



RANCANG BANGUN INVERTER *FULL BRIDGE* SATU FASA

SKRIPSI

Oleh

**RIFQI BAGUS PRABOWO
NIM 141910201046**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**



RANCANG BANGUN INVERTER *FULL BRIDGE* SATU FASA

SKRIPSI

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

Oleh

RIFQI BAGUS PRABOWO
NIM 141910201046

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018

PERSEMBAHAN

Dengan berkat rahmat Allah S.W.T. yang telah memberikan segala nikmat serta anugerah-Nya sehingga dapat saya persembahkan skripsi ini kepada :

1. Kedua orang tua, Sunhaji dan Nor Khamidah yang selalu memberikan doa dan dukungannya kepada saya dari kecil hingga saya mencapai gelar sarjana teknik (ST).
2. Kakak adik saya Epsilonita Naviyuda Desevia, Alfin Aditya Andika dan Infimum Deviasi Yulamda yang sudah memberikan dukunga kepada saya.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M dan bapak Suprihadi, S.T.,M.T. terima kasih banyak atas bimbingan, ilmu, dan nasehatnya.
4. Keluarga Besar Teknik Elektro Angkatan 2014, saya bangga menjadi angkatan 2014. Terimakasih atas dukungan dan motivasi yang kalian berikan
5. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember

MOTO

*“Barang siapa keluar untuk mencari ilmu
maka dia berada di jalan Allah”
(HR. Turmudzi)*

*Rencanakanlah yang anda akan lakukan, dan lakukanlah yang
telah anda rencanakan
(Mario Teguh)*

*“Saya sukses, karena saya telah kehabisan apa
yang disebut dengan kegagalan
(Thomas Alfa Edison)*

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Rifqi Bagus Prabowo

NIM : 141910201046

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya tulis yang berjudul “Rancang Bangun Inverter *Full Bridge* satu Fasa” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 20 Juni 2018

Yang menyatakan,

Rifqi Bagus Prabowo

NIM. 141910201046

SKRIPSI

RANCANG BANGUN INVERTER *FULL BRIDGE* SATU FASA

Oleh

Rifqi Bagus Prabowo
NIM 141910201046

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Ir. Bambang Sujanarko M.M.
Dosen Pembimbing Anggota : Suprihadi Prasetyono, ST., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Rancang Bangun Inverter *Full Bridge* Satu Fasa” telah diuji dan disahkan pada :

hari, tanggal : Selasa, 5 Juni 2018

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,

Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.

NIP 19631201 199402 1 002

Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T.

NIP 19700404 199601 1 001

Penguji I

Penguji II

Dr. Ir Widyono Hadi, M.T

NIP 19610414 198902 1 001

Triwahju Hardianto, S.T., M.T., Ph.d

NIP 19700826 199702 1 001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM

NIP 19661215 199503 2 001

Rancang Bangun Inverter *Full Bridge* Satu Fasa

Rifqi Bagus Prabowo

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRAK

Kemajuan teknologi pada sebagian besar peralatan tidak akan lepas dengan penggunaan energi listrik. Terdapat berbagai jenis peralatan yang menggunakan energi listrik untuk dapat beroperasi. Listrik memiliki dua jenis yaitu listrik DC (*Direct Current*) dan listrik AC (*Alternating Current*). Listrik yang umum digunakan untuk komponen rumah tangga menggunakan listrik AC. Listrik AC dapat dihasilkan dari listrik DC dengan menggunakan alat yaitu inverter. Inverter memiliki berbagai metode perubahan listrik DC ke listrik AC.

Pada penelitian yang dilakukan mengenai inverter dengan konfigurasi inverter menggunakan metode *full bridge*. Dengan menggunakan konfigurasi *full bridge* didapatkan hasil yang lebih efisien dengan menggunakan konfigurasi lain. Sumber tegangan inverter menggunakan baterai 12 volt dengan kapasitas 35 Ah. Kapasitas daya maksimal yang dihasilkan inverter sebesar 100 watt. Untuk mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC digunakan mikrokontroler arduino uno R3 sebagai kontrol *switching* rangkaian *full bridge*. Proses *switching* mikrokontroler menggunakan frekuensi 20 kHz gelombang PWM. Dalam frekuensi tersebut setiap 400 gelombang PWM yang dihasilkan membentuk gelombang sinus. Hasil dari pembagian gelombang tersebut didapatkan frekuensi pada inverter sebesar 50 Hz. Dari hasil pengujian inverter dengan konfigurasi *full bridge* menggunakan mikrokontroler sebagai *switching* memiliki bentuk gelombang dan frekuensi yang baik dengan THD_v yang didapatkan $\pm 5\%$.

Kata kunci : Inverter, Mikrokontroler, *Full Bridge*, *Sine Pulse Width Modulation*.

Design of single phase Full Bridge Inverter

Rifqi Bagus Prabowo

*Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,
Universitas Jember*

ABSTRACT

Technological advances in most equipment will not come off with the use of electrical energy. There are various types of equipment that use electrical energy to operate. Electricity has two types of DC electricity (Direct Current) and AC power (Alternating Current). General electricity is used for household components using AC power. AC power can be generated from DC power by using an inverter. The inverter has various methods of converting DC power to AC.

In a study conducted on inverter with inverter configuration using full bridge method. By using the full bridge configuration obtained more efficient results by using other configurations. The inverter voltage source uses a 12 volt battery with a capacity of 35 Ah. The maximum power capacity generated by the inverter is 100 watts. To convert DC voltage into AC voltage arduino uno R3 microcontroller is used as switching control of full bridge circuit. The process of switching microcontroller using frequency 20 kHz PWM wave. In that frequency every 400 PWM waves generated form a sine wave. Results from the division of the wave frequency obtained on the inverter of 50 Hz. From the results of inverter testing with full bridge configuration using microcontroller as a switching has a waveform and a good frequency with THDv obtained $\pm 5\%$.

Key words : *Inverter, Mikrokontroler, Full Bridge, Sine Pulse Width Modulation.*

RINGKASAN

Rancang Bangun Inverter Full Bridge Satu Fasa; Rifqi Bagus Prabowo; 141910201046, 2018; 94 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Kemajuan teknologi pada sebagian besar peralatan tidak akan lepas dengan penggunaan energi listrik. Terdapat berbagai jenis peralatan yang ada saat ini menggunakan energi listrik, untuk menggunakan peralatan tersebut dibutuhkan sumber tegangan baik DC maupun AC. Tegangan listrik dapat dilakukan konversi dari DC ke AC dengan menggunakan inverter.

Inverter adalah sebuah metode untuk mendapatkan tegangan AC dari hasil konversi tegangan DC dengan menggunakan rangkaian elektronika. Inverter dapat mengkonversi tegangan DC menjadi tegangan AC satu fasa atau tiga fasa. Terdapat beberapa jenis konfigurasi rangkaian inverter salah satunya adalah rangkaian dengan konfigurasi *full bridge*.

Rangkaian dari inverter dengan menggunakan konfigurasi *full bridge* memiliki kelebihan efisiensi yang baik. Rangkaian inverter full bridge menggunakan 4 buah mosfet dengan dua jenis mosfet yang berbeda yaitu IRF 9540 dan IRF 540. Perbedaan jenis mosfet tersebut bertujuan untuk memudahkan dalam proses switching, sehingga dalam satu pin dapat mengontrol dua buah mosfet dengan keadaan berbeda tanpa harus memberikan rangkaian tambahan.

Proses switching dari inverter menggunakan arduino uno dengan setup pin 9 dan 10 sebagai switching driver mosfet. Satu pin dari mikrokontroler dapat mengontrol dua buah mosfet tipe N dan tipe P. Proses switching inverter memiliki frekuensi sebesar 20 kHz dengan bentuk gelombang *modified sinewave*. Pada frekuensi tersebut terdapat pembagian gelombang PWM untuk mendapatkan frekuensi 50 Hz. Setiap 400 gelombang PWM akan menghasilkan 1 gelombang *modified sinewave*. Sehingga dalam frekuensi 20kHz gelombang PWM terdapat 50 Hz gelombang *modified sinewave*.

Dari penelitian yang sudah dilakukan gelombang *modified sinewave* yang didapatkan kemudian difilter dengan menggunakan rangkaian *low pass filter*

untuk menghilangkan frekuensi yang melebihi daerah *cut-off*. Hasil dari penelitian yang sudah dilakukan didapatkan frekuensi rata-rata inverter sebesar 50,26 Hz. Nilai tegangan yang dihasilkan inverter sebesar 220 pada kondisi tanpa beban.

Pengujian inverter dilakukan dengan memberikan beban induktif dan beban resistif. Pembebanan induktif dilakukan dengan menggunakan dua jenis motor listrik dengan kecepatan yang dapat diubah. Hasil dari pengujian dau beban induktif dengan daya 55 watt didapatkan efisiensi inverter sebesar 80%. Pada pengujian inverter dengan menggunakan beban resistif didapatkan hasil efisisensi rata-rata inverter sebesar 70%. Pada pengujian inverter dengan menggunakan beban induktif dan beban resistif didapatkan hasil efisiensi mencapai rata-rata 80%.

