* diatas adapun perancangan alat tugas akhir ini akan dijelaskan pada point-point berikut :

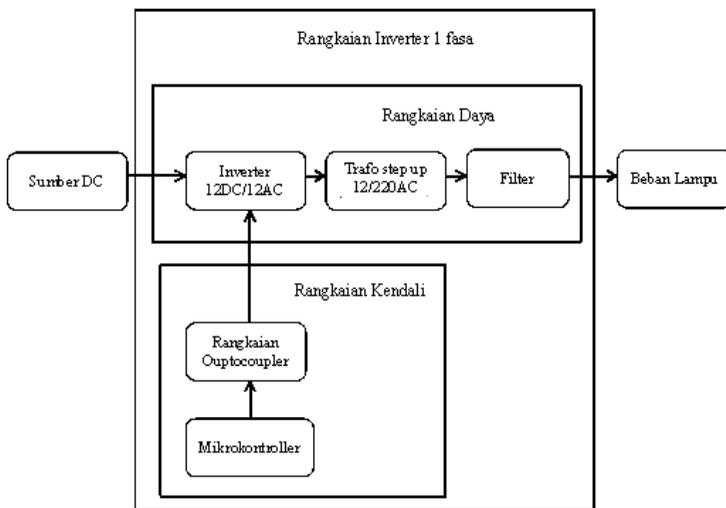
3.2.1. Studi Literature

Pada pembuatan alat eksperimen *inverter*, diawali dengan melakukan studi literatur mengenai perancangan alat eksperimen dan teori *inverter* agar didapatkan *topology* yang yang baik dan benar baik dalam *software* maupun *hardware* serta mencari literatur – literatur yang berkaitan dengan elemen-elemen yang digunakan dalam pembuatan alat sistem kontrol pengecasan, misalnya *datasheet* komponen dan karakteristik mikrokontroller. Sumber literatur didapatkan dari buku-buku pendukung, *website*, dan jurnal ilmiah sebagai media informasi penunjang tugas akhir.

3.2.2. Perancangan dan Pembuatan *Hardware* serta *Software Inverter*

Pada perancangan dan pembuatan *hardware* dan *software inverter* terdapat beberapa tahap yaitu perancangan *inverter* pada *software* PSIM, pembuatan rangkaian pembangkit sinyal SPWM, pembuatan rangkaian *inverter* dan *switching*, pembuatan rangkaian *step up* kemudian pemrograman mikrokontroler AVR untuk pengaktifan PWM.

Adapun *block flow* diagram inverter dapat dilihat pada **Gambar 3.2**.



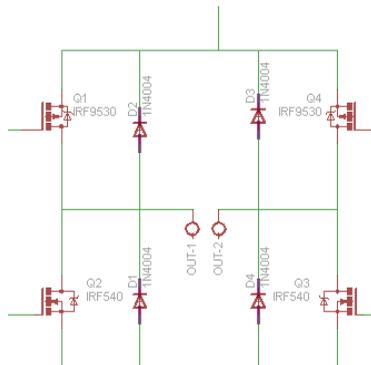
Gambar 3.2 *Block Flow Diagram* Perancangan *Inverter*

Pada **Gambar 3.2** dapat dilihat pada blok diagram diatas dijelaskan bahwa sumber yang digunakan untuk membuat inverter *full bridge* 1 fasa adalah baterai, aki atau *power supply* sebesar 10V-15V DC. Pada tegangan tersebut akan diubah menjadi tegangan AC. Pada proses pengubahan tegangan DC menjadi tegangan AC menggunakan rangkaian *switching* yaitu menggunakan 4 mosfet agar diperoleh gelombang SPWM yang berbalik dari *switching* 4 mosfet tersebut. Pada proses *switching*

mosfet akan di *driver* oleh IC optocoupler yaitu dengan tipe 4N35. Pada rangkaian optocoupler akan menggerakkan mosfet yang telah diperintahkan oleh *mikrokontroller* ATMEGA16. Pada *mikrokontroller* ATMRGA16 memberikan sinyal kepada rangkaian optocoupler yang kemudian diteruskan ke mosfet, dimana 4 mosfet tersebut memiliki nilai sinyal yang berbeda, yang dimana 2 mosfet akan bernilai 1 dan 2 mosfet akan bernilai 0, sehingga akan didapatkan sinyal SPWM yang bolak-balik yang akan menghasilkan tegangan AC. Dari keluaran *inverter* ini berupa tegangan AC yang kemudian akan masuk dalam trafo *step up*. Trafo *step up* ini berfungsi untuk menaikkan tegangan dari 12V AC menjadi 220V AC. Setelah tegangan keluaran trafo lebih dari *input* maka inverter akan di uji coba dengan menyalakan lampu.

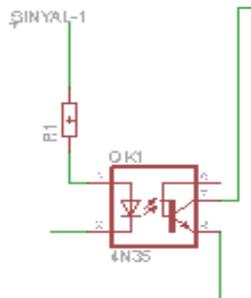
a. Perancangan dan Pembuatan Alat (*Hardware*)

Pada perancangan sistem hadware ini mengintegrasikan *topology inverter* yang telah dibuat yang kemudian dibuat skematik rangkaian dalam *software eagle* yang akan dibuat skematik *board* dan dicetak dalam bentuk PCB. Setelah itu komponen di integrasikan dalam PCB tersebut dan disolder. Pada *hardware* ini terdapat beberapa bagian dalam pembuatan *inverter* yaitu rangkaian *driver switching*, rangkaian *inverter* atau *switching*, rangkaian trafo *step up* dan rangkaian *filter*.



Gambar 3.3 Rangkaian *Inverter Full Bridge* 1 fasa

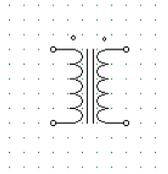
Pada perancangan pembuatan *hardware inverter* ini tahap pertama yaitu *inverter*. *Inverter* yang digunakan yaitu *inverter fullbridge*. Prinsip kerja *fullbridge* adalah ketika terdapat sumber tegangan yang berupa tegangan DC yang akan diubah menjadi tegangan AC, maka terdapat 4 sakelar yang akan digunakan yaitu S1, S2, S3 dan S4. Pada mulanya sakelar S1 dan S4 akan menutup bersamaan, maka akan timbul tegangan pada beban, dimana arus listrik akan mengalir dari sumber ke S1, beban, S4 lalu ke sumber lagi. Kemudian S1 dan S4 akan dibuka sedangkan S2 dan S3 akan ditutup, sehingga muncul beda tegangan antara beban dengan demikian arus akan mengalir dari sumber ke S3, beban, S2 lalu ke sumber lagi. Jika dilakukan terus menerus akan mengakibatkan tegangan AC. Pada **Gambar 3.3** menjelaskan bahwa rangkaian tersebut mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC dengan frekuensi 50 Hz. mosfet yang digunakan yaitu tipe IRF540 dan IRF9530 karena kemampuan Vds kedua mosfet ketika digabungkan memiliki batas nilai maksimal 20 Vds dan Id 20 A yang dapat di lihat pada **LAMPIRAN A** dan **LAMPIRAN B**.



Gambar 3.4 Rangkaian Optocoupler

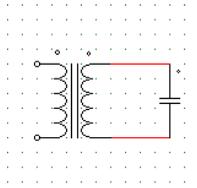
Pada **Gambar 3.4** merupakan rangkaian optocoupler 4N35 yang akan *switching* 4 mosfet yang dibuat yang menghasilkan sinyal *high* dan *low* dari program yang dibuat. Berdasarkan *datasheet* pada **LAMPIRAN C** terkait rangkaian optocoupler 4N35 akan menghasilkan sinyal PWM untuk mosfet

dari *mikrokontroller* yang digunakan. Pada *mikrokontroller* pada sistem yang digunakan adalah berupa ATMEGA16. Berdasarkan *datasheet* **LAMPIRAN D** terkait pin ATMEGA16, pada sistem ini untuk menghasilkan sinyal *high* dan *low* menggunakan pin PD4 dan PD5 karena pada pengaturan SPWM untuk mengatur sinyal *high* dan *low* menggunakan OC1A dan OC1B yang dapat dilihat pada **LAMPIRAN D** untuk konfigurasi pin ATMEGA16.



Gambar 3.5 Skema Transformator

Pada **Gambar 3.5** merupakan skema rangkaian trafo CT *step up* yang akan digunakan pada sistem *inverter* ini, dengan menggunakan trafo ini diharapkan tegangan keluaran lebih besar dari tegangan masukan.

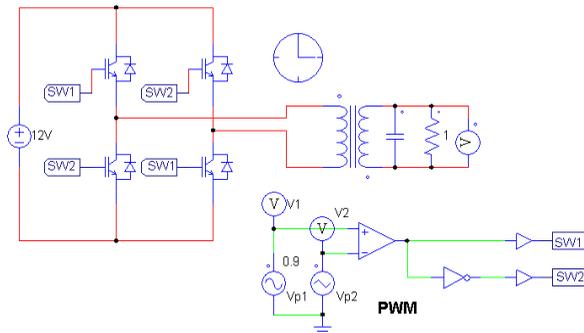


Gambar 3.6 Skema Rangkaian *filter* dengan Menggunakan Kapasitor

Pada **Gambar 3.6** merupakan skema rangkaian *filter* yang digunakan. Pada rangkaian *filter* ini hanya menggunakan kapasitor saja, dikarenakan trafo yang sebagai penaik tegangan juga berfungsi sebagai induktor untuk *filter*, sehingga tidak diperlukan lagi induktor dalam rangkaian *filter*.

b. Perancangan dan Pembuatan Alat (*Software*)

Perancangan *software* pada inverter ini terdiri dari 3 macam yaitu Perancangan *software* PSIM, perancangan *software eagle* dan Perancangan *software AVR*. Pada perancangan *software* PSIM bertujuan untuk mensimulaikan rangkaian inverter agar lebih mudah dalam pembuatan *hardware* tersebut. Pada simulasi PSIM yang telah dibuat yaitu dengan konsep rangkaian *inverter* ini diubah dari DC menjadi AC lalu tegangan yang dihasilkan di *step up* dengan menggunakan trafo. Trafo yang digunakan berupa trafo CT *step up* 12V to 220V. dari simulasi tersebut didapatkan rangkaian *inverter* yang bisa dilihat pada **Gambar 3.7**.

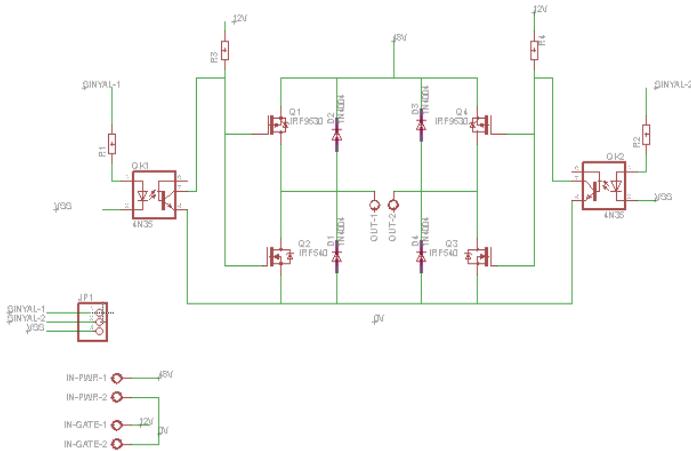


Gambar 3.7 Rangkaian *Inverter* pada *Software* PSIM

Pada **Gambar 3.7** dijelaskan bahwa pada pembuatan *inverter* ini menggunakan 4 mosfet untuk proses *switching* yang menghasilkan tegangan AC. Dimana untuk mengatur kontrol PWM dapat dilihat gambar diatas untuk mendapatkan sinyal PWM, kemudian tegangan keluaran dari proses *switching* tersebut akan di *step up* dengan menggunakan trafo akan tegangan keluaran *switching* lebih besar dari tegangan masukan.

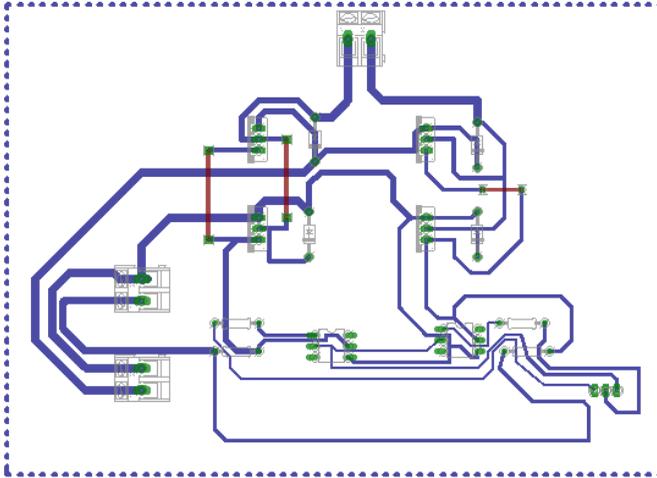
Perancangan *software* yang kedua yaitu perancangan dengan menggunakan *software eagle*. Pada perancangan ini mendesain PCB yang akan digunakan untuk *hardware* tersebut. Perancangan ini didapatkan dari topologi yang sudah benar yang kemudian di lanjutkan desain PCB agar pengerjaan hardware bisa langsung

dikerjakan. Pada *software eagle* ini terdiri dari 2 macam yaitu dari skematik rangkaian dan *board* dari PCB tersebut. Adapun rangkaian skematik yang digunakan dalam *software eagle* ini bisa dilihat pada **Gambar 3.8** dan gambar *board* PCB bisa dilihat pada **Gambar 3.9**.