Pada pengujian inverter dengan menggunakan beban induktif dan beban resistif, kualitas dari gelombang yang dihasilkan ditentukan dengan besarnya nilai THD yang dihasilkan. Hasil penelitian inverter *full bridge* satu fasa nilai THD_v yang didapatkan pada kondisi tanpa beban sebesar 5% dan pada pengujian dengan menggunakan beban, nilai maksimum THD_v yang didapat sebesar 11,78%

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, yang telah memberikan kemudahan, kesempatan dan kelancaran sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Rancang Bangun Inverter *Full Bridge* Satu Fasa”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Program Studi Strata Satu (S1) Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

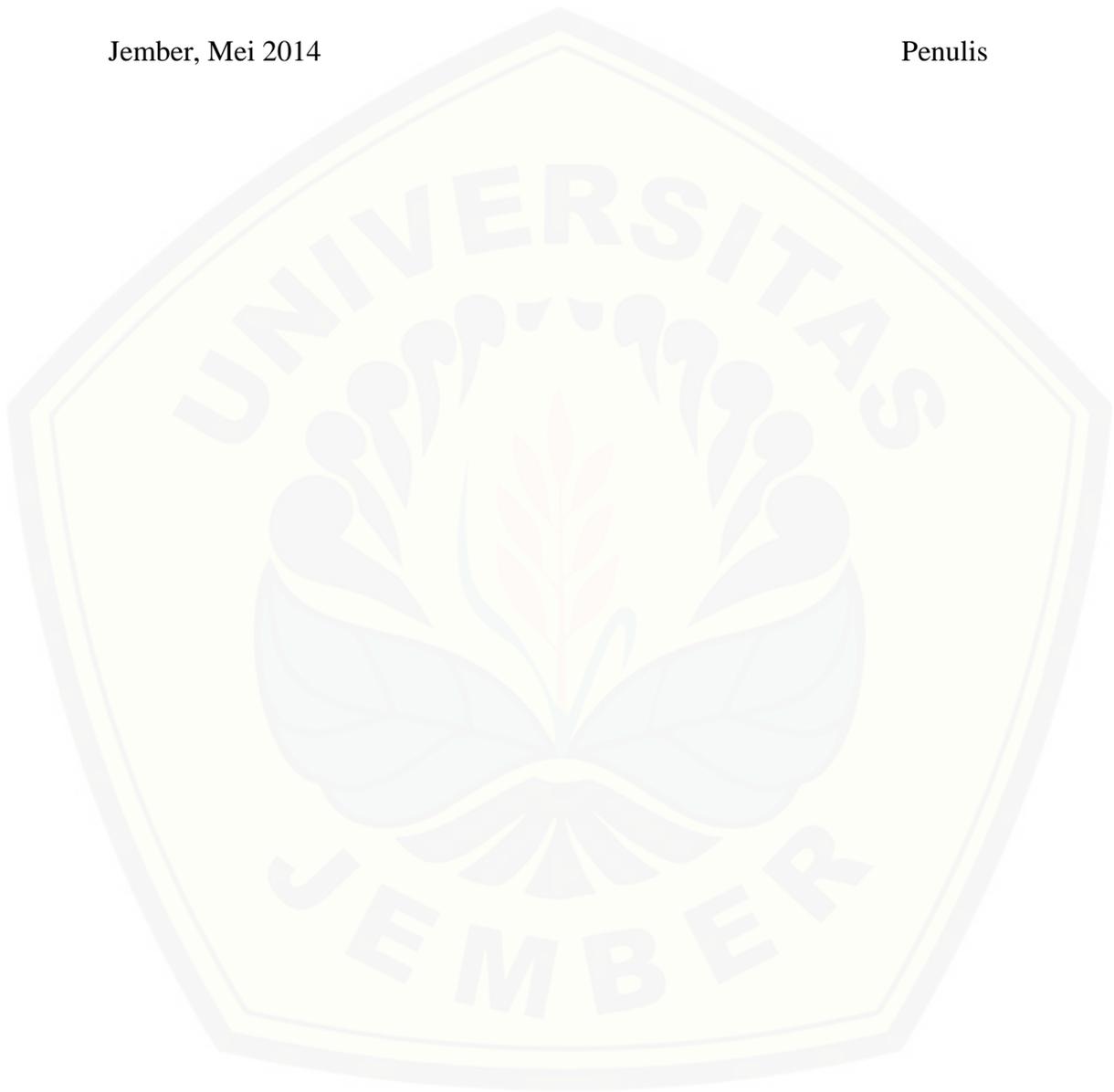
Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu tersusunnya skripsi ini, khususnya kepada:

1. Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
2. Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T, M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember.
3. Bapak Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Suprihadi Prasetyono, ST., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran dan perhatiannya guna memberikan pengarahan dan bimbingan demi terselesaikannya penulisan skripsi ini.
4. Bapak Ir. Widyono Hadi, MT. dan Bapak Suprihadi Prasetyo, S.T, M.T, selaku Tim Penguji Skripsi yang telah meluangkan waktu dan pikiran serta perhatiannya guna memberikan pengarahan dan koreksi demi terselesaikannya penulisan skripsi ini.
5. Ayahanda Sunhaji dan Ibunda Nur Khamidah tercinta, yang telah membantu baik moril dan materiil, mendoakan, mendidik, dan memberi kasih sayang serta pengorbanan yang tidak terhingga selama ini..
6. Keluarga besar Elektro UNEJ, Laboratorium Listrik Dasar, bersama kalian semua merupakan kenangan dan pengalaman yang tak akan pernah terlupakan.
7. Dan rekan-rekan seperjuangan KETEK UJ 2014 yang telah banyak membantu selama saya kuliah disini.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis menyadari masih banyak kekurangan, kritik dan saran tetap diharapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat. Aamiin

Jember, Mei 2014

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	ii
HALAMAN MOTTO.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PENGESAHAN.....	vi
ABSTRAK	vii
RINGKASAN	ix
PRAKATA.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Sistematika Penelitian	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Kajian Terdahulu	6
2.2 Inverter	6
2.3 PWM (Pulse Width Modulation)	12
2.4 Filter Frekuensi.....	17
2.5 MOSFET	21

2.6	Transformator.....	27
2.7	Total Harmonic Distortion(THD)	35
BAB 3. METODE PENELITIAN.....		36
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	36
3.1.1	Tempat Penelitian	36
3.1.2	Waktu Penelitian.....	36
3.2	Alat dan Bahan	36
3.3	Rancangan Penelitian	36
3.4	Perancangan Desain Inverter.....	39
3.4.1	Diagram perancangan Inverter.....	39
3.4.2	Rancangan Inverter	40
3.4.3	Baterai	40
3.4.4	Regulator.....	41
3.4.5	Mikrokontroler Arduino.....	41
3.4.6	Driver MOSFET	43
3.4.7	Inverter satu fasa	44
3.4.8	Low Pass Filter.....	45
3.4.9	Transformator.....	46
3.5	Software.....	48
3.5.1	Arduino	48
3.5.2	Smart Sine	48
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....		50
4.1	Rangkaian Inverter	50
4.1.1	Driver MOSFET	50
4.1.2	Inverter satu fasa	51
4.1.3	<i>Low Pass Filter</i>	53

4.2	Pengujian Rangkaian Inverter	53
4.3	Pengujian Gelombang PWM.....	54
4.4	Pengujian Gelombang <i>Modified Sinewave</i> pada Mikrokontroler.....	58
4.5	Pengujian Driver Mosfet	61
4.5.1	Pengujian Tegangan Driver Mosfet	61
4.5.2	Pengujian Gelombang Driver MOSFET	65
4.6	Pengujian Low Pass Filter.....	67
4.7	Pengujian Inverter	69
4.7.1	Pengujian Inverter dengan Beban Resistif Bervariasi.....	69
4.7.2	Pengaruh Beban Resistif terhadap Bentuk Gelombang	71
4.7.3	Pengujian Inverter dengan Beban Induktif	73
4.7.4	Pengujian Inverter dengan Beban Resistif Berbeda.....	77
4.7.5	Pengujian Inverter dengan Beban Resistif dan Induktif	80
4.8	Effisiensi Inverter	82
4.8.1	Efisiensi pembebanan dengan Beban Resistif	82
4.8.2	Efisiensi dengan Pembebanan Beban Induktif.....	84
4.8.3	Efisiensi dengan Beban Resistif dan Induktif	86
4.8.4	Total Harmonic Distortion.....	87
BAB 5. PENUTUP.....		93
5.1	Kesimpulan.....	93
5.2	Saran.....	93
DAFTAR PUSTAKA		95
LAMPIRAN.....		97