Gambar 3.8 Rangkaian Skema *Inverter* pada *Software Eagle*

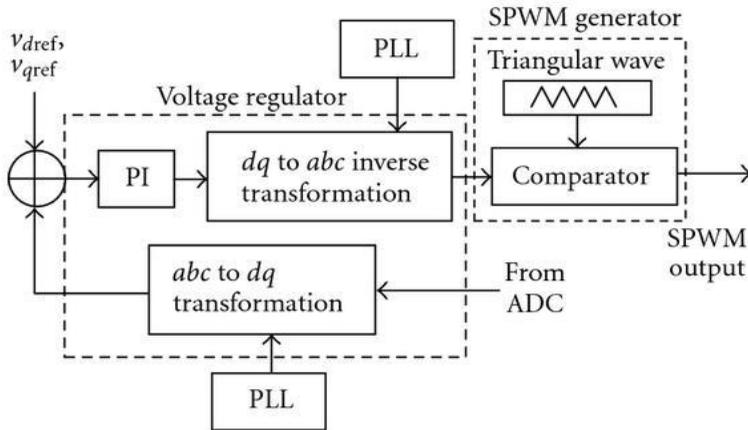
Gambar 3.8 merupakan skema rangkaian *inverter* menggunakan *software eagle*. Pada skema rangkaian ini lebih spesifik dari pada menggunakan *software PSIM*, dimana terdapat rangkaian kontrol yaitu berupa rangkaian optocoupler serta terdapat dioda yang akan membalikkan arus balik yang akan melewati mosfet, sehingga tidak ada konslet dan lebih aman. Dalam skema rangkaian ini pula akan dibuat *hardware* untuk pembuatan *inverter*.



Gambar 3.9 Rangkaian Skema *Board Inverter* pada *Software Eagle*

Pada **Gambar 3.9** adalah *board* pada skema rangkaian pada **Gambar 3.8** yang akan di print PCB, sehingga dapat dibuat *hardware inverter*.

Perancangan *software* yang ketiga yaitu pendukung dari *hardware* agar *hardware* bisa dijalankan dengan baik yaitu berupa pemrograman *microkontroller* ATMEGA16. Pemrograman ini digunakan untuk membangkitkan sinyal SPWM. Adapun blok diagram dari teknik SPWM yaitu sebagai berikut :



Gambar 3.10 Blok Diagram Teknik SPWM

Gambar 3.10 merupakan blok diagram teknik SPWM yang digunakan, dimana sinyal SPWM merupakan hasil perbandingan antara sinyal referensi dengan sinyal pembawa yang berupa segitiga. Dalam implementasinya, sinyal referensi ini berupa sine lookup table yang berisi sekumpulan pola sinus yang akan menjadi duty cycle dalam sebuah PWM yang dikontrol oleh *microkontroller* ATMEGA16. Pada *microkontroller* ATMEGA16 diprogram dalam *software* AVR. Setelah proses pemrograman akan diintegrasikan dengan hardware supaya dapat dilihat sinyal keluaran SPWM yang telah diprogram. Pada *software* AVR dapat dilakukan pembangkitan sinyal SPWM yang diatur dalam konfigurasi pulsa. Terdapat dua tipe SPWM yang diatur agar didapatkan gelombang bolak-balik sehingga menghasilkan tegangan AC. Pemrograman sinyal bisa di lihat pada **LAMPIRAN E**.

3.2.3. Integrasi Hardware dan Software Pemrograman

Ketika pemrograman pada *software* AVR sudah selesai maka dilakukan pengintegrasian pada mikrokontroller ATMEGA16 dengan *hardware inverter*. Sebelum dilakukan

upload program, program dibuat terlebih dahulu sesuai dengan kebutuhan. Program yang akan digunakan yaitu mengatur SPWM pada sistem tersebut. Apabila sudah dilakukan pemrograman maka akan diupload mikrokontroller ATMEGA16 agar bisa diintegrasikan dengan *hardware inverter*. Setelah *upload* program sudah selesai dan berhasil, maka output SPWM dapat dilihat dengan cara mengukur tegangan masukkan *transistor* dan melihat sinyal gelombang SPWM pada osiloskop. Pada osiloskop dapat dilihat sinyal keluaran gelombang SPWM yang juga dapat dilihat *duty cycle* yang telah diatur pada program tersebut.

3.2.4. Pengujian Inverter

Pengujian dilakukan setelah selesainya proses desain PCB dengan menggunakan *software eagle* dan sudah melalui proses penyolderan komponen pada PCB. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sistem *inverter* ini sudah berjalan sesuai atau belum yang sudah telah diintegrasikan dengan program yang telah dibuat di *software AVR* yang sudah di *upload* dalam mikrokontroller ATMEGA16 dan keluaran sinyal SPWM dimasukkan dalam *driver* mosfet yang akan memberikan fungsi pada mosfet dalam *hardware* tersebut. Pengujian ini dilakukan ke seluruh IC yang terdapat pada modul PCB *inverter*. Sebelum melakukan pengujian, semua komponen harus dipastikan terlebih dahulu apakah komponen sudah terhubung dengan benar pada kaki-kaki komponen sesuai dengan datasheet, memastikan seluruh komponen sudah terhubung dengan baik. Jika masih belum sesuai dengan tujuan, maka proses pemrograman dan integrasi antara *software* dan *hardware* perlu diulang kembali.

3.2.5. Pengambilan Data Inverter

Pengambilan data dilakukan setelah pengujian selesai dilakukan. Setelah dipastikan alat sudah tidak ada *troubleshoot* maka langsung dilakukan pengambilan data. Data yang diambil yaitu yaitu frekuensi dari inverter, sinyal masukan transistor serta data keluaran *inverter* yaitu berupa gelombang sinyal akhir inverter, gelombang sinyal akhir *inverter* dengan menggunakan

beban, tegangan akhir *inverter* tanpa beban serta tegangan dengan menggunakan beban 5 Watt dan 10 Watt.

3.2.6. Analisis Data dan Penarikan kesimpulan

Pada tahap ini yaitu analisis data dan penarikan kesimpulan. Pada analisa data ini diperoleh data yang sesuai dengan data yang dihasilkan dari pembuatan alat *inverter* ini. Setelah analisa data didapatkan maka dilakukan penarikan kesimpulan dari pembuatan *inverter* yang didapat dari hasil data tersebut.

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

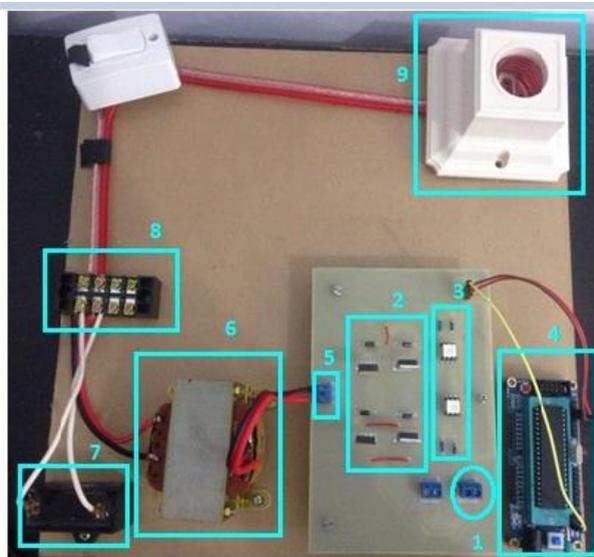
Pada ini membahas tentang analisa data dan pembahasan tentang sistem secara keseluruhan yang telah dirancang. Analisa data dan pembahasan ini dilakukan dengan diperolehnya data pengukuran pada alat sehingga diperoleh data secara *real* untuk ditulis di dalam laporan tugas akhir. Serta diperoleh nya data tersebut untuk mengetahui keberhasilan dalam pembuatan alat, maka perlu untuk dilakukan pengujian terhadap alat yang telah dibuat.

4.1. Hasil Pengujian dan Pengambilan Data *Inverter*

Di bawah ini adalah hasil dari pengujian dan pengambilan data dari modul pembelajaran *inverter*. Data yang diambil dibagi menjadi 3 bagian, yaitu pengujian frekuensi dari *inverter*, sinyal masukan transistor serta pengujian inverter yaitu berupa gelombang sinyal akhir *inverter*, gelombang sinyal akhir *inverter* dengan menggunakan beban, pengujian tegangan akhir *inverter* tanpa beban serta pengujian tegangan dengan menggunakan beban 5 Watt dan 10 Watt.

4.1.1. Hasil Rancang Bangun

Berikut pada **Gambar 4.1** merupakan gambar sistem dari *inverter*. Rancang bangun inverter ini dirangkai untuk menerima *input* dari baterai/aki sebesar 10-15V DC.



Gambar 4.1 *Hardware Inverter*

Keterangan gambar :

1. *Input*
2. Rangkaian *inverter full bridge*
3. Rangkaian pembangkit sinyal PWM
4. Mikrokontroler
5. *Output* rangkaian *inverter*
6. Trafo *step up*
7. *Filter*
8. *Output* sistem *inverter*
9. Beban lampu

Pada **Gambar 3.7** pada bab 3 didapatkan rangkaian *Inverter* pada *software* PSIM yang kemudian dibuatlah *hardware inverter* pada **Gambar 4.1** diatas. Dari gambar simulasi tersebut sesuai dengan *hardware* yang telah dibuat, dimana masukan dari *inverter* berupa tegangan 10V-15V DC yang kemudian diubah menjadi tegangan AC dengan sinyal SPWM yang dikontrol oleh sinyal generator pada simulasi tersebut dan pada *hardware*

dikontrol oleh mikrokontroler melalui rangkaian optocoupler untuk men-*driver* mosfet tersebut, setelah itu dilakukan *step up* dengan menggunakan trafo 12 to 220 AC yang kemudian diberikan rangkaian *filter* berupa kapasitor. Namun hasil dari *hardware* yang telah dibuat tegangannya tidak sampai 220V AC. Hal ini disebabkan sinyal yang dibuat berupa SPWM yang menghasilkan gelombang *sinusoidal* pada keluaran akhir pada sistem *inverter* ini. Pada *hardware* yang telah dibuat sesuai dengan simulasi yang ada pada **Gambar 3.7** tidak mengurangi yang ada di simulasi, namun ditambahkan rangkaian optocoupler sebagai rangkaian sinyal yang meneruskan dari mikrokontroler. Pada **Gambar 4.1** merupakan keseluruhan dari sistem *inverter* dengan menggunakan *input* 10-15V DC.

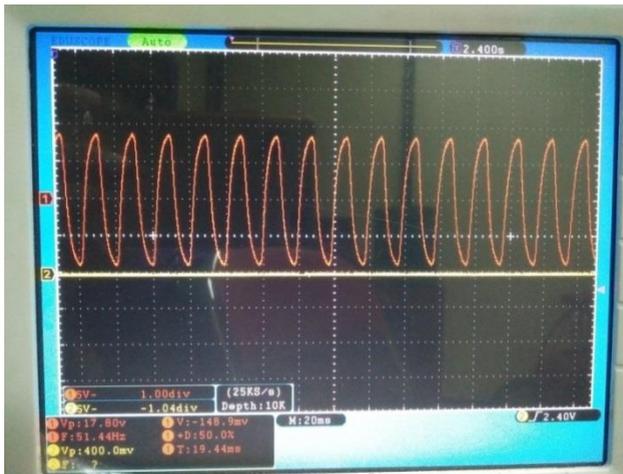
4.1.2. Pengujian Frekuensi

Pengujian frekuensi *inverter* bertujuan untuk mengetahui nilai dari frekuensi *inverter* serta membandingkan nilai frekuensi tersebut. Pengujian tersebut dilakukan melalui proses perbandingan antara tampilan osiloskop dengan menggunakan rumus. Adapun pengujian frekuensi ini dengan membandingkan nilai frekuensi yang keluar dari tampilan osiloskop dengan rumus yang telah ada yaitu dengan menggunakan gambar panjang gelombang atau periode yang tampil pada osiloskop tersebut. Pada **Gambar 4.2** merupakan gambar gelombang *inverter* yang memiliki nilai frekuensi 51.44 Hz.

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Frekuensi (Hz)

No	Set Point (Hz)	Hasil pengukuran (Hz)					Rata-rata Akurasi (%)	Rata-rata Error	Rata-rata Standar Deviasi
1	51.30	51.30	51.30	51.30	51.30	51.30	100%	0	0
2	51.37	51.37	51.37	51.37	51.37	51.37	100%	0	0
3	51.44	51.44	51.44	51.44	51.44	51.44	100%	0	0
4	54.87	54.87	54.87	54.87	54.87	54.87	100%	0	0
5	64.10	64.10	64.10	64.10	64.10	64.10	100%	0	0

Pada **Tabel 4.1** menunjukkan kestabilan frekuensi yang telah dilihat pada osiloskop. Pada pengujian pengukuran frekuensi ini dapat dikatakan stabil dari tabel **Tabel 4.1** dimana keseluruhan nilai presisi, tanpa error, 100% akurat. Hal ini juga dikarenakan osiloskop yang digunakan masih bagus dan tidak terdapat error.

**Gambar 4.2** Frekuensi Gelombang Inverter

Pada **Gambar 4.2** dapat dilihat frekuensi yang dihasilkan oleh *inverter* ini sebesar 51.44 Hz. Ketika melalui perhitungan frekuensi melalui rumus yang ada pada bab 2 yaitu **rumus 2.1**, maka frekuensi dari gambar tersebut serta rumus dapat dibandingkan.

Perhitungan frekuensi dengan menggunakan **rumus 2.1**:

Diketahui nilai $T = 19,44ms$

$$f = \frac{1}{T}$$

$$f = \frac{1}{19,44ms}$$

$$f = 0,05144033 \text{ mHz}$$

$$f = 51,44033 \text{ Hz}$$

Dari perhitungan manual berdasarkan **rumus 2.1** dengan tampilan osiloskop dapat disimpulkan bahwa perbandingan perhitungan osiloskop dengan manual selisih 0,00033 sehingga dapat disimpulkan bahwa perhitungan frekuensi pada osiloskop sesuai dengan perhitungan rumus yang ada dengan nilai akhir yang bisa dibaca oleh osiloskop bernilai dua angka dibelakang koma.

Dari frekuensi yang telah diatur sesuai dengan frekuensi tegangan AC pada umumnya yaitu bernilai 50 Hz atau 60 Hz. Hasil frekuensi yang diatur sebesar 51.44 Hz yang berada diantara 50 Hz atau 60 Hz.

4.1.3. Pengujian Sinyal Masukan *Transistor*

Pada pengujian pada rangkaian ini, eksperimen yang dilakukan adalah pengujian *on-off* transistor. Eksperimen ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana perilaku masukan dari transistor dalam proses *switching*. Masukan transistor adalah berupa sinyal PWM yang tidak simultan, saling berlawanan fasa 180 derajat. Sehingga dapat memberikan *trigger* nyala dan mati pada transistor secara bergantian. Dibawah ini adalah keterangan dan gambar masukan rangkaian transistor dari *driver* PWM serta keluaran dari rangkaian transistor.

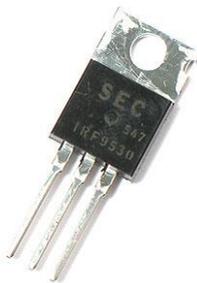


Gambar 4.3 Sinyal Masukan Rangkaian *Transistor*

Pada **Gambar 4.3** merupakan sinyal masukan dari transistor. Pada transistor dilakukan pengujian sinyal masukan dari transistor untuk mengetahui bagaimana perilaku masukan dari transistor dalam proses *switching* pada mosfet. Pada gambar tersebut dapat dilihat dua sinyal yang yang tidak stimulan yang gelombang yang dihasilkan saling tolak belakang. Dengan ini dapat disimpulkan bahwa pada pengujian transistor ini gelombang sinyal masukan berjalan dengan baik dengan berlawanan fasa 180 derajat. Adapun **Gambar 4.4** dan **Gambar 4.5** merupakan tipe transistor yang digunakan untuk proses *switching*.



Gambar 4.4 Mosfet IRF540 dengan tipe N-Channel



Gambar 4.5 Mosfet IRF9530 dengan tipe P-Channel

Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa menggunakan dua buah mosfet yaitu tipe N IRF540 dengan diberikan sinyal *low* dan tipe P IRF9530 diberikan dengan sinyal *high*. Dua mosfet akan bekerja dengan saling berhubungan yang akan menghasilkan sinyal PWM yang ada pada **Gambar 4.3**. Pada pemilihan mosfet ini dipilih dengan 2 tipe yaitu tipe N yaitu pada **Gambar 4.4** dan tipe P yaitu pada **Gambar 4.5**.

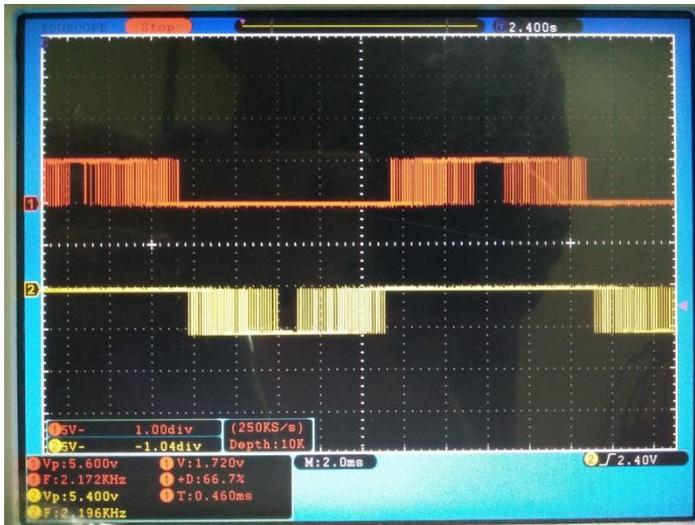
4.1.4. Pengujian Sinyal SPWM

Pengujian sinyal SPWM dilakukan agar saat sinyal digunakan untuk men-trigger MOSFET tidak terjadi kesalahan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan osiloskop digital. Sinyal yang diamati adalah sinyal SPWM output mikrokontroler, sinyal output driver, dan sinyal hasil inverting.

Sinyal SPWM dihasilkan oleh ATMEGA16 sebagai mikrokontroler. Frekuensi sinyal SPWM yang digunakan adalah sebesar 3.9 kHz diambil dari prescaler yang ada pada ATMEGA16. Frekuensi untuk *output inverter* juga dapat diatur di dalam kode ATMEGA16.

Proses pembangkitan SPWM secara digital dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu:

1. Dengan membangkitkan gelombang segitiga dan gelombang sinus secara diskret dengan metode look up table. Kemudian dilakukan perbandingan untuk masing-masing nilai amplitudo gelombang sinus dan segitiga seperti pada gambar 1. Cara ini sama halnya dengan membangkitkan gelombang sinus analog dan gelombang segitiga analog secara digital.
2. Dengan mencari terlebih dahulu waktu untuk setiap pulsa masing-masing sinyal penggerak, untuk dijadikan data dalam proses pembangkitan sinyal penggerak secara look up table.



Gambar 4.6 Hasil Sinyal SPWM

SPWM dibentuk dari hasil perbandingan antara sinyal referensi dengan sinyal pembawa yang berupa segitiga. Dalam implementasinya, sinyal referensi ini berupa sine lookup table yang berisi sekumpulan pola sinus yang akan menjadi duty cycle dalam sebuah PWM. Umumnya, PWM adalah pulsa-pulsa dengan duty cycle tertentu yang tetap. Dengan cara memodifikasi duty cycle menyerupai pola sinus maka akan diperoleh SPWM. Perubahan besar duty cycle dilakukan dengan mode interrupt. Perubahan data dilakukan dengan cara pengambilan data dari sine lookup table. Pada penelitian ini hanya digunakan 2 modul karena sinyal yang dibangkitkan berjumlah empat, yaitu sinyal S1, S2, S3, dan S4. Empat buah sinyal tersebut dapat dihasilkan dari sebuah pola SPWM. Fokus utama pembentukan SPWM hanyalah dua buah sinyal yang berbeda fase 180 derajat. Sinyal sinus yang dibangkitkan dengan alamat awal nol akan menghasilkan sinyal seperti ditunjukkan pada **Gambar 4.6**, Dengan demikian, secara digital proses pergeseran fase sebesar 180 derajat dapat diperoleh dengan mengatur nilai awal pencacah sebesar nol dan sebesar setengah dari jumlah data yang tersedia

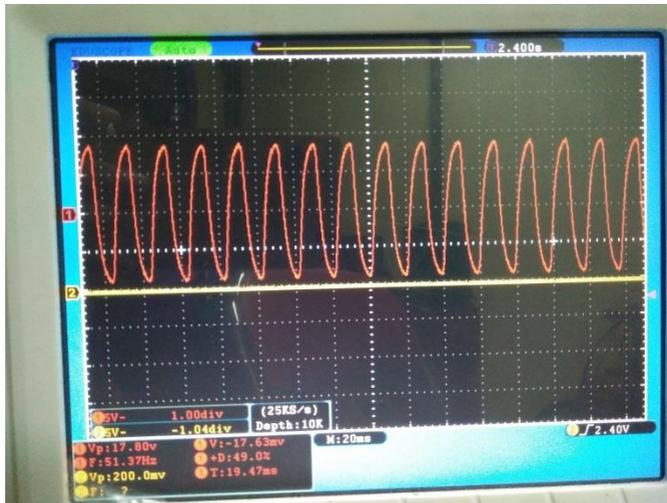
dalam tabel sinus. Proses pembentukan kedua buah sinyal lainnya adalah dengan mengaktifkan mode complementary dalam ATMEGA16. Dengan mode tersebut secara otomatis akan dihasilkan keluaran PWM yang saling berkomplemen dan dapat disisipkannya nilai dead time pada sinyal dengan mode complementary. Dead time adalah jeda waktu antara kedua buah sinyal yang berkomplemen untuk mencegah kedua buah saklar nyala secara bersamaan. Kondisi nyala berbarengan ini dimungkinkan terjadi karena saklar semikonduktor MOSFET bukanlah saklar yang ideal.

4.1.5. Pengujian Keluaran *Inverter*

Pada pengujian pada rangkaian ini, percobaan yang dilakukan adalah pengujian gelombang keluaran akhir *inverter* pengujian tegangan keluaran *inverter*, dan pengujian *inverter* menggunakan beban.

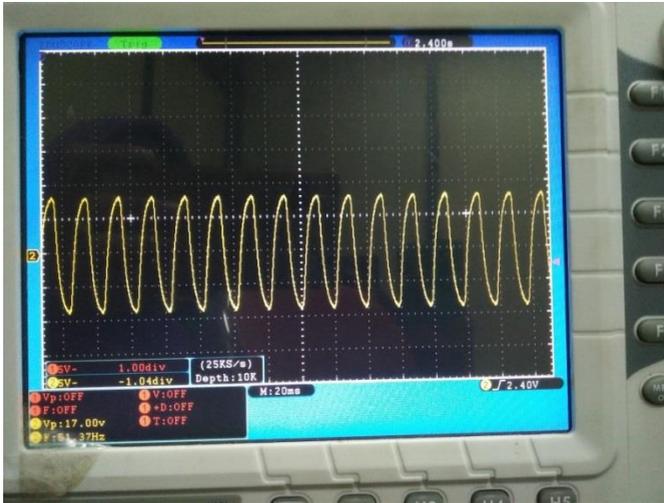
4.1.5.1. Pengujian Gelombang Keluaran Akhir dari *Inverter*

Dilakukan pengujian gelombang keluaran akhir *inverter* ini yaitu untuk mengetahui gelombang akhir yang dihasilkan oleh *inverter*, apakah gelombang yang dihasilkan berupa gelombang sinusoidal. Pada pengujian gelombang akhir *inverter* dilakukan pengambilan tiga gambar pengambilan yaitu pengambilan gelombang *inverter* akhir tanpa diberikan beban apapun, pengambilan gelombang *inverter* akhir dengan menggunakan beban 5 Watt dan pengambilan gelombang *inverter* akhir dengan menggunakan beban 10 Watt.



Gambar 4.7 Gelombang akhir *inverter* tanpa beban

Gambar 4.7 merupakan gelombang akhir *inverter* tanpa beban, gelombang yang dihasilkan yaitu sinusoidal dengan besar duty cycle 49.0%, frekuensi 51.37 Hz, dengan periode 19.47 ms dan tegangan peak to peak sebesar 17.80V AC dimana tegangan peak to peak tegangan dari batas bawah hingga batas atas, sehingga tegangan keluaran nya sebesar 8,9V AC dengan diperkecil 10X sehingga tegangan total keluaran inverter sebesar 89V AC.



Gambar 4.8 Gelombang *inverter* akhir dengan menggunakan beban 5 Watt

Gambar 4.8 merupakan Gelombang akhir *inverter* dengan diberikan beban sebesar 5 Watt gelombang yang dihasilkan yaitu sama sinusoidal dengan frekuensi 51.37 Hz, tegangan peak to peak sebesar 17.00V AC dimana tegangan peak to peak tegangan dari batas bawah hingga batas atas, sehingga tegangan keluaran nya sebesar 8,5V AC dengan diperkecil 10X sehingga tegangan total keluaran inverter sebesar 85V AC.



Gambar 4.9 Gelombang *inverter* akhir dengan menggunakan beban 10 Watt

Gambar 4.9 merupakan Gelombang akhir *inverter* dengan diberikan beban sebesar 10 Watt gelombang yang dihasilkan yaitu sama sinusoidal dengan besar duty cycle 50.0%, frekuensi 51.37 Hz, dengan periode 15.60 ms dan tegangan peak to peak sebesar 14.40V AC dimana tegangan peak to peak tegangan dari batas bawah hingga batas atas, sehingga tegangan keluaran nya sebesar 7.2V AC dengan diperkecil 10X sehingga tegangan total keluaran inverter sebesar 72V AC.

4.1.5.2. Pengujian Tegangan Keluaran *Inverter*

Pada pengujian tegangan keluaran inverter ini, yang diuji adalah tegangan keluaran yang dihasilkan oleh inverter ini sebelum diberikan beban. Tegangan yang diharapkan adalah sebesar 220V AC. Trafo step up 12/220 VAC adalah trafo yang digunakan untuk menaikkan tegangan dari 12V AC menjadi tegangan 220V AC. Tegangan ini merupakan tegangan keluaran dari inverter yang menggunakan sinyal SPWM sehingga tegangan keluaran yang dihasilkan dapat lihat pada **rumus 2.2**. Pada

pengujian ini, pengukuran dilakukan pada keluaran dari trafo *step up*. Proses kerja trafo yaitu ketika kumparan primer pada trafo dihubungkan dengan tegangan bolak-balik, besar dan arah medan magnet yang ditimbulkan oleh kumparan primer tersebut akan selalu berubah. Kumparan sekunder berada di dekat kumparan primer sehingga perubahan medan magnet yang menembusnya menyebabkan terjadinya GGL induksi pada kumparan sekunder. besar atau kecilnya tegangan yang dihasilkan kumparan sekunder maupun primer tergantung oleh jumlah lilitannya. Apabila jumlah lilitan kumparan sekunder lebih banyak dari jumlah lilitan primer maka transformer akan menaikkan tegangan. Transformer ini disebut transformer penaik tegangan (trafo *step up*). Pengujian ini ditujukan untuk mengetahui bagaimana kinerja trafo dalam proses *step up*.

Adapun prosedur pengujiannya adalah sebagai berikut.