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Data kondisi saklar.....	12
Tabel 4. 1 Data pengujian Rangkaian Inverter	54
Tabel 4. 2 Perubahan Gelombang PWM	55
Tabel 4. 3 Perbandingan Tegangan Driver MOSFET.....	62
Tabel 4. 4 Perbedaan Gelombang PWM Driver Mosfet.....	65
Tabel 4. 5 Pengujian dengan Beban Resistif.....	70
Tabel 4. 6 Pengaruh Beban Terhadap Bentuk Gelombang.....	72
Tabel 4. 7 Pembebanan Induktif	74
Tabel 4. 8 Pengujian Gelombang Inverter dengan Beban induktif.....	75
Tabel 4. 9 Data Pengujian Dua Beban Induktif	76
Tabel 4. 10 Gelombang Inverter dengan Beban Induktif.....	77
Tabel 4. 11 Data Pengujian Inverter dengan Beban Resistif yang Berbeda	78
Tabel 4. 12 Pengujian dengan Beban Resistif Berbeda	78
Tabel 4. 13 Data Pengujian Inverter dengan Beban Resistif dan Induktif.....	80
Tabel 4. 14 Gelombang Hasil Pemberian Beban Resistif dan Induktif	81
Tabel 4. 15 Hasil Efisiensi Inverter Beban Resistif.....	83
Tabel 4. 16 Data Efisiensi Satu Beban induktif.....	84
Tabel 4. 17 Data Efisiensi Inverter Dengan Dua Beban Induktif	85
Tabel 4. 18 Hasil Efisiensi dengan Beban Resistif dan Induktif	86
Tabel 4. 19 Harmonisa Tegangan dan Arus Keluaran Tanpa Beban.....	88
Tabel 4.20 Pengaruh Beban Resistif Terhadap THDv.....	89
Tabel 4. 21 Pengaruh dua Beban Resistif pada THDv	90
Tabel 4. 22 Pengaruh Beban Resistif dan Induktif pada THDv.....	90
Tabel 4. 23 Pengaruh Beban Induktif Terhadap THDv	90
Tabel 4. 24 Pengaruh Dua Beban Induktif Terhadap THDv	90

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Gelombang Keluaran Inverter	6
Gambar 2.2 Gelombang Kotak	7
Gambar 2.3 Gelombang <i>Modified Squarewave</i>	7
Gambar 2.4 Gelombang <i>Modified Sinewave</i>	8
Gambar 2.5 Bentuk Gelombang <i>Pure Sinewave</i>	9
Gambar 2.6 Rangkaian Konfigurasi Push-pull Inverter.....	9
Gambar 2.7 Rangkaian <i>full bridge converter</i> satu fasa.....	10
Gambar 2.8 (a) Konfigurasi full bridge (b) S1 dan S4 terhubung (c) S2 dan S3 terhubung (d) S1 dan S3 terhubung (e) S2 dan S4 terhubung	12
Gambar 2. 9 Rangkaian PWM analog	13
Gambar 2. 10 Pembentukan Sinyal PWM (http://www.maulanurulkhakam.com)13	
Gambar 2. 11 Perubahan Duty Cycle PWM (http://kecoakacau.blogspot.com) ..	14
Gambar 2. 12 (a) komparasi sinyal segitiga dengan sinyal sinus (b) Keluaran sinyal PWM sebagai Switching (c) keluaran sinyal PWM sebagai sinyal switching.....	15
Gambar 2. 13 Duty Cycle gelombang PWM.....	16
Gambar 2.14 (a) respon frekuensi <i>low pass filter</i> (b) respon frekuensi <i>high pass filter</i>	17
Gambar 2. 15 (a) respon frekuensi <i>band pass filter</i> (b) respon frekuensi <i>band stop filter</i>	18
Gambar 2.16 Respon Frekuensi dalam kondisi praktis	18
Gambar 2. 17 <i>Low Pass Filter</i> LC	19
Gambar 2. 18 Sinyal Hasil Filter (http://www.analog.com)	21
Gambar 2. 19 (a). N-Channel Depletion (b). P-Channel Depletion.....	22
Gambar 2. 20 (a). N-Channel Enhancement (b). P-Channel Enhancement.....	22
Gambar 2. 21 Skematik MOSFET tipe-n (Hodges-Jackson 1987: 37).....	23
Gambar 2. 22 Kurva karakteristik MOSFET (http://elektronika-dasar.web)	25
Gambar 2. 23 Rangkaian sebagai saklar pada kondisi cut-off (http://elektronika-dasar.web)	26
Gambar 2. 24 Rangkaian MOSFET dalam kondisi saturasi	26
Gambar 2. 25 MOSFET (Oscarliang.com)	27

Gambar 2. 26 Prinsip Kerja Transformator	27
Gambar 2. 27 Dimensi Transformator (http://widypedia.blogspot.co.id).....	32
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	37
Gambar 3. 2 Blok Diagram inverter.....	39
Gambar 3. 3 Rangkaian Regulator	41
Gambar 3. 4 Arduino Uno R3(Sumber Arduino.cc).....	42
Gambar 3. 5 Gelombang <i>Modified Sine Wave</i>	42
Gambar 3. 6 Rangkaian Driver MOSFET	43
Gambar 3. 7 Skema Rangkaian Inverter satu fasa	44
Gambar 3. 8 Skema Driver Inverter	45
Gambar 3. 9 Rangkaian low pass filter LC	45
Gambar 3. 10 <i>Interface software</i> arduino (Sumber Arduino.cc)	48
Gambar 3. 11 Software Smart Sine.....	48
Gambar 3. 12 Grafik Sinus hasil konversi	49
Gambar 4. 1 Layout PCB	52
Gambar 4. 2 Rangkaian Inverter Full Bridge.....	52
Gambar 4. 3 Grafik Perubahan Gelombang PWM	57
Gambar 4. 4 Grafik Perubahan Gelombang PWM	58
Gambar 4. 5 (a) Gelombang <i>Modified Sinewave</i> (pin 9) (b) Gelombang <i>Modified Sinewave</i> (pin 10).....	59
Gambar 4. 6 Perbedaan Sudut Fasa Gelombang PWM	60
Gambar 4. 7 Penggabungan Gelombang PWM	60
Gambar 4. 8 Bentuk Gelombang <i>Modified Sinewave</i>	61
Gambar 4. 9 Gelombang <i>Modified Sinewave</i>	68
Gambar 4. 10 Gelombang <i>Output Low Pass Filter</i>	68
Gambar 4. 11 Gelombang Output Driver Mosfet	69
Gambar 4. 12 Gelombang Tegangan keluaran pada beban	87
Gambar 4. 13 Spektrum Gelombang Tegangan Keluaran Tanpa Beban.....	87
Gambar 4. 14 Spektrum Gelombang Arus Tanpa Beban.....	88
Gambar 4. 15 Pengaruh THD _v terhadap Efisiensi pada Beban RR.....	91
Gambar 4. 16 Pengaruh THD _v terhadap Efisiensi pada Beban RL.....	91
Gambar 4. 17 Pengaruh THD _v terhadap Efisiensi pada Beban LL.....	92

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan teknologi pada peralatan baik industri maupun rumah tangga tidak akan lepas dengan penggunaan listrik AC. Listrik AC merupakan kebutuhan yang paling penting untuk menghidupkan semua perangkat elektronik rumah tangga. Penggunaan listrik AC banyak digunakan oleh masyarakat karena pada awal adanya listrik di Indonesia adalah listrik berjenis *Alternating Current* atau listrik arus bolak-balik. Untuk memenuhi kebutuhan masyarakat akan kebutuhan listrik AC pemerintah mengadakan program pembuatan pembangkit tenaga listrik diseluruh Indonesia.

Listrik berjenis AC dapat dibangkitkan melalui listrik DC (*Direct Current*) atau listrik bergelombang searah. Tahapan untuk mendapatkan listrik AC dari pembangkitan menggunakan listrik DC dapat menggunakan sistem pembalikan kutub dari hasil keluaran listrik DC yang terhubung dengan beban. Metode tersebut disebut dengan inverter

Inverter adalah suatu alat yang dapat mengubah tegangan bolak-balik menjadi tegangan searah dengan frekuensi dan tingkat tegangan yang dapat diatur (Rashid, 1993). Rangkaian inverter terdiri dari tiga bagian, bagian pertama sebuah rangkaian yang terbentuk dari rangkaian konverter yang mengubah sumber tegangan bolak-balik jala-jala menjadi tegangan searah dan menghilangkan riak pada keluaran tegangan searah ini. Bagian kedua adalah rangkaian inverter yang mengubah tegangan searah menjadi tegangan bolak-balik satu fasa dengan frekuensi beragam. Kedua rangkaian ini disebut rangkaian utama. Bagian yang ketiga adalah sebuah rangkaian kontrol berfungsi sebagai pengendali rangkaian utama. Gabungan keseluruhan rangkaian ini disebut unit inverter (FATEC, 2006).