- a. Menentukan set point pengukuran untuk keluaran trafo, yaitu 220VAC dengan efisiensi trafo 70% dengan mode SPWM dengan menghitung tegangan rms dengan **rumus 2.2** yaitu

$$V_{rms} = \frac{V_{[p-p]}}{2\sqrt{2}}.$$

- b. Melakukan pengukuran tegangan dengan menggunakan multimeter pada keluaran trafo serta pengukuran diosiloskop
- c. Pengukuran tegangan dilakukan 10 kali dalam rentang waktu 20 detik.
- d. *Output* akhir *inverter* sudah dikurangi dengan besar tegangan pada efisiensi trafo yang dilihat pada **rumus 2.8** hingga **rumus 2.10** yaitu

$$\eta = \frac{V_s}{V_p} \times \frac{I_s}{I_p} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{N_s}{N_p} \times \frac{I_s}{I_p} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{P_s}{P_p} \times 100\%$$

- e. Mencatat hasil pengukuran.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Tegangan Keluaran *Inverter* Tanpa Beban Vin 10.50V

No	Vin (Volt)	Vout (Volt)
1	10.50V DC	68.91V AC
2	10.50V DC	68.94V AC
3	10.50V DC	68.92V AC
4	10.50V DC	69.01V AC
5	10.50V DC	69.10V AC
6	10.50V DC	69.11V AC
7	10.50V DC	68.95V AC
8	10.50V DC	68.94V AC
9	10.50V DC	68.95V AC
10	10.50V DC	69.14V AC

Tabel 4.2 merupakan tabel hasil pengujian tegangan keluaran *inverter* tanpa menggunakan beban dengan input *inverter* sebesar 10.50V DC. Hasil pengukuran tegangan keluaran *inverter* tanpa beban didapatkan nilai rata-rata 69.10V AC.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Tegangan Keluaran *Inverter* Tanpa Beban Vin 11.00V

No	Vin (Volt)	Vout (Volt)
1	11.00V DC	77.65V AC
2	11.00V DC	77.69V AC
3	11.00V DC	78.16V AC
4	11.00V DC	77.70V AC
5	11.00V DC	78.12V AC
6	11.00V DC	77.65V AC
7	11.00V DC	77.64V AC
8	11.00V DC	77.59V AC
9	11.00V DC	77.60V AC
10	11.00V DC	78.11V AC

Tabel 4.3 merupakan tabel hasil pengujian tegangan keluaran *inverter* tanpa menggunakan beban dengan input *inverter* sebesar 11.00V DC. Hasil pengukuran tegangan keluaran inverter tanpa beban didapatkan nilai rata-rata 77.55V AC.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Tegangan Keluaran *Inverter* Tanpa Beban Vin 11.50V

No	Vin (Volt)	Vout (Volt)
1	11.50V DC	88.47V AC
2	11.50V DC	88.56V AC
3	11.50V DC	88.58V AC
4	11.50V DC	89.04V AC
5	11.50V DC	89.05V AC
6	11.50V DC	88.55V AC
7	11.50V DC	89.02V AC
8	11.50V DC	88.58V AC
9	11.50V DC	89.01V AC
10	11.50V DC	88.51V AC

Tabel 4.4 merupakan tabel hasil pengujian tegangan keluaran *inverter* tanpa menggunakan beban dengan input *inverter* sebesar 11.50V DC. Hasil pengukuran tegangan keluaran inverter tanpa beban didapatkan nilai rata-rata 88.57V AC.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Tegangan Keluaran *Inverter* Tanpa Beban Vin 12.00V

No	Vin (Volt)	Vout (Volt)
1	12.00V DC	99.79V AC
2	12.00V DC	99.78V AC
3	12.00V DC	99.76V AC
4	12.00V DC	99.78V AC
5	12.00V DC	99.76V AC
6	12.00V DC	99.77V AC
7	12.00V DC	99.76V AC

Tabel 4.5 Lanjutan

8	12.00V DC	99.79V AC
9	12.00V DC	99.80V AC
10	12.00V DC	99.81V AC

Tabel 4.5 merupakan tabel hasil pengujian tegangan keluaran *inverter* tanpa menggunakan beban dengan input *inverter* sebesar 12.00V DC. Hasil pengukuran tegangan keluaran inverter tanpa beban didapatkan nilai rata-rata 99.82V AC.

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Tegangan Keluaran *Inverter* Tanpa Beban V_{in} 12.50V

No	V_{in} (Volt)	V_{out} (Volt)
1	12.50V DC	108.19V AC
2	12.50V DC	107.87V AC
3	12.50V DC	107.87V AC
4	12.50V DC	108.19V AC
5	12.50V DC	108.18V AC
6	12.50V DC	108.18V AC
7	12.50V DC	108.19V AC
8	12.50V DC	108.20V AC
9	12.50V DC	107.98V AC
10	12.50V DC	107.88V AC

Tabel 4.6 merupakan tabel hasil pengujian tegangan keluaran *inverter* tanpa menggunakan beban dengan input *inverter* sebesar 12.50V DC. Hasil pengukuran tegangan keluaran inverter tanpa beban didapatkan nilai rata-rata 108.01 AC.

4.1.5.3. Pengujian Inverter Menggunakan Beban

Alat yang sudah berhasil dilakukan pengujian dan berhasil mengeluarkan gelombang sinusoidal, tahap selanjutnya adalah pengambilan data dengan pengujian beban. Beban yang dipakai sebuah lampu bohlam sebesar 5 Watt dan 10 Watt.

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Tegangan Keluaran *Inverter* dengan Beban 5 Watt dan V_{in} 10.50V

No	V_{in} (Volt)	V_{out} (Volt)
1	10.50V DC	65.12V AC
2	10.50V DC	65.12V AC
3	10.50V DC	65.14V AC
4	10.50V DC	65.13V AC
5	10.50V DC	65.13V AC
6	10.50V DC	65.14V AC
7	10.50V DC	65.12V AC
8	10.50V DC	65.12V AC
9	10.50V DC	65.16V AC
10	10.50V DC	65.14V AC

Tabel 4.7 merupakan tabel hasil pengujian tegangan keluaran *inverter* menggunakan beban 5 Watt dengan input *inverter* sebesar 10.50V DC. Hasil pengukuran tegangan keluaran *inverter* didapatkan nilai rata-rata 65.12V AC.

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Tegangan Keluaran *Inverter* dengan Beban 5 Watt dan V_{in} 11.00V

No	V_{in} (Volt)	V_{out} (Volt)
1	11.00V DC	69.81V AC
2	11.00V DC	69.81V AC
3	11.00V DC	69.82V AC
4	11.00V DC	69.80V AC
5	11.00V DC	69.81V AC
6	11.00V DC	68.99V AC
7	11.00V DC	68.75V AC
8	11.00V DC	69.81V AC
9	11.00V DC	69.84V AC
10	11.00V DC	69.82V AC

Tabel 4.8 merupakan tabel hasil pengujian tegangan keluaran *inverter* menggunakan beban 5 Watt dengan input *inverter* sebesar 11.00V DC. Hasil pengukuran tegangan keluaran inverter didapatkan nilai rata-rata 69.82V AC.

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Tegangan Keluaran *Inverter* dengan Beban 5 Watt dan V_{in} 11.50V

No	V_{in} (Volt)	V_{out} (Volt)
1	11.50V DC	74.00V AC
2	11.50V DC	74.01V AC
3	11.50V DC	74.01V AC
4	11.50V DC	74.02V AC
5	11.50V DC	74.00V AC
6	11.50V DC	73.98V AC
7	11.50V DC	73.99V AC
8	11.50V DC	73.98V AC
9	11.50V DC	73.97V AC
10	11.50V DC	73.96V AC

Tabel 4.9 merupakan tabel hasil pengujian tegangan keluaran *inverter* menggunakan beban 5 Watt dengan input *inverter* sebesar 11.50V DC. Hasil pengukuran tegangan keluaran inverter didapatkan nilai rata-rata 74.00V AC.

Tabel 4.10 Hasil Pengujian Tegangan Keluaran *Inverter* dengan Beban 5 Watt dan V_{in} 12.00V

No	V_{in} (Volt)	V_{out} (Volt)
1	12.00V DC	79.95V AC
2	12.00V DC	79.95V AC
3	12.00V DC	79.96V AC
4	12.00V DC	79.95V AC
5	12.00V DC	79.97V AC
6	12.00V DC	79.97V AC
7	12.00V DC	79.98V AC

Tabel 4.10 Lanjutan

8	12.00V DC	79.95V AC
9	12.00V DC	79.96V AC
10	12.00V DC	79.94V AC

Tabel 4.10 merupakan tabel hasil pengujian tegangan keluaran *inverter* menggunakan beban 5 Watt dengan input *inverter* sebesar 12.00V DC. Hasil pengukuran tegangan keluaran inverter didapatkan nilai rata-rata 79.95V AC.

Tabel 4.11 Hasil Pengujian Tegangan Keluaran *Inverter* dengan Beban 5 Watt dan 12.50V

No	Vin (Volt)	Vout (Volt)
1	12.50V DC	85.56V AC
2	12.50V DC	85.56V AC
3	12.50V DC	85.55V AC
4	12.50V DC	85.55V AC
5	12.50V DC	85.56V AC
6	12.50V DC	85.57V AC
7	12.50V DC	85.56V AC
8	12.50V DC	85.57VAC
9	12.50V DC	85.56V AC
10	12.50V DC	85.59V AC

Tabel 4.11 merupakan tabel hasil pengujian tegangan keluaran *inverter* menggunakan beban 5 Watt dengan input *inverter* sebesar 12.50V DC. Hasil pengukuran tegangan keluaran inverter didapatkan nilai rata-rata 85.57V AC.

Tabel 4.12 Hasil Pengujian Tegangan Keluaran *Inverter* dengan Beban 10 Watt dan 11.50V

No	Vin (Volt)	Vout (Volt)
1	10.50V DC	62.33V AC
2	10.50V DC	62.32V AC

Tabel 4.12 Lanjutan

3	10.50V DC	62.33V AC
4	10.50V DC	62.32V AC
5	10.50V DC	62.31V AC
6	10.50V DC	62.33V AC
7	10.50V DC	62.34V AC
8	10.50V DC	62.32V AC
9	10.50V DC	62.35V AC
10	10.50V DC	62.35V AC

Tabel 4.12 merupakan tabel hasil pengujian tegangan keluaran *inverter* menggunakan beban 10 Watt dengan input *inverter* sebesar 10.50V DC. Hasil pengukuran tegangan keluaran inverter didapatkan nilai rata-rata 62.33 AC.

Tabel 4.13 Hasil Pengujian Tegangan Keluaran *Inverter* dengan Beban 10 Watt dan V_{in} 11.00V

No	V_{in} (Volt)	V_{out} (Volt)
1	11.00V DC	66.98V AC
2	11.00V DC	66.98V AC
3	11.00V DC	66.99V AC
4	11.00V DC	66.97V AC
5	11.00V DC	66.98V AC
6	11.00V DC	66.96V AC
7	11.00V DC	66.97V AC
8	11.00V DC	66.96V AC
9	11.00V DC	66.95V AC
10	11.00V DC	66.96V AC

Tabel 4.13 merupakan tabel hasil pengujian tegangan keluaran *inverter* tanpa menggunakan beban dengan input *inverter* sebesar 11.00V DC. Hasil pengukuran tegangan keluaran inverter didapatkan nilai rata-rata 66.96V AC.

Tabel 4.14 Hasil Pengujian Tegangan Keluaran *Inverter* dengan Beban 10 Watt dan V_{in} 11.50V

No	V_{in} (Volt)	V_{out} (Volt)
1	11.50V DC	70.01V AC
2	11.50V DC	70.01V AC
3	11.50V DC	70.01V AC
4	11.50V DC	70.01V AC
5	11.50V DC	70.02V AC
6	11.50V DC	70.04V AC
7	11.50V DC	70.05V AC
8	11.50V DC	70.04V AC
9	11.50V DC	70.04V AC
10	11.50V DC	70.05V AC

Tabel 4.14 merupakan tabel hasil pengujian tegangan keluaran *inverter* tanpa menggunakan beban dengan input *inverter* sebesar 11.50V DC. Hasil pengukuran tegangan keluaran inverter didapatkan nilai rata-rata 70.02V AC.

Tabel 4.15 Hasil Pengujian Tegangan Keluaran *Inverter* dengan Beban 10 Watt dan V_{in} 12.00V

No	V_{in} (Volt)	V_{out} (Volt)
1	12.00V DC	75.77V AC
2	12.00V DC	75.76V AC
3	12.00V DC	75.76V AC
4	12.00V DC	75.75V AC
5	12.00V DC	75.77V AC
6	12.00V DC	75.74V AC
7	12.00V DC	75.77V AC
8	12.00V DC	75.78V AC
9	12.00V DC	75.76V AC
10	12.00V DC	75.79V AC

Tabel 4.15 merupakan tabel hasil pengujian tegangan keluaran *inverter* menggunakan beban 10 watt dengan input *inverter* sebesar 12.00V DC. Hasil pengukuran tegangan keluaran inverter didapatkan nilai rata-rata 75.76V AC.

Tabel 4.16 Hasil Pengujian Tegangan Keluaran *Inverter* dengan Beban 10 Watt dan V_{in} 12.50V

No	V_{in} (Volt)	V_{out} (Volt)
1	12.50V DC	81.99V AC
2	12.50V DC	81.98V AC
3	12.50V DC	81.97V AC
4	12.50V DC	81.99V AC
5	12.50V DC	82.12V AC
6	12.50V DC	82.10V AC
7	12.50V DC	82.11V AC
8	12.50V DC	81.91V AC
9	12.50V DC	81.92V AC
10	12.50V DC	81.96V AC

Tabel 4.16 merupakan tabel hasil pengujian tegangan keluaran *inverter* tanpa menggunakan beban dengan input *inverter* sebesar 12.50V DC. Hasil pengukuran tegangan keluaran inverter didapatkan nilai rata-rata 82.10V AC.

4.2. Pembahasan

Telah dibuat *inverter fullbridge* 1 fasa dengan variasi *input* menggunakan mode SPWM dengan menaikkan tegangan keluaran dari *inverter* menggunakan trafo CT 12 to 220. Pada perancangan simulasi maupun *hardware* berjalan dengan sesuai. Perancangan *software* bisa dilihat pada **Gambar 3.7** dan hasil perancangan *hardware* bisa dilihat pada **Gambar 4.1**. pada perancangan tersebut didapatkan rangkaian yang sesuai dari hasil simulasi. Hasil simulasi didapatkan rangkaian yang baik dengan menggunakan topologi *fullbridge* menggunakan 4 mosfet dan

trafo sebagai menaikkan tegangan serta kapasitor sebagai *filter* gelombang setelah trafo.

Pada pembuatan *hardware* ada 3 tahap pada sistem *inverter* ini yaitu *inverter*, trafo *step up* dan *filter*. Inverter yang digunakan yaitu inverter fullbridge, dimana Prinsip kerja fullbridge adalah ketika terdapat sumber tegangan yang berupa tegangan DC yang akan diubah menjadi tegangan AC, maka terdapat 4 sakelar yang akan digunakan yaitu S1, S2, S3 dan S4. Pada mulanya sakelar S1 dan S4 akan menutup bersamaan, maka akan timbul tegangan pada beban, dimana arus listrik akan mengalir dari sumber ke S1, beban, S4 lalu ke sumber lagi. Kemudian S1 dan S4 akan dibuka sedangkan S2 dan S3 akan ditutup, sehingga muncul beda tegangan antara beban dengan demikian arus akan mengalir dari sumber ke S3, beban, S2 lalu ke sumber lagi. Jika dilakukan terus menerus akan mengakibatkan tegangan AC. Sakelar yang digunakan yaitu mosfet dengan tipe P dan N. Mosfet yang digunakan yaitu mosfet IRF540 dengan tipe N dan mosfet IRF9530 dengan tipe P dengan *input* dari *inverter* berupa tegangan 10-15V DC. Pada mosfet tipe N dan P didapatkan nilai tegangan keluaran *gate* yang sama dengan tegangan masuk masukan *gate*, berbeda dengan menggunakan mosfet tipe N dan N, salah satu keluaran dari keluaran kaki *gate* mengalami penurunan tegangan, sehingga akan mempengaruhi tegangan keluaran *inverter* tersebut. Sehingga rangkaian dengan tipe mosfet P dan N sangat dianjurkan dalam pembuatan *inverter*. Cara kerja mosfet ketika kondisi *ON* dimana kondisi mosfet aktif atau terdapat arus yang mengalir dari mosfet ke kaki *drain* lalu ke kaki *source*, sehingga nilai V_{ds} lebih dari 0. Sedangkan kondisi *OFF* atau tidak terdapat arus yang mengalir dari mosfet ke kaki *drain* lalu ke kaki *source*, sehingga nilai V_{ds} lebih dari 0, sehingga nilai V_{ds} sama dengan 0. Pada **LAMPIRAN A** dan **LAMPIRAN B** dijelaskan karakteristik dari mosfet tersebut.

Selanjutnya yaitu masuk kedalam trafo, pada trafo ini akan diberikan trafo CT 12/220V dengan efisiensi trafo. Berdasarkan **rumus 2.8** efisiensi trafo yang digunakan sebesar 97.7 %. Karena mempunyai efisiensi sebesar 97.7 % maka keluaran trafo tidak

menjadi 220V AC melainkan 215.16V AC dengan diberikan input 12V DC. Ditambah dengan *mode* SPWM yang nilai keluaran dari *inverter* itu sendiri akan mengalami penurunan berdasarkan **rumus 2.2**. Sehingga banyak daya yang hilang akibat dari *step up* trafo dari 12/220V yang tidak menaikkan tegangan secara maksimal. Setelah dinaikkan dengan trafo maka akan *filter* dengan menggunakan kapasitor agar tidak terjadi *ripple noise*. Efek *ripple noise* akan mengefek pada beban yang akan digunakan. *Ripple noise* itu sendiri berupa gelombang yang rusak serta arus yang naik sehingga beban yang akan digunakan akan cepat panas dan mengalami kerusakan. Dengan adanya kapasitor akan menghilangkan *ripple noise* sehingga gelombang yang dihasilkan tidak rusak. Kapasitor yang digunakan yaitu kapasitor AC 5 μ F dengan batas maksimal 400V/450V. Sebelum diberikan kapasitor gelombang yang dihasilkan oleh trafo masih berupa gelombang kotak, kemudian di *filter* dengan kapasitor yang menghasilkan gelombang *pure sine* yang bisa dilihat pada **Gambar 4.6** hingga **Gambar 4.8**. Dengan keluaran *pure sine* bisa digunakan untuk menyalakan lampu bohlam 5 Watt. Selanjutnya menganalisa tegangan keluaran *inverter*. Dengan menggunakan SPWM serta efisiensi trafo banyak daya yang terbuang, sehingga keluaran *inverter* tidak maksimal. Dengan **rumus 2.2** yang digunakan serta trafo yang efisiensi 70% dengan berbagai macam input yang diberikan hingga diberikan beban.

Dari hasil **Tabel 4.2** hingga **Tabel 4.6** dengan *range* variasi *input* 10.50 hingga 12.50 didapatkan tegangan kisaran 68.10-108.01V AC dari tegangan keluaran *inverter* ini didapatkan semakin tinggi nilai input *inverter* maka akan semakin tinggi pula tegangan yang keluar dari *inverter*. Dari hasil **Tabel 4.7** hingga **Tabel 4.11** dengan *range* variasi input 10.50 hingga 12.50 dengan menggunakan beban 5 Watt didapatkan tegangan kisaran 65.12-85.57V AC dari tegangan keluaran *inverter* ini didapatkan pula semakin tinggi nilai input *inverter* maka akan semakin tinggi pula tegangan yang keluar dari *inverter*. Dan dari hasil **Tabel 4.11** hingga **Tabel 4.16** dengan *range* variasi *input* 10.50 hingga 12.50 dengan menggunakan beban 10 Watt didapatkan tegangan kisaran

70.02-82.10V AC dari tegangan keluaran *inverter* ini didapatkan pula semakin tinggi nilai input *inverter* maka akan semakin tinggi pula tegangan yang keluar dari *inverter*. Dapat dianalisa pula semakin tinggi nilai beban yang dihasilkan maka akan semakin rendah nilai tegangan keluaran *inverter* tersebut.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan rancang bangun dan analisa data yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa :

- a. Telah berhasil dirancang sebuah *inverter full bridge* 1 fasa dengan berbagai variasi *input* dari 12V-15V DC dan *output* lebih besar dari *input* dengan frekuensi 50-60Hz untuk menyalakan lampu bohlam.
- b. Dari mengatur *switching* mosfet *inverter* agar didapatkan keluaran dari *inverter* gelombang SPWM dengan mengatur sinyal pada ATMEGA16, hasil dari sinyal SPWM dengan masukkan *inverter* 12.5V DC tegangan yang dikeluarkan oleh *inverter* sebesar 108.20 tanpa beban, sebesar 85.55V AC dengan beban 5 Watt dan sebesar 82.11V AC dengan beban 10 Watt.

5.2. Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya, antara lain :

- a. Lebih teliti dalam pengerjaan, apabila salah dalam melakukan pengerjaan akan menyebabkan komponen terbakar atau meledak
- b. Mencari MOSFET yang lebih baik lagi, agar nilai Vds dan Vgs bisa sesuai dan lebih ditingkatkan dalam *boosting*.
- c. Mencari IC yang cocok dengan tegangan tinggi, sehingga tidak menggunakan trafo untuk menaikkan tegangan keluaran *inverter*, dikarenakan akan kehilangan daya yang lebih besar apabila memakai *step up* trafo.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yanuarsyah, Haroen, 2010. "Materi Elektronika Daya", Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta
- [2] Rashid, H. 2001. Power Electronic Handbook. Canada : Academic Press
- [3] Yanuarsyah, Haroen. 1998. "Elektronika Daya Lanjut" EL 642 Jurusan Teknik Elektro-FTI, Institut Teknologi, Bandung
- [4] A.M. Gole, 2000. "Sinusoidal Pulse width modulation, Power Electronics"
- [5] Hadi, Solihul. 2008. "Mengenal Mikrokontroler Atmega 16", Jombang.
- [6] Dasar, Elektronika. 2015. "MOSFET Sebagai Saklar"
- [7] Teknik, Elektronika. 2015. "Jenis-jenis komponen elektronika beserta fungsi dan simbolnya". Yogyakarta.
- [8] Teknik, Elektronika. 2015. "Pengertian Optocoupler, fungsi dan prinsip kerjanya". Yogyakarta.
- [9] Hutabarat, Jubel. (2011). "Analisis Perbandingan Efisiensi Transformator Tiga Fasa Hubungan Delta Dan Hubungan Open-Delta (Aplikasi Pada Laboratorium Konversi Energi Listrik FT-USU)". Medan : Universitas Sumatera Utara.

LAMPIRAN A

DATASHEET MOSFET IRF540



IRF540, SiHF540

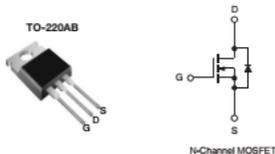
Vishay Siliconix

Power MOSFET

PRODUCT SUMMARY		
V _{DS} (V)	100	
R _{DS(on)} (Ω)	V _{GS} = 10 V	0.077
Q _g (Max.) (nC)	72	
Q _{gs} (nC)	11	
Q _{gd} (nC)	32	
Configuration	Single	

FEATURES

- Dynamic dV/dt Rating
- Repetitive Avalanche Rated
- 175 °C Operating Temperature
- Fast Switching
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements
- Compliant to RoHS Directive 2002/95/EC



DESCRIPTION

Third generation Power MOSFETs from Vishay provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost-effectiveness.

The TO-220AB package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 W. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220AB contribute to its wide acceptance throughout the industry.

ORDERING INFORMATION	
Package	TO-220AB
Lead (Pb)-free	IRF540PbF SiHF540-E3
SnPb	IRF540 SiHF540

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (T _C = 25 °C, unless otherwise noted)					
PARAMETER	SYMBOL		LIMIT	UNIT	
Drain-Source Voltage	V _{DS}		100	V	
Gate-Source Voltage	V _{GS}		± 20		
Continuous Drain Current	V _{GS} at 10 V	T _C = 25 °C	28	A	
		T _C = 100 °C	20		
Pulsed Drain Current*	I _{DM}		110	W/°C	
Linear Derating Factor			1.0		
Single Pulse Avalanche Energy ^b	E _{AS}		230	mJ	
Repetitive Avalanche Current*	I _{AR}		28	A	
Repetitive Avalanche Energy*	E _{AR}		15	mJ	
Maximum Power Dissipation	T _C = 25 °C		P _D	150	W
Peak Diode Recovery dV/dt ^c			dV/dt	5.5	V/ns
Operating Junction and Storage Temperature Range	T _J , T _{stg}		- 55 to + 175	°C	
Soldering Recommendations (Peak Temperature)	for 10 s		300 ^d		
Mounting Torque	6-32 or M3 screw		10	lbf · in	
			1.1	N · m	

Notes

- Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11).
- V_{DS} = 25 V, starting T_J = 25 °C, L = 440 μH, R_θ = 25 Ω, I_{AS} = 28 A (see fig. 12).
- I_{RRM} ≤ 28 A, dV/dt ≤ 170 A/μs, V_{DD} ≤ V_{DS}, T_J ≤ 175 °C.
- 1.5 mm from case.

* Pb containing terminations are not RoHS compliant, exemptions may apply

Document Number: 91021
S11-0510-Rev. B, 21-Mar-11

www.vishay.com

1

This datasheet is subject to change without notice.
THE PRODUCT DESCRIBED HEREIN AND THIS DATASHEET ARE SUBJECT TO SPECIFIC DISCLAIMERS, SET FORTH AT www.vishay.com/doc?91000

THERMAL RESISTANCE RATINGS					
PARAMETER	SYMBOL	TYP.	MAX.	UNIT	
Maximum Junction-to-Ambient	$R_{\theta JA}$	-	62	°C/W	
Case-to-Sink, Flat, Gressed Surface	$R_{\theta CS}$	0.50	-		
Maximum Junction-to-Case (Drain)	$R_{\theta JC}$	-	1.0		

SPECIFICATIONS ($T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise noted)						
PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Static						
Drain-Source Breakdown Voltage	V_{DS}	$V_{GS} = 0\text{ V}$, $I_D = 250\text{ }\mu\text{A}$	100	-	-	V
V_{DS} Temperature Coefficient	$\Delta V_{DS}/T_J$	Reference to $25\text{ }^\circ\text{C}$, $I_D = 1\text{ mA}$	-	0.13	-	V/°C
Gate-Source Threshold Voltage	$V_{GS(th)}$	$V_{DS} = V_{GS}$, $I_D = 250\text{ }\mu\text{A}$	2.0	-	4.0	V
Gate-Source Leakage	I_{GSS}	$V_{GS} = \pm 20\text{ V}$	-	-	± 100	nA
Zero Gate Voltage Drain Current	I_{DSS}	$V_{DS} = 100\text{ V}$, $V_{GS} = 0\text{ V}$	-	-	25	μA
		$V_{DS} = 80\text{ V}$, $V_{GS} = 0\text{ V}$, $T_J = 150\text{ }^\circ\text{C}$	-	-	250	μA
Drain-Source On-State Resistance	$R_{DS(on)}$	$V_{GS} = 10\text{ V}$, $I_D = 17\text{ A}^a$	-	-	0.077	Ω
Forward Transconductance	g_{fs}	$V_{GS} = 50\text{ V}$, $I_D = 17\text{ A}^a$	8.7	-	-	S
Dynamic						
Input Capacitance	C_{iss}	$V_{GS} = 0\text{ V}$, $V_{DS} = 25\text{ V}$, $f = 1.0\text{ MHz}$, see fig. 5	-	1700	-	μF
Output Capacitance	C_{oss}		-	560	-	
Reverse Transfer Capacitance	C_{rss}		-	120	-	
Total Gate Charge	Q_g	$V_{GS} = 10\text{ V}$, $I_D = 17\text{ A}$, $V_{DS} = 80\text{ V}$, see fig. 6 and 13 ^b	-	-	72	nC
Gate-Source Charge	Q_{gs}		-	-	11	
Gate-Drain Charge	Q_{gd}		-	-	32	
Turn-On Delay Time	$t_{d(on)}$	$V_{GS} = 50\text{ V}$, $I_D = 17\text{ A}$ $R_{\theta J} = 9.1\text{ }^\circ\text{C/W}$, $R_{\theta C} = 2.9\text{ }^\circ\text{C/W}$, see fig. 10 ^b	-	11	-	ns
Rise Time	t_r		-	44	-	
Turn-Off Delay Time	$t_{d(off)}$		-	53	-	
Fall Time	t_f		-	43	-	
Internal Drain Inductance	L_D		Between lead, 6 mm (0.25") from package and center of die contact	-	4.5	
Internal Source Inductance	L_S		-	7.5	-	
Drain-Source Body Diode Characteristics						
Continuous Source-Drain Diode Current	I_S	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode	-	-	28	A
Pulsed Diode Forward Current ^a	I_{SM}		-	-	110	
Body Diode Voltage	V_{SD}	$T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$, $I_S = 28\text{ A}$, $V_{GS} = 0\text{ V}^b$	-	-	2.5	V
Body Diode Reverse Recovery Time	t_{rr}	$T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$, $I_S = 17\text{ A}$, $dI/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}^b$	-	180	360	ns
Body Diode Reverse Recovery Charge	Q_{rr}		-	1.3	2.8	
Forward Turn-On Time	t_{on}	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L_S and L_D)				

Notes

- a. Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11).
b. Pulse width $\leq 300\text{ }\mu\text{s}$; duty cycle $\leq 2\%$.