Inverter dapat secara luas diklasifikasikan ke dalam dua tipe, yaitu inverter satu fasa dan inverter tiga fasa. Setiap tipe inverter ini dapat menggunakan piranti terkendali turn-on dan turn-off (seperti BJTT, MOSFET, IGBT, MCT, SIT, GTO) atau thyristor komutasi paksa tergantung pada aplikasinya. Sebuah inverter disebut *voltage fed inverter* (VFI) jika tegangan masukan inverter dijaga konstan, *current*

fed inverter (CFI) jika arus masukan *inverter* dijaga konstan dan variable DC *linked inverter* jika tegangan masukannya dapat dikendalikan (Rashid, 1993).

Pembuatan *inverter* pada umumnya yang terdapat dipasar menggunakan konfigurasi *push pull*. Penggunaan konfigurasi ini memiliki kelebihan yaitu biaya untuk produksi cukup murah jika dibandingkan dengan *inverter* yang menggunakan konfigurasi *full bridge*. Penggunaan konfigurasi *full bridge* hanya membutuhkan minimal dua buah transistor untuk melakukan pembalikan kutup pada transformator, sehingga tidak membutuhkan biaya yang lebih banyak jika dibandingkan dengan konfigurasi *full bridge*. Dari semua kelebihan tersebut penggunaan konfigurasi *push pull* memiliki kekurangan dalam hal efisiensi. Efisiensi dari konfigurasi *push pull* dibawah dari *inverter* yang menggunakan konfigurasi *full bridge*. Sehingga jika dibandingkan hasil biaya produksi dengan efisiensi selama penggunaan *inverter* secara terus menerus bisa didapatkan hasil yang sama atau bahkan lebih efisien menggunakan *inverter* dengan konfigurasi *full bridge*. Dengan perbandingan tersebut saya memilih menggunakan *inverter* dengan konfigurasi *full bridge* untuk dilakukan pengujian. Pembuatan *inverter full bridge* ini menggunakan mikrokontroler sebagai pengendali pembangkitan pulsa yang akan dijadikan sebagai pemicu pada transistor yang digunakan untuk membalikkan kutup yang terhubung dengan transformator.

Pembangkitan pulsa dengan menggunakan mikrokontroler bertujuan untuk menghasilkan gelombang yang hampir menyerupai sinus murni. Hasil gelombang yang menyerupai sinus murni ini didapatkan dengan melakukan modifikasi gelombang PWM (*Pulse Width Modulation*). Pembangkitan untuk modifikasi gelombang PWM ini dilakukan menggunakan mikrokontroler, sehingga untuk penggunaan peralatan rumah tangga yang menggunakan motor listrik dapat digunakan. Desain dari *inverter* yang dibuat memiliki tegangan sumber 12 volt DC yang kemudian akan dijadikan 220 volt AC dengan hasil gelombang yang diharapkan menyerupai gelombang sinus (*modified sine wave*)

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini ada beberapa hal yang menjadi rumusan masalah diantaranya:

- a. Bagaimana desain *hardware inverter* satu fasa gelombang *modified sinewave*?
- b. Bagaimana pengaruh beban terhadap terhadap bentuk gelombang?
- c. Berapa besar hasil efisiensi menggunakan konfigurasi *full bridge* ?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang terdapat pada rumusan masalah terdapat batasan masalah diantaranya :

- a. Penggunaan driver inverter menggunakan mosfet IRF 9540 dan IRF 540
- b. Pembangkit gelombang PWM menggunakan mikrokontroler Arduino
- c. Konfigurasi inverter menggunakan *Full Bridge*
- d. Daya yang dihasilkan sebesar 100 watt

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian yang diusulkan dalam skripsi ini memiliki beberapa tujuan diantaranya:

- a. Dapat mendesain *hardware inverter* satu fasa *modified sinewave* berbasis mikrokontroler.
- b. Mendapatkan hasil frekuensi inverter yang stabil.
- c. Mengetahui pengaruh perubahan beban terhadap bentuk gelombang tegangan dan arus.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat yang didapat setelah melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mengetahui desain yang terbaik untuk mengubah gelombang DC menjadi gelombang AC.
- b. Meningkatkan ketersediaan listrik dengan memanfaatkan sumber tegangan DC.

- c. Dapat digunakan sebagai pembelajaran respon gelombang terhadap perubahan beban.

1.6 Sistematika Penelitian

Secara garis besar penyusunan proposal skripsi ini adalah sebagai berikut:

- a. BAB 1. PENDAHULUAN Berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika pembahasan.
- b. BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA Berisi penjelasan tentang teori yang berhubungan dengan penelitian.
- c. BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN 4 Menjelaskan tentang metode kajian yang digunakan untuk menyelesaikan skripsi.
- d. BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN Berisi hasil penelitian dan analisa hasil penelitian.
- e. BAB 5 PENUTUP Berisi tentang kesimpulan dan saran dari penulis.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Terdahulu

Penelitian yang dilakukan oleh Vike Tiffany Bawotong dkk (2015) dalam penelitiannya tentang rancang bangun *uninterruptible power supply* menggunakan tampilan LCD berbasis mikrokontroler dapat bermanfaat saat listrik dari PLN putus. Peneliti juga merancang inverter dengan menggunakan IC 4047 yang digunakan sebagai pembangkit sinyal gelombang kotak (*square wave*) dengan frekuensi 50 Hz dengan tegangan DC dari aki.

Pada tahun 2010 Cahyo Ariwibowo dkk merancang sebuah inverter *dual conversion* dengan konfigurasi *push pull* dan *full bridge* dengan trafo *step up* inti ferit untuk menaikkan tegangan keluaran menjadi 220 VAC dengan frekuensi 50 Hz.

Penelitian yang dilakukan oleh Fahdli MR (2010), merancang sebuah inverter 12V DC ke 220V AC dengan frekuensi 50Hz dan gelombang keluaran *sinusoidal*. Dalam penelitiannya gelombang sinusoidal didapatkan dari rangkaian filter *low pass filter*.

2.2 Inverter

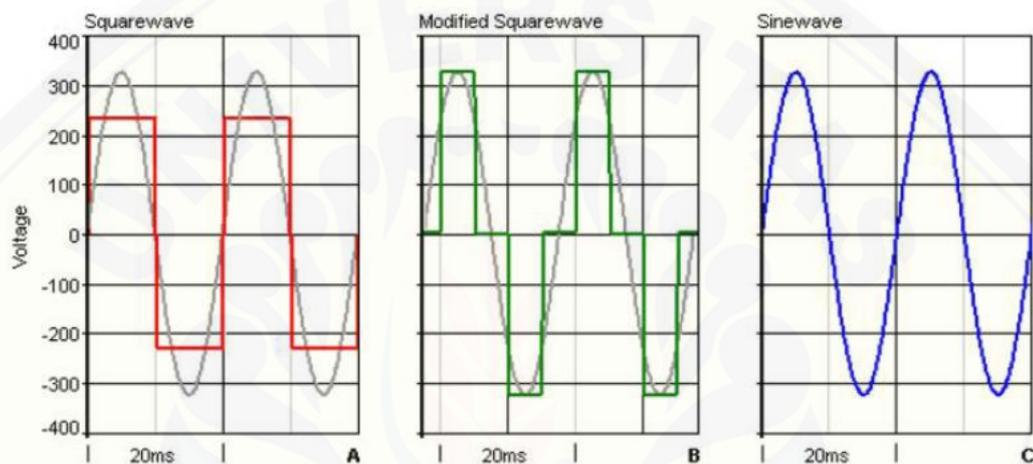
Power inverter merupakan perangkat elektronik yang dapat mengubah sumber arus searah DC (Direct Current) menjadi arus bolak-balik AC (Alternating Current). Inverter digunakan dalam banyak aplikasi, contohnya digunakan dalam sebuah kondisi yang hanya tersedia arus DC rendah seperti yang dihasilkan baterai (Accu) atau panel surya dan dibutuhkan untuk menyuplai peralatan elektronika dengan masukan arus AC.

Terdapat tiga perbedaan gelombang pada tegangan AC yang dihasilkan inverter pada umumnya, yaitu keluaran berupa sinyal kotak (*square wave*), sinyal sinus modifikasi (*modified sine wave*) dan sinyal sinus murni (*pure sine wave*). Sinyal sinus modifikasi adalah keluaran inverter yang berupa gelombang kotak (*square wave*) maupun gelombang kotak termodifikasi yang bentuknya mengikuti pola gelombang sinus. Tipe sinus modifikasi ini lebih mudah dibuat dibandingkan

dengan inverter dengan keluaran sinus murni. Inverter sinus murni menghasilkan gelombang keluaran yang identik dengan gelombang yang dihasilkan oleh operator penyedia listrik.