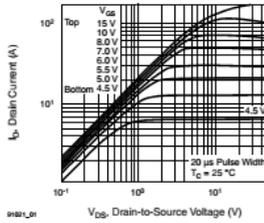
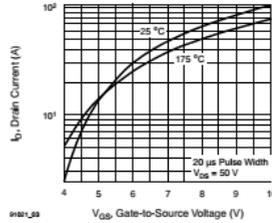
TYPICAL CHARACTERISTICS (25 °C, unless otherwise noted)

 Fig. 1 - Typical Output Characteristics, $T_C = 25^\circ\text{C}$


Fig. 3 - Typical Transfer Characteristics

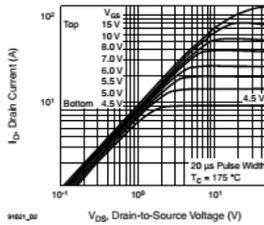
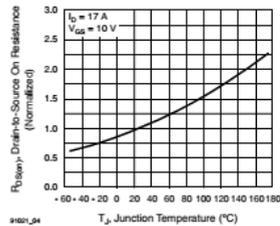

 Fig. 2 - Typical Output Characteristics, $T_C = 175^\circ\text{C}$


Fig. 4 - Normalized On-Resistance vs. Temperature

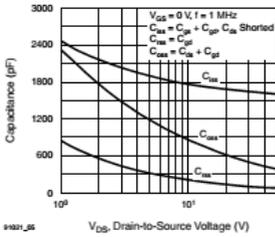


Fig. 5 - Typical Capacitance vs. Drain-to-Source Voltage

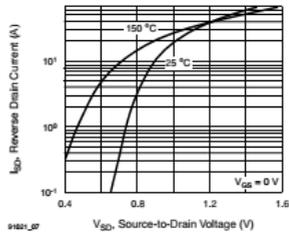


Fig. 7 - Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

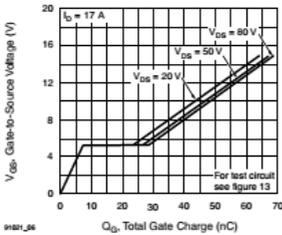


Fig. 6 - Typical Gate Charge vs. Gate-to-Source Voltage

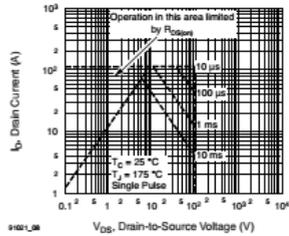
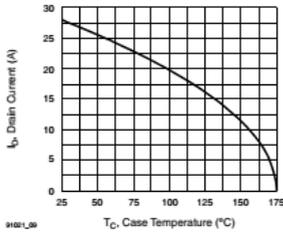
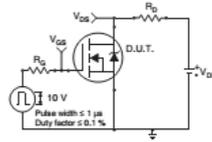
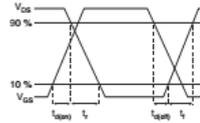
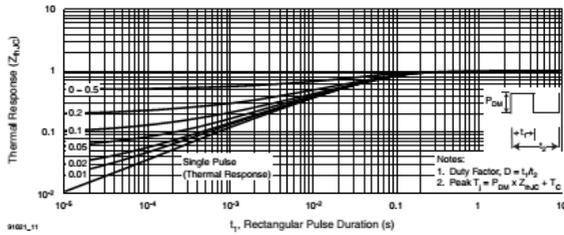


Fig. 8 - Maximum Safe Operating Area


Fig. 9 - Maximum Drain Current vs. Case Temperature

Fig. 10a - Switching Time Test Circuit

Fig. 10b - Switching Time Waveforms

Fig. 11 - Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

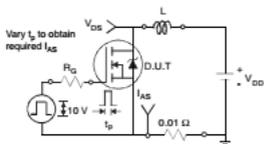


Fig. 12a - Unclamped Inductive Test Circuit

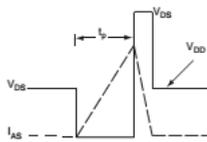


Fig. 12b - Unclamped Inductive Waveforms

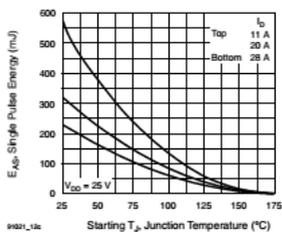


Fig. 12c - Maximum Avalanche Energy vs. Drain Current

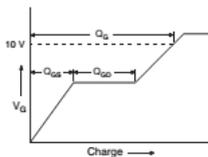


Fig. 13a - Basic Gate Charge Waveform

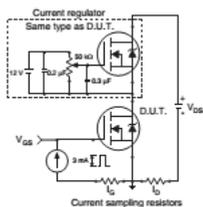
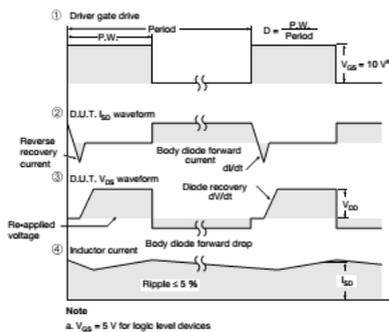
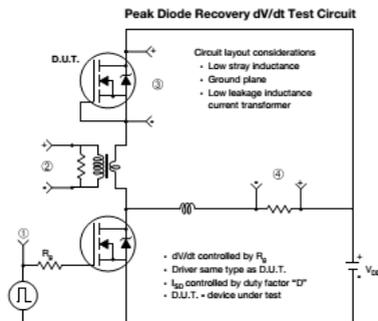
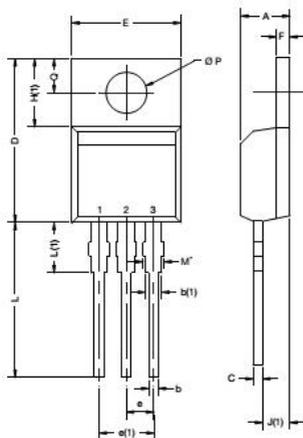


Fig. 13b - Gate Charge Test Circuit


Fig. 14 - For N-Channel

Vishay Siliconix maintains worldwide manufacturing capability. Products may be manufactured at one of several qualified locations. Reliability data for Silicon Technology and Package Reliability represent a composite of all qualified locations. For related documents such as package/tape drawings, part marking, and reliability data, see <http://www.vishay.com/doc921021>.

TO-220-1



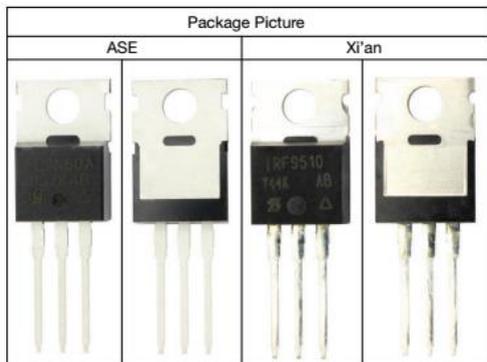
DIM.	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.
A	4.24	4.65	0.167	0.183
b	0.69	1.02	0.027	0.040
b(1)	1.14	1.78	0.045	0.070
c	0.36	0.61	0.014	0.024
D	14.33	15.85	0.564	0.624
E	9.96	10.52	0.392	0.414
e	2.41	2.67	0.095	0.105
e(1)	4.88	5.28	0.192	0.208
F	1.14	1.40	0.045	0.055
H(1)	6.10	6.71	0.240	0.264
J(1)	2.41	2.92	0.095	0.115
L	13.36	14.40	0.526	0.567
L(1)	3.33	4.04	0.131	0.159
Ø P	3.53	3.94	0.139	0.155
Q	2.54	3.00	0.100	0.118

ECN: X15-0364-Rev. C, 14-Dec-15

DWG: 6031

Note

- M' = 0.052 inches to 0.064 inches (dimension including protrusion), heatsink hole for HVM



LAMPIRAN B

DATASHEET MOSFET IRF9530

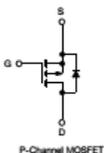


IRF9530, SiHF9530

Vishay Silicon

Power MOSFET

PRODUCT SUMMARY		
V _{DS} (V)	+100	
R _{DS(on)} (Ω)	V _{GS} = +10 V	0.30
Q _g max. (nC)	38	
Q _{gs} (nC)	6.8	
Q _{gd} (nC)	21	
Configuration	Single	



FEATURES

- Dynamic dv/dt rating
- Repetitive avalanche rated
- P-channel
- 175 °C operating temperature
- Fast switching
- Ease of paralleling
- Simple drive requirements
- Material categorization: for definitions of compliance please see www.vishay.com/doc/799912



Note

* This datasheet provides information about parts that are RoHS-compliant and / or parts that are non-RoHS-compliant. For example, parts with lead (Pb) terminations are not RoHS-compliant. Please see the information / tables in this datasheet for details.

DESCRIPTION

Third generation power MOSFETs from Vishay provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost-effectiveness. The TO-220AB package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 W. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220AB contribute to its wide acceptance throughout the industry.

ORDERING INFORMATION	
Package	TO-220AB
Lead (Pb)-free	IRF9530PbF Si#F9530-E3
SnPb	IRF9530 Si#F9530

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (T _C = 25 °C, unless otherwise noted)					
PARAMETER			SYMBOL	LIMIT	UNIT
Drain-Source Voltage			V _{DS}	+100	V
Gate-Source Voltage			V _{GS}	± 20	
Continuous Drain Current	V _{GS} at +10 V	T _C = 25 °C	I _D	+ 12	A
		T _C = 100 °C		-8.2	
Pulsed Drain Current ^a			I _{DM}	-48	
Linear Derating Factor				0.59	W/°C
Single Pulse Avalanche Energy ^b			E _{AS}	400	mJ
Repetitive Avalanche Energy ^a			E _{AR}	-12	A
Repetitive Avalanche Energy ^a			E _{AR}	8.8	mJ
Maximum Power Dissipation	T _C = 25 °C		P _D	88	W
Peak Diode Recovery dv/dt ^c			dv/dt	+ 5.5	V/ns
Operating Junction and Storage Temperature Range			T _J , T _{STG}	-55 to +175	°C
Soldering Recommendations (Peak temperature) ^d	for 10 s			300	
Mounting Torque	6-32 or M3 screw			10	lbf · in
				1.1	N · m

Notes

- Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11).
- V_{DS} = +25 V, starting T_J = 25 °C, L = 4.2 mH, R_θ = 25 Ω, I_{AS} = +12 A (see fig. 12).
- I_{AS} ≤ +12 A, dv/dt ≤ 140 A/μs, V_{DS} ≤ V_{OS}, T_J ≤ 175 °C.
- 1.6 mm from case.

S16-0754-Rev. C, 02-May-16

1

Document Number: 91076

For technical questions, contact: tum@vishay.com

THIS DOCUMENT IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE. THE PRODUCTS DESCRIBED HEREIN AND THIS DOCUMENT ARE SUBJECT TO SPECIFIC DISCLAIMERS, SET FORTH AT www.vishay.com/doc/791000

THERMAL RESISTANCE RATINGS				
PARAMETER	SYMBOL	TYP.	MAX.	UNIT
Maximum Junction-to-Ambient	$R_{\theta JA}$	-	62	°C/W
Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	$R_{\theta CS}$	0.50	-	
Maximum Junction-to-Case (Drain)	$R_{\theta JC}$	-	1.7	

SPECIFICATIONS ($T_J = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted)						
PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Static						
Drain-Source Breakdown Voltage	V_{DS}	$V_{GS} = 0\text{ V}, I_D = \pm 250\ \mu\text{A}$	-100	-	-	V
V_{DS} Temperature Coefficient	$\Delta V_{DS}/T_J$	Reference to 25°C , $I_D = -1\text{ mA}$	-	-0.10	-	V/°C
Gate-Source Threshold Voltage	$V_{GS(th)}$	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = \pm 250\ \mu\text{A}$	+2.0	-	+4.0	V
Gate-Source Leakage	I_{GSS}	$V_{GS} = \pm 20\text{ V}$	-	-	± 100	nA
Zero Gate Voltage Drain Current	I_{DSS}	$V_{DS} = +100\text{ V}, V_{GS} = 0\text{ V}$	-	-	+100	μA
		$V_{DS} = -80\text{ V}, V_{GS} = 0\text{ V}, T_J = 150^\circ\text{C}$	-	-	-500	
Drain-Source On-State Resistance	$R_{DS(on)}$	$V_{GS} = +10\text{ V}, I_D = +7.2\text{ A}^a$	-	-	0.30	Ω
Forward Transconductance	g_{fs}	$V_{GS} = -50\text{ V}, I_D = +7.2\text{ A}^a$	3.7	-	-	S
Dynamic						
Input Capacitance	C_{iss}	$V_{GS} = 0\text{ V}, V_{DS} = \pm 25\text{ V}, f = 1.0\text{ MHz}$, see fig. 5	-	860	-	pF
Output Capacitance	C_{oss}		-	340	-	
Reverse Transfer Capacitance	C_{rss}		-	93	-	
Total Gate Charge	Q_g	$V_{GS} = +10\text{ V}, I_D = +12\text{ A}, V_{DS} = +80\text{ V}$, see fig. 6 and 13 ^b	-	-	38	nC
Gate-Source Charge	Q_{gs}		-	-	6.8	
Gate-Drain Charge	Q_{gd}		-	-	21	
Turn-On Delay Time	$t_{d(on)}$	$V_{DD} = -50\text{ V}, I_D = +12\text{ A}, R_{\theta J} = 12\ \Omega, R_{\theta C} = 3.9\ \Omega$, see fig. 10 ^b	-	12	-	ns
Rise Time	t_r		-	52	-	
Turn-Off Delay Time	$t_{d(off)}$		-	31	-	
Fall Time	t_f		-	39	-	
Internal Drain Inductance	L_D		Between lead, 6 mm (0.25") from package and center of die contact 	-	4.5	
Internal Source Inductance	L_S		-	7.5	-	nH
Gate Input Resistance	R_g	$f = 1\text{ MHz}$, open drain	0.4	-	3.3	Ω
Drain-Source Body Diode Characteristics						
Continuous Source-Drain Diode Current	I_S	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode 	-	-	+12	A
Pulsed Diode Forward Current ^a	I_{SM}		-	-	+48	
Body Diode Voltage	V_{SD}	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = +12\text{ A}, V_{GS} = 0\text{ V}^b$	-	-	-6.3	V
Body Diode Reverse Recovery Time	t_{rr}	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = +12\text{ A}, dI/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}^b$	-	120	240	ns
Body Diode Reverse Recovery Charge	Q_{rr}		-	0.46	0.92	μC
Forward Turn-On Time	t_{on}	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L_S and L_D)				

Notes

- a. Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11).
 b. Pulse width $\leq 300\ \mu\text{s}$; duty cycle $\leq 2\%$.

TYPICAL CHARACTERISTICS (25 °C, unless otherwise noted)

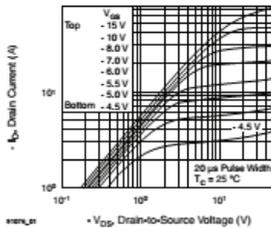


Fig. 1 - Typical Output Characteristics, $T_C = 25\text{ }^\circ\text{C}$

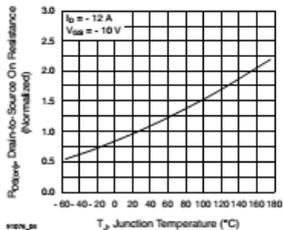


Fig. 4 - Normalized On-Resistance vs. Temperature

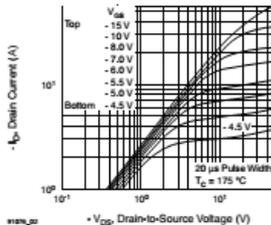


Fig. 2 - Typical Output Characteristics, $T_C = 175\text{ }^\circ\text{C}$

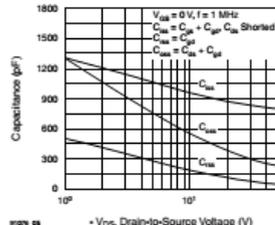


Fig. 5 - Typical Capacitance vs. Drain-to-Source Voltage

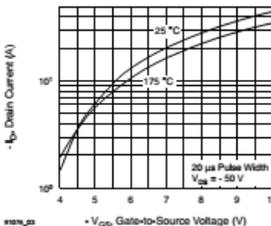


Fig. 3 - Typical Transfer Characteristics

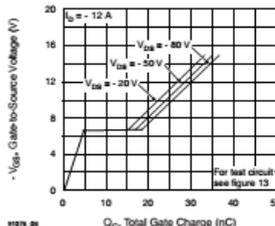
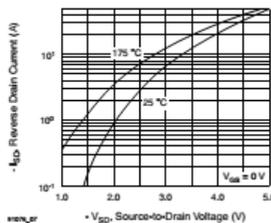
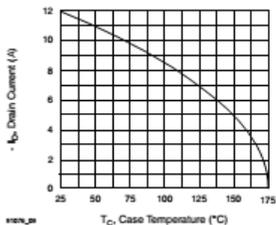
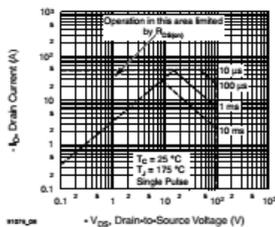
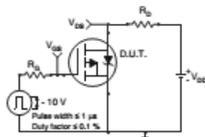
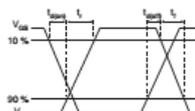
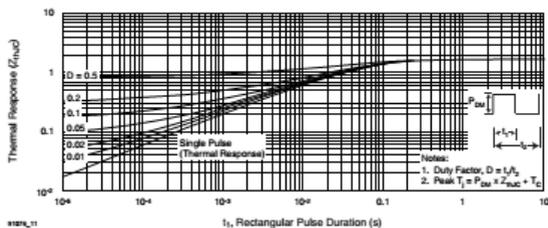


Fig. 6 - Typical Gate Charge vs. Gate-to-Source Voltage


Fig. 7 - Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

Fig. 9 - Maximum Drain Current vs. Case Temperature

Fig. 8 - Maximum Safe Operating Area

Fig. 10a - Switching Time Test Circuit

Fig. 10b - Switching Time Waveforms

Fig. 11 - Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

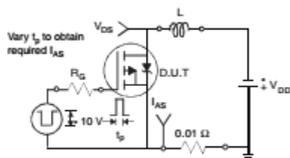


Fig. 12a • Unclamped Inductive Test Circuit

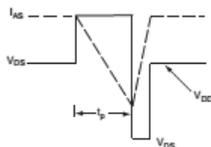


Fig. 12b • Unclamped Inductive Waveforms

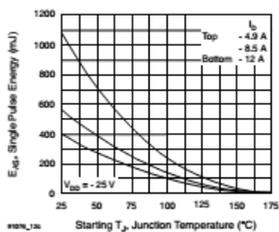


Fig. 12c • Maximum Avalanche Energy vs. Drain Current

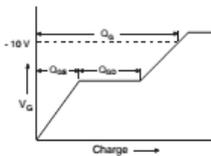


Fig. 13a • Basic Gate Charge Waveform

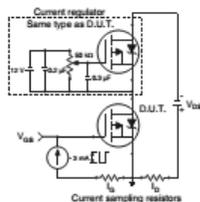
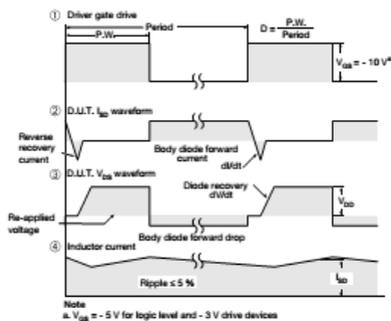
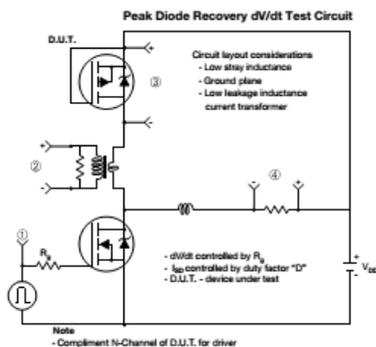
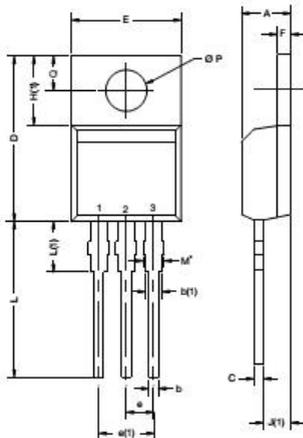


Fig. 13b • Gate Charge Test Circuit


Fig. 14 -For P-Channel

Vishay Siliconix maintains worldwide manufacturing capability. Products may be manufactured at one of several qualified locations. Reliability data for Silicon Technology and Package Reliability represent a composite of all qualified locations. For related documents such as package/tape drawings, part marking, and reliability data, see www.vishay.com/doc921076.

TO-220-1



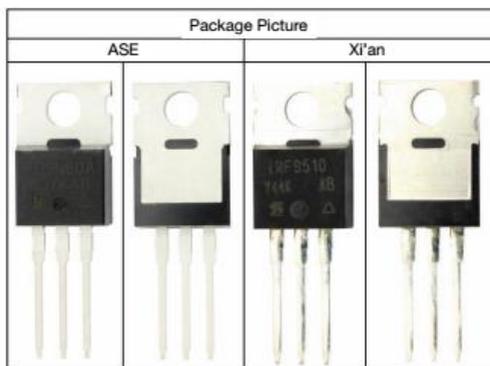
DIM.	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.
A	4.24	4.65	0.167	0.183
b	0.69	1.02	0.027	0.040
b(1)	1.14	1.78	0.045	0.070
c	0.36	0.61	0.014	0.024
D	14.33	15.85	0.564	0.624
E	9.96	10.52	0.392	0.414
e	2.41	2.67	0.095	0.105
e(1)	4.88	5.28	0.192	0.208
F	1.14	1.40	0.045	0.055
H(1)	6.10	6.71	0.240	0.264
J(1)	2.41	2.92	0.095	0.115
L	13.36	14.40	0.526	0.567
L(1)	3.33	4.04	0.131	0.159
Ø P	3.53	3.94	0.139	0.155
Q	2.54	3.00	0.100	0.118

ECN: X15-0364-Rev. C, 14-Dec-15

DWG: 6031

Note

- M' = 0.052 inches to 0.064 inches (dimension including protrusion), heatsink hole for HVM



LAMPIRAN C

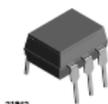
DATASHEET OPTOCOUPLER 4N35



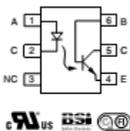
4N35, 4N36, 4N37

Vishay Semiconductors

Optocoupler, Phototransistor Output, with Base Connection



21942



FEATURES

- Isolation test voltage 5000 V_{iso}
- 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

DESCRIPTION

Each optocoupler consists of gallium arsenide infrared LED and a silicon NPN phototransistor.

AGENCY APPROVALS

- Underwriters laboratory file no. E52744
- BS: EN 60065:2002, EN 60950:2000
- FMKO; EN 60065, EN 60335, EN 60950 certificate no. 25156

ORDER INFORMATION	
PART	REMARKS
4N35	CTR > 100 %, DIP-6
4N36	CTR > 100 %, DIP-6
4N37	CTR > 100 %, DIP-6

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ⁽¹⁾				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
INPUT				
Reverse voltage		V_{RE}	6	V
Forward current		I_F	50	mA
Surge current	$t \leq 10 \mu s$	I_{FSM}	1	A
Power dissipation		P_{Dmax}	70	mW
OUTPUT				
Collector emitter breakdown voltage		V_{CEO}	70	V
Emitter base breakdown voltage		V_{EBO}	7	V
Collector current	$t \leq 1 ms$	I_C	50	mA
		I_C	100	mA
Power dissipation		P_{Dmax}	70	mW
COUPLER				
Isolation test voltage		V_{ISO}	5000	V_{iso}
Creepage			≥ 7	mm
Clearance			≥ 7	mm
Isolation thickness between emitter and detector			≥ 0.4	mm

4N35, 4N36, 4N37

Vishay Semiconductors Optocoupler, Phototransistor Output,
with Base Connection



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ⁽¹⁾				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
COUPLER				
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 +150	$^{\circ}\text{C}$
Operating temperature		T_{amb}	-55 to +100	$^{\circ}\text{C}$
Junction temperature		T_J	100	$^{\circ}\text{C}$
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 wave profile for soldering conditions for through hole devices (TYP).

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ⁽¹⁾							
PARAMETER	TEST CONDITION	PART	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
INPUT							
Junction capacitance	$V_{BI} = 0\text{ V}$, $f = 1\text{ MHz}$		C_J		50		pF
Forward voltage ⁽²⁾	$I_F = 10\text{ mA}$		V_F		1.3	1.5	V
	$I_F = 10\text{ mA}$, $T_{amb} = +55\text{ }^{\circ}\text{C}$		V_F	0.9	1.3	1.7	V
Reverse current ⁽²⁾	$V_{BI} = 5\text{ V}$		I_R		0.1	10	μA
Capacitance	$V_{BI} = 0\text{ V}$, $f = 1\text{ MHz}$		C_{CO}		25		pF
OUTPUT							
Collector emitter breakdown voltage ⁽²⁾	$I_C = 1\text{ mA}$	4N35	BV_{CEO}	30			V
		4N36	BV_{CEO}	30			V
		4N37	BV_{CEO}	30			V
Emitter collector breakdown voltage ⁽²⁾	$I_E = 100\text{ }\mu\text{A}$		BV_{ECO}	7			V
OUTPUT							
Collector base breakdown voltage ⁽²⁾	$I_C = 100\text{ }\mu\text{A}$, $I_B = 1\text{ }\mu\text{A}$	4N35	BV_{CBO}	70			V
		4N36	BV_{CBO}	70			V
		4N37	BV_{CBO}	70			V
Collector emitter leakage current ⁽²⁾	$V_{CE} = 10\text{ V}$, $I_F = 0$	4N35	I_{CEO}		5	50	nA
		4N36	I_{CEO}		5	50	nA
		4N37	I_{CEO}		5	50	nA
	$V_{CE} = 30\text{ V}$, $I_F = 0$, $T_{amb} = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$	4N35	I_{CEO}			500	μA
		4N36	I_{CEO}			500	μA
		4N37	I_{CEO}			500	μA
Collector emitter capacitance	$V_{CE} = 0$		C_{CE}		6		pF
COUPLER							
Resistance, input output ⁽²⁾	$V_{IO} = 500\text{ V}$		R_{IO}	10^{11}			Ω
Capacitance, input output	$f = 1\text{ MHz}$		C_{CO}		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⁾ Indicates JEDEC registered value.

CURRENT TRANSFER RATIO							
PARAMETER	TEST CONDITION	PART	SYMBOL	MIN	TYP.	MAX	UNIT
DC current transfer ratio ⁽¹⁾	$V_{CC} = 10\text{ V}$, $I_F = 10\text{ mA}$	4N35	CTR_{DC}	100			%
		4N36	CTR_{DC}	100			%
		4N37	CTR_{DC}	100			%
	$V_{CC} = 10\text{ V}$, $I_F = 10\text{ mA}$, $T_A = -55\text{ }^\circ\text{C}$ to $+100\text{ }^\circ\text{C}$	4N35	CTR_{DC}	40	50		%
		4N36	CTR_{DC}	40	50		%
		4N37	CTR_{DC}	40	50		%

Note

⁽¹⁾ Indicates JEDEC registered values.