Inverter dapat diklasifikasikan berdasarkan gelombang keluarannya sebagai berikut:

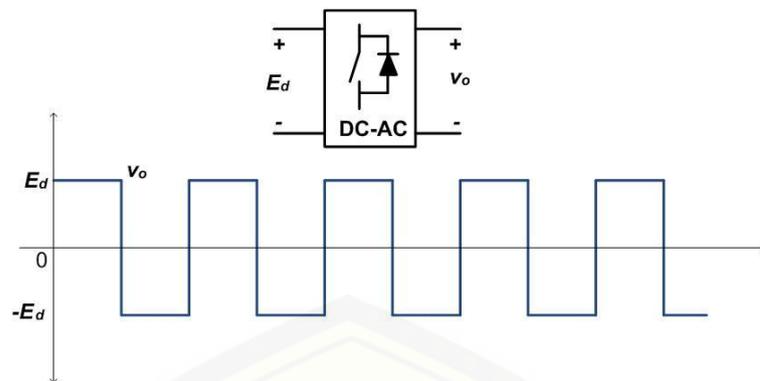
1. Squarewave
2. Modified Squarewave
3. Pure Sinewave



Gambar 2.1 Gelombang Keluaran Inverter

1. *Squarewave* Inverter

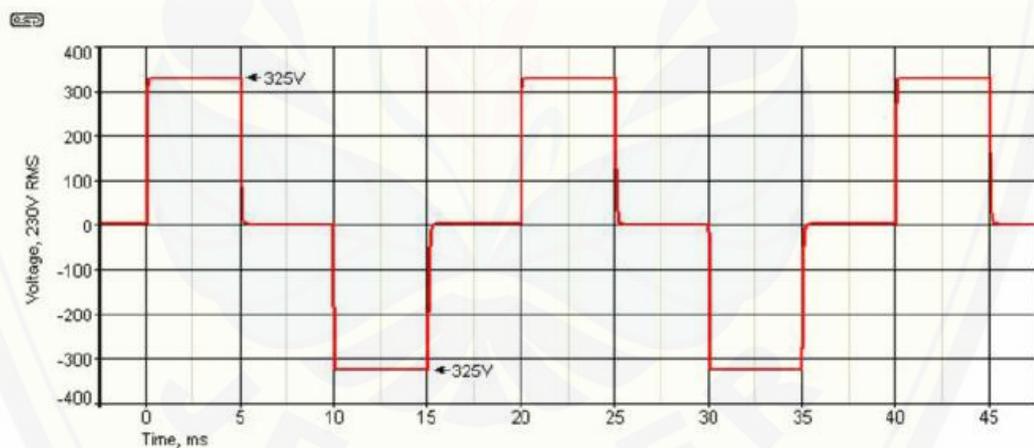
Squarewave inverter atau *inverter* gelombang kotak merupakan tipe inverter yang paling sederhana. Karena menggunakan osilator dasar yaitu osilator gelombang kotak sehingga inverter ini lebih mudah dalam pembuatannya. Inverter jenis ini dapat dibuat menggunakan rangkaian inverter push pull. Bentuk gelombang dari inverter gelombang kotak seperti pada gambar 1. Hasil dari inverter gelombang kotak memiliki keterbatasan dalam penggunaannya seperti tidak bisa dalam penggunaan untuk motor listrik



Gambar 2.2 Gelombang Kotak

2. *Modified Squarewave* Inverter

Untuk menghasilkan gelombang keluaran dari inverter yang memiliki tegangan RMS dan tegangan puncak yang sama diperlukan adanya modifikasi dari gelombang keluaran. Modifikasi gelombang ini dapat dilakukan untuk mendapatkan gelombang seperti pada gambar 3.

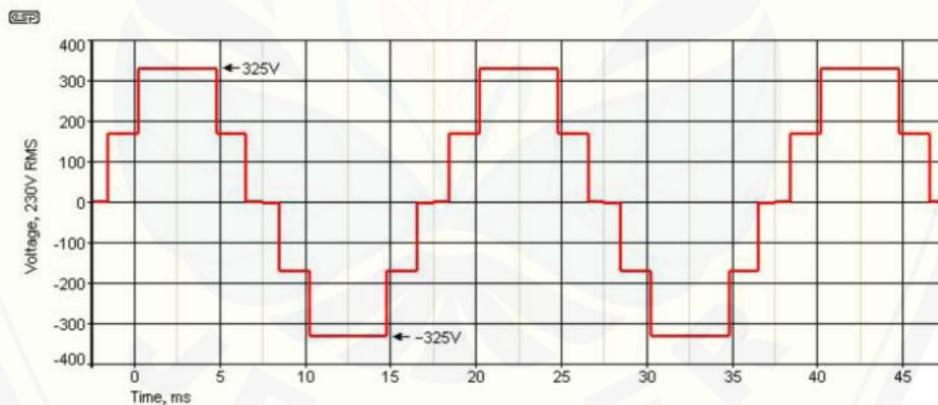


Gambar 2.3 Gelombang *Modified Squarewave*

Modifikasi dari gelombang kotak dapat dilihat dari gambar 3. Terdapat kondisi gelombang nol atau tidak bertegangan kondisi tersebut adalah modifikasi dari gelombang kotak yang pada gelombang kotak setelah berada pada titik teratas kemudian berubah 180 derajat. Hasil dari modifikasi gelombang kotak jika dilakukan modifikasi menjadi lebih banyak yang dipecah maka akan menjadi gelombang *modified sinewave*.

3. Modified Sinewave Inverter

Pada modified sinewave inverter sinyal yang dihasilkan memiliki bentuk yang menyerupai pola sinyal sinus. Gelombang *modified sinewave* merupakan pengembangan dari gelombang *modified squarewave*. *Modified sinewave* dapat dihasilkan dengan menggunakan gelombang PWM (*Pulse Width Modulation*). Penggunaan PWM sebagai pembangkitan dapat dihasilkan dari penggunaan mikrokontroler. Modifikasi gelombang PWM ini memiliki nilai tegangan yang dapat diatur pada setiap periode gelombang PWM. Sehingga dapat dilakukan pendekatan dengan memotong gelombang sinus menjadi beberapa bagian dan pada setiap bagian dari gelombang sinus tersebut diambil nilai tegangan rata-rata. Dari hasil tegangan rata-rata tersebut dapat diasumsikan untuk mendapatkan nilai tegangan untuk dilakukan modifikasi sehingga tegangan pada setiap bagian yang terpotong memiliki nilai tegangan yang berbeda dan jika gambar pada grafik akan menyerupai pada gambar 4.

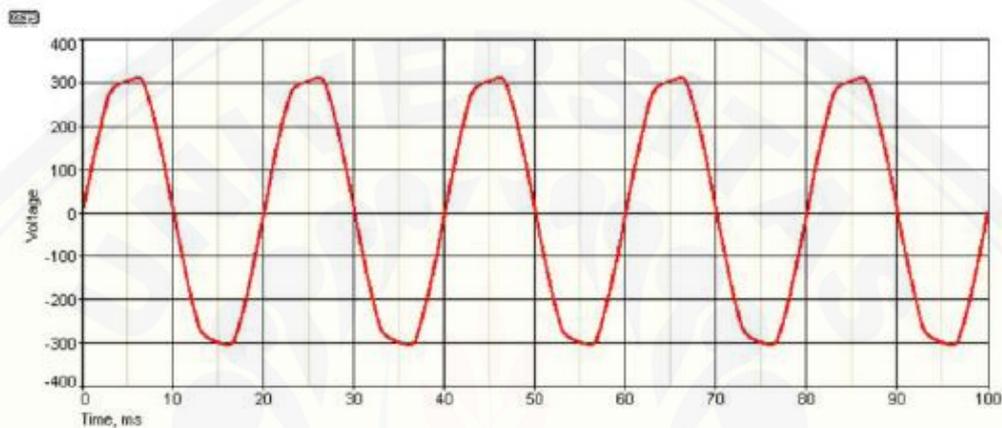


Gambar 2.4 Gelombang *Modified Sinewave*

Modifikasi gelombang pada gambar 4 dapat dilakukan dengan menggunakan mikrokontroler untuk memecah sinyal kotak sehingga hasil nilai tegangan rata-rata setiap gelombang yang dipecah memiliki nilai yang berbeda dan jika sampel yang diambil memiliki jumlah yang banyak maka hasil dari grafik gelombang akan menyerupai gelombang sinus murni.