SWITCHING CHARACTERISTICS							
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT	
Switching time ⁽¹⁾	$V_{CC} = 10\text{ V}$, $I_C = 2\text{ mA}$, $R_L = 100\ \Omega$	$t_{\text{turn } t_{\text{off}}}$		10		μs	

Note

⁽¹⁾ Indicates JEDEC registered values.

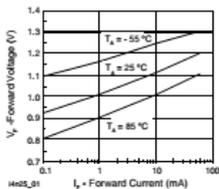
TYPICAL CHARACTERISTICS
 $T_{\text{amb}} = 25\text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise specified


Fig. 1 - Forward Voltage vs. Forward Current

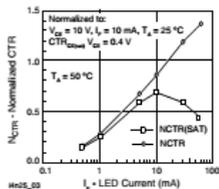


Fig. 3 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current

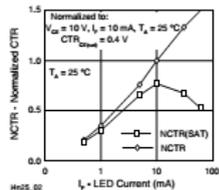


Fig. 2 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current

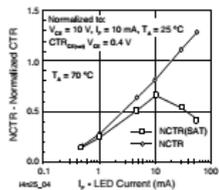


Fig. 4 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current

4N35, 4N36, 4N37

Vishay Semiconductors Optocoupler, Phototransistor Output, with Base Connection

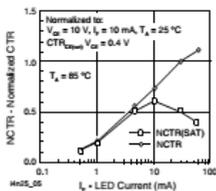


Fig. 5 • Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current

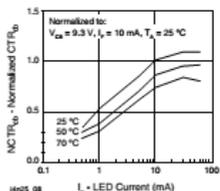


Fig. 8 • Normalized CTR vs. LED Current and Temperature

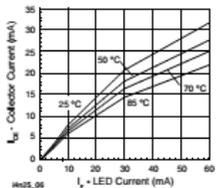


Fig. 6 • Collector Emitter Current vs. Temperature and LED Current

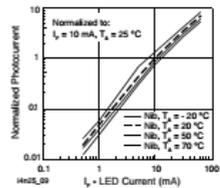


Fig. 9 • Normalized Photocurrent vs. I_L and Temperature

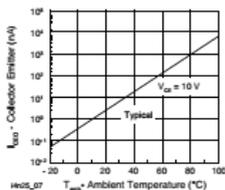


Fig. 7 • Collector Emitter Leakage Current vs. Temperature

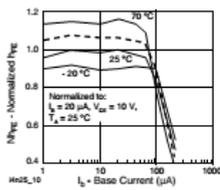
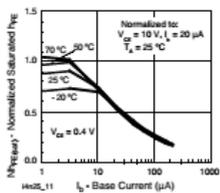
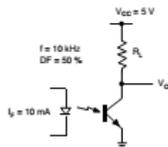


Fig. 10 • Normalized Non-Saturated h_{FE} vs. Base Current and Temperature


 Fig. 11 • Normalized h_{FE} vs. Base Current and Temperature


H025_14

Fig. 14 • Switching Schematic

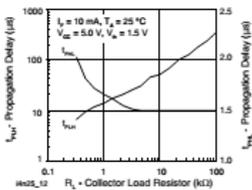
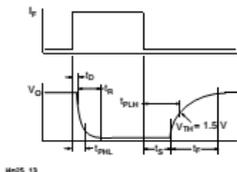


Fig. 12 • Propagation Delay vs. Collector Load Resistor



H025_13

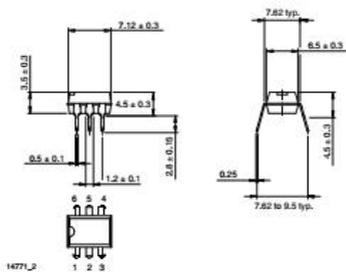
Fig. 13 • Switching Timing

4N35, 4N36, 4N37

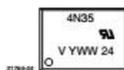
Vishay Semiconductors Optocoupler, Phototransistor Output,
with Base Connection



PACKAGE DIMENSIONS in millimeters



PACKAGE MARKING



LAMPIRAN D DATASHEET ATMEGA16

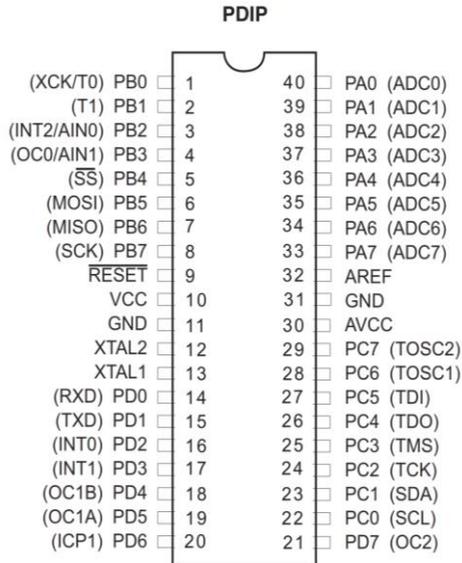


Table 22. Port A Pins Alternate Functions

Port Pin	Alternate Function
PA7	ADC7 (ADC input channel 7)
PA6	ADC6 (ADC input channel 6)
PA5	ADC5 (ADC input channel 5)
PA4	ADC4 (ADC input channel 4)
PA3	ADC3 (ADC input channel 3)
PA2	ADC2 (ADC input channel 2)
PA1	ADC1 (ADC input channel 1)
PA0	ADC0 (ADC input channel 0)

Table 25. Port B Pins Alternate Functions

Port Pin	Alternate Functions
PB7	SCK (SPI Bus Serial Clock)
PB6	MISO (SPI Bus Master Input/Slave Output)
PB5	MOSI (SPI Bus Master Output/Slave Input)
PB4	\overline{SS} (SPI Slave Select Input)
PB3	AIN1 (Analog Comparator Negative Input) OC0 (Timer/Counter0 Output Compare Match Output)
PB2	AIN0 (Analog Comparator Positive Input) INT2 (External Interrupt 2 Input)
PB1	T1 (Timer/Counter1 External Counter Input)
PB0	T0 (Timer/Counter0 External Counter Input) XCK (USART External Clock Input/Output)

Table 28. Port C Pins Alternate Functions

Port Pin	Alternate Function
PC7	TOSC2 (Timer Oscillator Pin 2)
PC6	TOSC1 (Timer Oscillator Pin 1)
PC5	TDI (JTAG Test Data In)
PC4	TDO (JTAG Test Data Out)
PC3	TMS (JTAG Test Mode Select)
PC2	TCK (JTAG Test Clock)
PC1	SDA (Two-wire Serial Bus Data Input/Output Line)
PC0	SCL (Two-wire Serial Bus Clock Line)

Table 31. Port D Pins Alternate Functions

Port Pin	Alternate Function
PD7	OC2 (Timer/Counter2 Output Compare Match Output)
PD6	ICP1 (Timer/Counter1 Input Capture Pin)
PD5	OC1A (Timer/Counter1 Output Compare A Match Output)
PD4	OC1B (Timer/Counter1 Output Compare B Match Output)
PD3	INT1 (External Interrupt 1 Input)
PD2	INT0 (External Interrupt 0 Input)
PD1	TXD (USART Output Pin)
PD0	RXD (USART Input Pin)

LAMPIRAN E

LISTING PROGRAM PADA ATMEGA16

```
#include <avr/io.h>

#include <util/delay.h>

#include <avr/interrupt.h>

#include <avr/sleep.h>

#include <math.h>

#include <stdio.h>

0x80, 0x83, 0x86, 0x89, 0x8C, 0x90, 0x93, 0x96,

0x99, 0x9C, 0x9F, 0xA2, 0xA5, 0xA8, 0xAB, 0xAE,

0xB1, 0xB3, 0xB6, 0xB9, 0xBC, 0xBF, 0xC1, 0xC4,

0xC7, 0xC9, 0xCC, 0xCE, 0xD1, 0xD3, 0xD5, 0xD8,

0xDA, 0xDC, 0xDE, 0xE0, 0xE2, 0xE4, 0xE6, 0xE8,

0xEA, 0xEB, 0xED, 0xEF, 0xF0, 0xF1, 0xF3, 0xF4,

0xF5, 0xF6, 0xF8, 0xF9, 0xFA, 0xFA, 0xFB, 0xFC,

0xFD, 0xFD, 0xFE, 0xFE, 0xFE, 0xFF, 0xFF, 0xFF,

0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFE, 0xFE, 0xFE, 0xFD,

0xFD, 0xFC, 0xFB, 0xFA, 0xFA, 0xF9, 0xF8, 0xF6,

0xF5, 0xF4, 0xF3, 0xF1, 0xF0, 0xEF, 0xED, 0xEB,

0xEA, 0xE8, 0xE6, 0xE4, 0xE2, 0xE0, 0xDE, 0xDC,

0xDA, 0xD8, 0xD5, 0xD3, 0xD1, 0xCE, 0xCC, 0xC9,

0xC7, 0xC4, 0xC1, 0xBF, 0xBC, 0xB9, 0xB6, 0xB3,

0xB1, 0xAE, 0xAB, 0xA8, 0xA5, 0xA2, 0x9F, 0x9C,
```

```
0x99, 0x96, 0x93, 0x90, 0x8C, 0x89, 0x86, 0x83,  
0x80, 0x7D, 0x7A, 0x77, 0x74, 0x70, 0x6D, 0x6A,  
0x67, 0x64, 0x61, 0x5E, 0x5B, 0x58, 0x55, 0x52,  
0x4F, 0x4D, 0x4A, 0x47, 0x44, 0x41, 0x3F, 0x3C,  
0x39, 0x37, 0x34, 0x32, 0x2F, 0x2D, 0x2B, 0x28,  
0x26, 0x24, 0x22, 0x20, 0x1E, 0x1C, 0x1A, 0x18,  
0x16, 0x15, 0x13, 0x11, 0x10, 0x0F, 0x0D, 0x0C,  
0x0B, 0x0A, 0x08, 0x07, 0x06, 0x06, 0x05, 0x04,  
0x03, 0x03, 0x02, 0x02, 0x02, 0x01, 0x01, 0x01,  
0x01, 0x01, 0x01, 0x01, 0x02, 0x02, 0x02, 0x03,  
0x03, 0x04, 0x05, 0x06, 0x06, 0x07, 0x08, 0x0A,  
0x0B, 0x0C, 0x0D, 0x0F, 0x10, 0x11, 0x13, 0x15,  
0x16, 0x18, 0x1A, 0x1C, 0x1E, 0x20, 0x22, 0x24,  
0x26, 0x28, 0x2B, 0x2D, 0x2F, 0x32, 0x34, 0x37,  
0x39, 0x3C, 0x3F, 0x41, 0x44, 0x47, 0x4A, 0x4D,  
0x4F, 0x52, 0x55, 0x58, 0x5B, 0x5E, 0x61, 0x64,  
0x67, 0x6A, 0x6D, 0x70, 0x74, 0x77, 0x7A, 0x7D
```

```
void InitSinTable()
```

```
{
```

```
Page | 42
```

```
//sin period is 2*Pi
```

```
const float step = (2*M_PI)/(float)256;
```

```

float s;

float zero = 128.0;

//in radians
for(int i=0;i<256;i++)
{
s = sin( i * step );

//calculate OCR value (in range 0-255, timer0 is 8 bit)
wave[i] = (uint8_t) round(zero + (s*127.0));
}
}

void InitPWM()
{
/*

```

TCCR0 - Timer Counter Control Register (TIMER0)

BITS DESCRIPTION

NO: NAME DESCRIPTION

BIT 7 : FOC0 Force Output Compare

BIT 6: WGM00 Wave form generartion mode [SET to 1]

BIT 5: COM01 Compare Output Mode [SET to 1]

BIT 4: COM00 Compare Output Mode [SET to 0]

BIT 3: WGM01 Wave form generation mode [SET to 1]

BIT 2: CS02 Clock Select [SET to 0]

BIT 1: CS01 Clock Select [SET to 0]

BIT 0: CS00 Clock Select [SET to 1]

*/

```
TCCR0|=(1<<WGM00)|(1<<WGM01)|(1<<COM01)|(1<<CS00);
```

```
TIMSK|=(1<<TOIE0);
```

```
DDRB|=(1<<PB3);
```

```
}
```

```
ISR(TIMER0_OVF_vect)
```

```
{
```

```
OCR0 = wave[sample];
```

```
sample++;
```

```
if( sample >= 255 )
```

```
sample = 0;
```

```
}
```

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Aqidatul Izzah, merupakan anak ketujuh dari delapan bersaudara dari pasangan Bapak Ridwan dan Ibu Djumaati yang dilahirkan di Surabaya pada tanggal 25 Februari 1996. Penulis menyelesaikan pendidikan formalnya di SD Tanwirul Afkar Surabaya, Mts. Bani Hasyim Gresik, SMA Negeri 12 Surabaya. Setelah lulus dari SMA tahun 2014, penulis mengikuti tes Diploma ITS dan diterima di Departemen Teknik Instrumentasi, Fakultas vokasi (FV) - ITS dan terdaftar dengan NRP 2414031049. Selama menjalankan pendidikan di kampus ITS Surabaya, penulis berpartisipasi aktif dalam organisasi kemahasiswaan Himpunan Mahasiswa Teknik Fisika FTI-ITS (HMTF FTI-ITS) sebagai staff external HMTF FTI-ITS (2015/2016), staff keilmuan JMMI ITS (2015/2016), ketua kemuslimahan FUSI UA Teknik Fisika ITS (2016/2017), middle keilmuan JMMI ITS (2016/2017), dan pengurus DPA HMTF ITS (2016/2017). Pada tahun 2017, penulis mampu menyelesaikan gelar ahli madya di Departemen Teknik Instrumentasi, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis berhasil menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“RANCANG BANGUN DAN ANALISIS INVERTER FULL BRIDGE 1 FASA DENGAN BERBAGAI VARIASI INPUT MENGGUNAKAN SPWM (SINUSOIDAL PULSE WIDTH MODULATION)”**. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran, atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai Tugas Akhir ini maka dapat menghubungi penulis melalui aqidatulizzah123@gmail.com.