4. Pure Sinewave Inverter

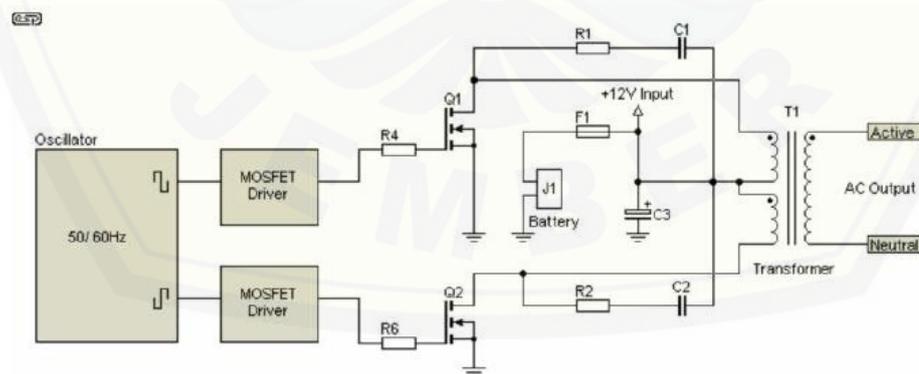
Pembuatan sebuah inverter sinus murni sedikit lebih sulit. Dibutuhkan sebuah ascilator sinyal sinur dengan frekuensi yang standar, power amplifier untuk menyediakan arus yang dibutuhkan dan sebuah transformator untuk dapat menghasilkan tegangan 230 V RMS. Pada jenis inverter ini tegangan puncak dan tegangan RMS berbeda dan sinyal ini dapat menggunakan metode SPWM. Gelombang sinus keluaran pure sinewave inverter apat terlihat seperti pada gambar 5.



Gambar 2.5 Bentuk Gelombang *Pure Sinewave*

Dalam perancangan sebuah inverter terdapat konfigurasi yang dapat digunakan, konfigurasi rangkaianannya adalah sebagai berikut:

1. *Push pull inverter*



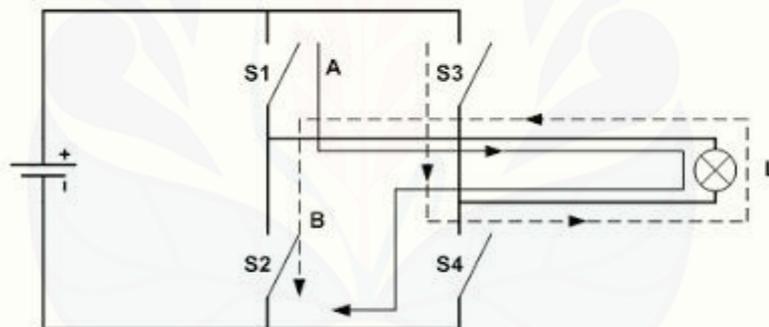
Gambar 2.6 Rangkaian Konfigurasi Push-pull Inverter

Pada gambar 6. Merupakan rangkaian push-pull inverter. Rangkaian ini bekerja dengan prinsip pensaklaran Q1 dan Q2 secara bergantian. Rangkain dengan

menggunakan konfigurasi ini untuk mendapatkan tegangan AC yang lebih tinggi digunakan transformator CT seperti pada gambar. Sehingga ketika Q1 aktif akan didapatkan gelombang positif dan ketika Q2 aktif didapatkan gelombang negatif. Konfigurasi dari rangkaian push-pull inverter dapat menghasilkan gelombang *Squarewave* atau gelombang kotak.

2. Full-bridge converter

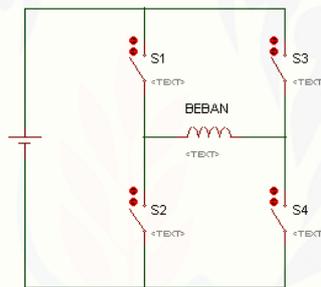
Full bridge converter merupakan rangkaian yang digunakan untuk mengubah tegangan DC ke AC. Konfigurasi ini terdiri dari 2 pasang saklar yaitu S1S2 dan S3S4 yang aktif secara bergantian. Pada konfigurasi *full bridge converter* tegangan DC diubah menjadi AC dengan pensaklaran secara bergantian untuk membalikkan polaritas yang terdapat pada beban dengan cepat. Rangkaian dari *full bridge converter* ditunjukkan pada gambar 7.



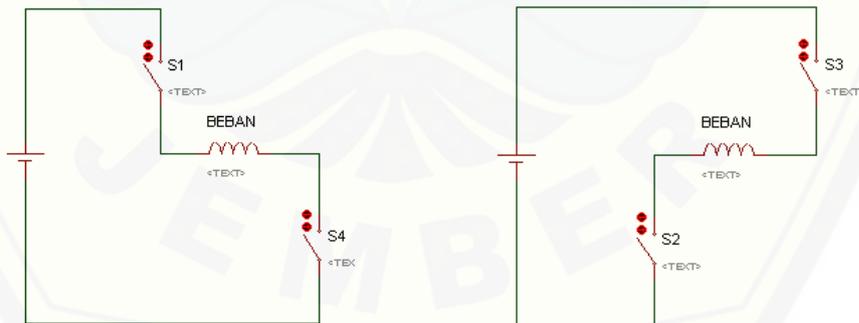
Gambar 2.7 Rangkaian *full bridge converter* satu fasa

Penggunaan konfigurasi *full bridge* membutuhkan empat buah saklar untuk dapat mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC. Penggunaan saklar tersebut dapat berupa transistor, SCR (*Silicon Controlled Rectifier*) atau FET (*Field Effect Transistor*). Untuk dapat mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC dengan konfigurasi *full bridge* proses pensaklaran harus dilakukan secara bertahap dan secara berurutan. Untuk mendapatkan gelombang tegangan positif maka saklar S1 dan saklar S4 harus berada pada kondisi ON (terhubung) dan pada saklar S2 dan S3 harus pada kondisi OFF (terputus) sehingga ketika pada saat S1 dan S4

terhubung maka beban yang terhubung langsung dengan S1 akan mendapatkan tegangan positif sedangkan beban yang terhubung dengan S4 akan mendapatkan sumber negatif tegangan. Untuk mendapatkan gelombang negatif yang berubah menjadi 180 derajat, saklar pada S1 dan S4 yang sebelumnya berada pada kondisi ON dilakukan perubahan menjadi OFF dan pada saklar S2 dan S3 dilakukan perubahan pada kondisi ON menjadi OFF. Sehingga beban yang sebelumnya terhubung dengan S1 akan terhubung dengan S2 dan beban yang sebelumnya mendapatkan tegangan positif akan terhubung dengan sumber tegangan negatif. Untuk beban yang sebelumnya terhubung dengan S4 akan berubah menjadi terhubung dengan S3 dan kutub beban yang sebelumnya mendapatkan tegangan negatif berubah menjadi tegangan positif.

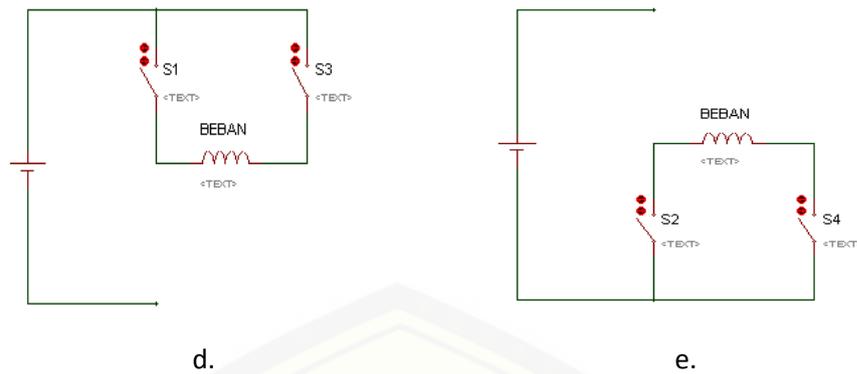


a.



b.

c.



Gambar 2.8 (a) Konfigurasi full bridge (b) S1 dan S4 terhubung (c) S2 dan S3 terhubung (d) S1 dan S3 terhubung (e) S2 dan S4 terhubung

Tabel 2.1 Data kondisi saklar

Kondisi Saklar	Tegangan Pada Beban
S1 dan S4	+VDC
S2 dan S3	-VDC
S1 dan S3	0
S2 dan S4	0

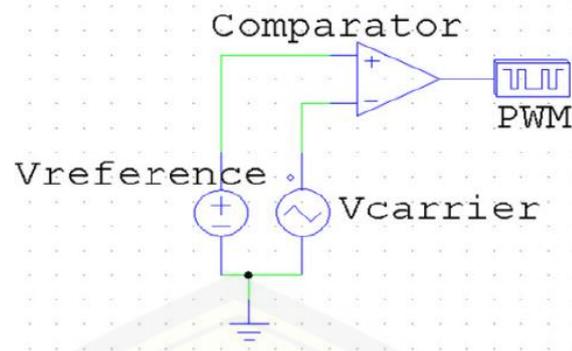
2.3 PWM (Pulse Width Modulation)

Pulse Width Modulation (PWM) merupakan sebuah cara untuk memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam suatu periode, untuk mendapatkan nilai tegangan rata-rata yang berbeda.

2.3.1 Jenis Pembangkitan PWM

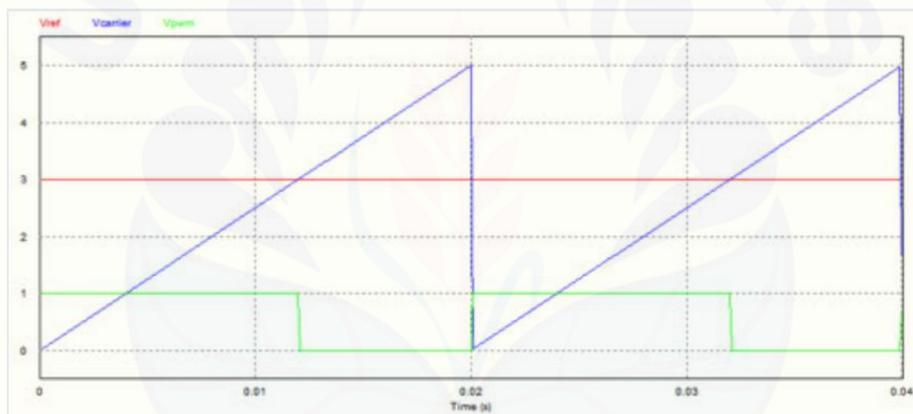
a) Analog

Pembangkitan sinyal PWM yang paling sederhana adalah dengan membandingkan sinyal gigi gergaji dengan tegangan referensi yang digunakan dengan menggunakan rangkaian op-amp comparator.



Gambar 2. 9 Rangkaian PWM analog

Penggunaan komparator analog tersebut bertujuan untuk membandingkan gelombang tegangan gigi gergaji dengan tegangan referensi seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.10.

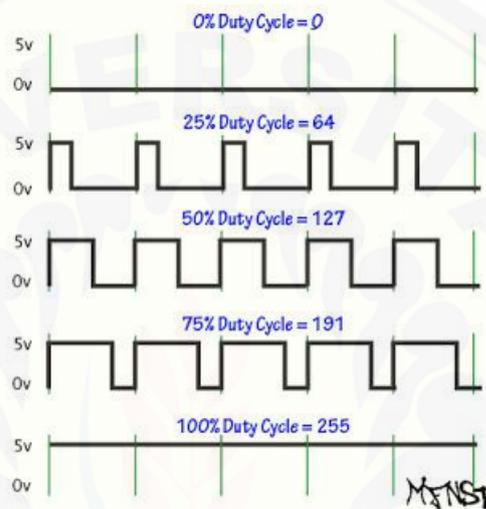
Gambar 2. 10 Pembentukan Sinyal PWM (<http://www.maulanurulkhakam.com>)

Ketika nilai tegangan referensi memiliki nilai yang lebih besar dari tegangan *carrier* (gigi gergaji) maka nilai *output* dari komparator akan bernilai *high*. Pada saat nilai tegangan referensi memiliki nilai yang lebih kecil dari tegangan *carrier*, maka nilai *output* dari komparator akan bernilai *low*. Dengan membandingkan nilai tegangan referensi dengan *carrier* untuk mengubah besar-kecilnya *duty cycle* sinyal output adalah dengan mengubah besar dari tegangan referensi.

$$Duty\ Cycle = \frac{V_{referensi}}{V_{carrier}} \times 100\% \quad (1)$$

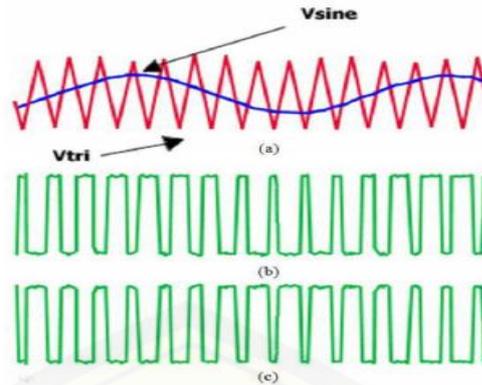
b) Digital

Pembangkitan sinyal PWM menggunakan metode digital dipengaruhi oleh resolusi dari PWM tersebut. PWM digital 8 bit memiliki nilai resolusi 28 sampai dengan 256. Resolusi tersebut merupakan jumlah variasi dari PWM yang dapat dihasilkan. Perubahan nilai variasi dari 0 – 255 untuk mewakili perubahan *duty cycle* 0 – 100% dari keluaran PWM.



Gambar 2. 11 Perubahan Duty Cycle PWM (<http://kecoakacau.blogspot.com>)

Pada switching PWM, sinyal PWM dapat dihasilkan dengan cara membandingkan gelombang sinusoidal (gelombang referensi) dengan gelombang sinyal segitiga (sinyal *carrier*). Keluaran pada sinyal membawa nilai frekuensi sinus dan disisi lain frekuensi dari sinyal segitiga yang menjadi frekuensi *switching*.



Gambar 2. 12 (a) komparasi sinyal segitiga dengan sinyal sinus (b) Keluaran sinyal PWM sebagai Switching (c) keluaran sinyal PWM sebagai sinyal switching.

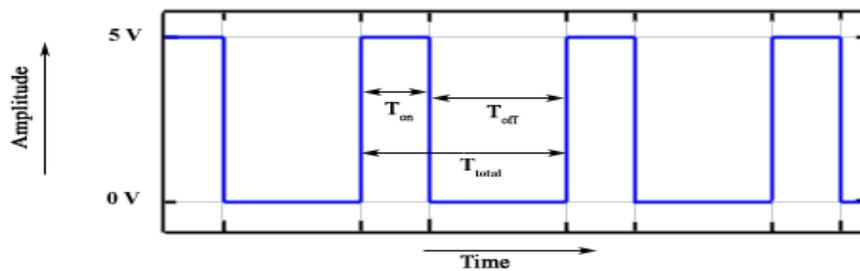
Pada gambar 2.12 menampilkan proses modulasi dari sinyal PWM dengan membandingkan sinyal sinus dan sinyal segitiga serta sinyal switching. Sinyal PWM digunakan untuk mengatur switching dari saklar. Pada gambar 2.12 terlihat bahwa nilai dari amplitudo dan tegangan dari sinyal sinus V_{sine} lebih rendah dibandingkan dengan tegangan sinyal segitiga V_{tri} . Amplitudo modulasi (M_a) dan frekuensi modulasi (M_f) sangat penting untuk mendapatkan bentuk gelombang keluaran. Amplitudo modulasi adalah rasio dari amplitudo sinusoidal V_{sine} dan amplitudo sinyal segitiga V_{tri} . Frekuensi dari sinyal modulasi didefinisikan sebagai rasio dari frekuensi sinyal segitiga f_{tri} dan frekuensi sinusoidal f_{sine} .

Amplitudo modulasi, M_a didefinisikan sebagai :

$$M_a = \frac{V_{sine}}{V_{tri}} \quad (2)$$

$$M_f = \frac{f_{sine}}{f_{tri}} \quad (3)$$

Modulasi lebar pulas (PWM) dicapai/diperoleh dengan bantuan sebuah gelombang kotak yang mana siklus kerja (duty cycle) gelombang dapat diubah-ubah untuk mendapatkan sebuah tegangan keluaran yang bervariasi yang merupakan nilai rata-rata dari gelombang tersebut.



Gambar 2. 13 Duty Cycle gelombang PWM

T_{on} adalah waktu dimana tegangan keluaran berada pada posisi tinggi dan, T_{off} adalah waktu dimana tegangan keluaran berada pada posisi rendah. T_{total} adalah waktu satu siklus atau penjumlahan antara T_{on} dengan T_{off} , biasa dikenal dengan istilah “periode satu gelombang”.

$$T_{total} = T_{on} + T_{off} \quad (4)$$

Siklus kerja atau duty cycle sebuah gelombang di definisikan sebagai,

$$D = \frac{T_{on}}{(T_{on} + T_{off})} = \frac{T_{on}}{T_{total}} \quad (5)$$

Tegangan keluaran dapat bervariasi dengan *duty-cycle* dan dapat dirumuskan sebagai berikut,

$$V_{out} = D \times V_{in} \quad (6)$$

sehingga:

$$V_{out} = \frac{T_{on}}{T_{total}} \times V_{in} \quad (7)$$

Nilai tegangan keluaran dari PWM dapat diubah-ubah secara langsung dengan mengubah nilai T_{on} .

Keterangan :

V_{Out} : Tegangan Output

T_{On} : Waktu Kondisi Menyala

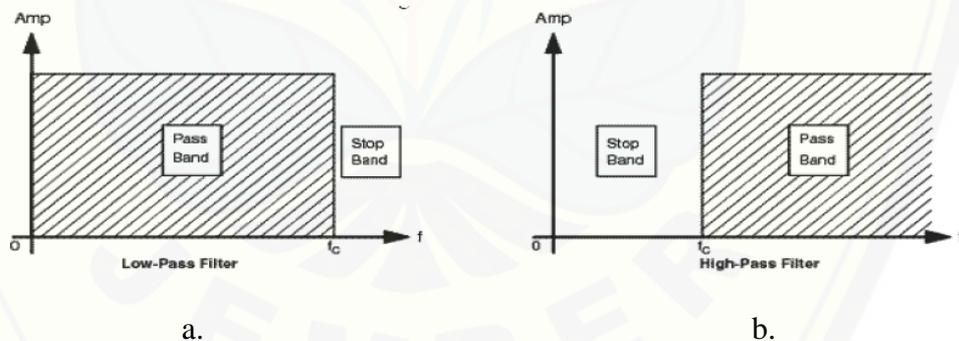
T_{Off} : Waktu Kondisi Mati

V_{In} : Tegangan Input

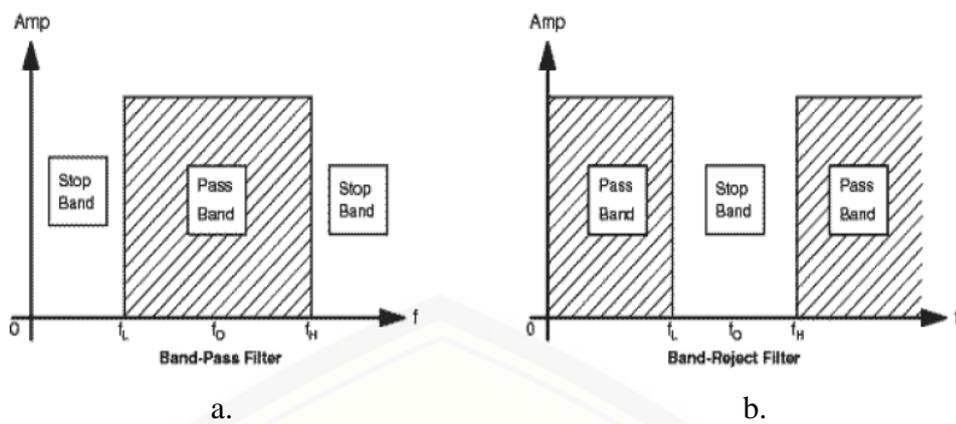
2.4 Filter Frekuensi

Filter frekuensi terbagi menjadi dua, yaitu filter aktif dan filter pasif. Filter aktif merupakan rangkaian filter yang menggunakan komponen-komponen elektronik pasif seperti operational amplifier(OP-AMP), transistor dan lainnya. Filter pasif merupakan rangkaian filter yang menggunakan komponen elektronika pasif berupa resistor, kapasitor dan induktor. Perbedaan dari penggunaan komponen aktif dan pasif adalah pada penggunaan komponen aktif dibutuhkan sumber untuk dapat bekerja seperti pada OP-AMP dan transistor, sedangkan pada penggunaan filter pasif tidak membutuhkan sumber untuk dapat digunakan.

Penggunaan filter aktif dan pasif memiliki tujuan untuk dapat mereduksi frekuensi yang melewati rangkaian filter. terdapat jenis-jenis filter antara lain *low pass filter* (LPF) merupakan filter yang dapat melewatkan frekuensi rendah, *high pass filter* (HPF) adalah jenis filter yang hanya dapat melewatkan frekuensi tinggi, *band stop filter* (BSF) atau *band reject filter* (BRF) merupakan filter yang memilih frekuensi tertentu untuk tidak dilewatkan dan melewatkan frekuensi lain, *band pass filter*(BPF) merupakan filter yang dapat melewatkan frekuensi tertentu dan tidak melewatkan frekuensi lain.

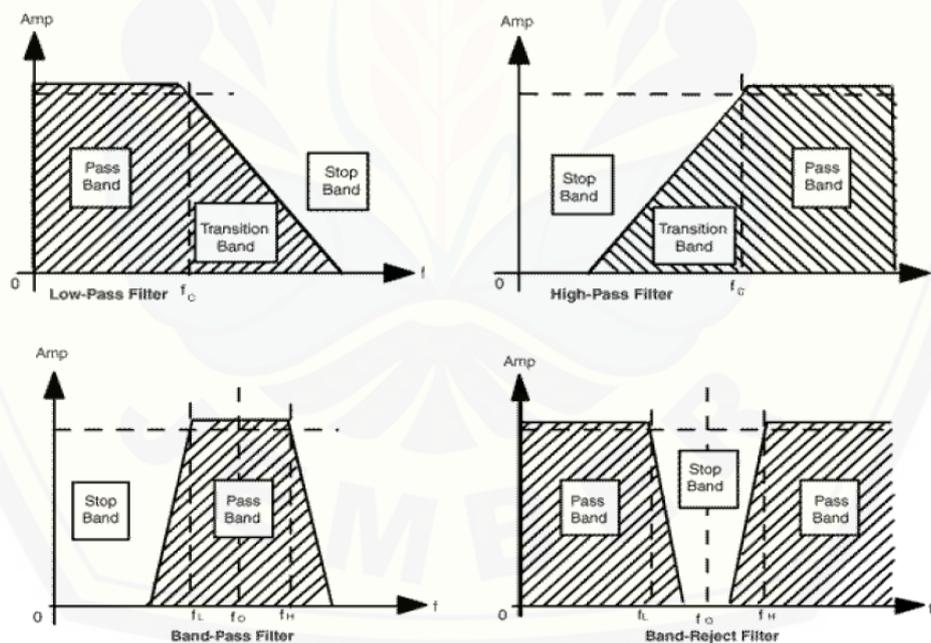


Gambar 2.14 (a) respon frekuensi *low pass filter* (b) respon frekuensi *high pass filter*



Gambar 2. 15 (a) respon frekuensi *band pass filter* (b) respon frekuensi *band stop filter*

Pada gambar 2.14 dan gambar 2.15 merupakan kondisi dari filter ideal (frekuensi yang melewati cut off langsung hilang), namun penggunaan komponen elektronika terdapat kondisi yang berbeda sehingga frekuensi tidak dapat langsung hilang seperti pada gambar 2.14 dan gambar 2.15.

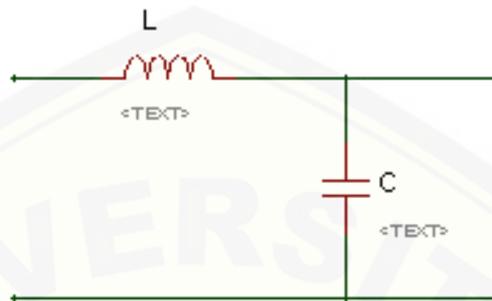


Gambar 2.16 Respon Frekuensi dalam kondisi praktis

Pada gambar 2.16 merupakan kondisi respon dari frekuensi secara praktis ketika frekuensi melewati kondisi cut off sinyal tidak langsung hilang. Pada penggunaan komponen pasif seperti induktor dan kapasitor nilai dari hambatannya tergantung dari besar frekuensi. Sifat tersebut dapat dimanfaatkan

untuk membuat rangkaian filter. Filter tersebut menggunakan prinsip pembagi tegangan. Dari pembagian tegangan tersebut dapat digambarkan respon filternya.

Low Pass Filter (LPF) adalah sebuah rangkaian yang meneruskan sinyal yang memiliki frekuensi dibawah dari frekuensi transisinya dan melemahkan sinyal-sinyal yang memiliki frekuensi diatas dari frekuensi transisinya.



Gambar 2. 17 *Low Pass Filter* LC

Adapun rumus dasar untuk mendesain filter adalah sebagai berikut:

$$V_{\text{out}} = V_{\text{in}} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (8)$$

Dimana :

$$R_1 + R_2 = R_T,$$

R_T adalah hambatan total dari rangkaian.

Nilai dari reaktansi kapasitif dari kapasitor dalam rangkaian AC adalah

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \quad (9)$$

Dari rumus tersebut dapat diketahui nilai hambatan dari kapasitor berbanding terbalik dengan frekuensi, semakin kecil frekuensi maka hambatan dari kapasitor akan semakin besar, demikian sebaliknya semakin besar frekuensi maka semakin kecil nilai dari hambatan kapasitornya.

Nilai dari hambatan induktor dapat dicari dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$X_L = 2\pi f L \quad (10)$$

Dimana :

X_L = Hambatan induktor (Reaktansi Induktif)

f = frekuensi

π = 3.14

L = Besaran Induktor (Henry)

Dari rumus diatas dapat diketahui bahwa nilai hambatan dari induktor berbanding lurus dengan frekuensi, sehingga semakin kecil frekuensi maka hambatan induktor akan semakin kecil. Demikian sebaliknya semakin besar frekuensi maka semakin besar nilai dari hambatan induktor.

Hambatan rangkaian AC pada komponen menghasilkan impedansi yang nilainya bergantung pada besarnya nilai kapasitor dan frekuensi dari sumber tegangan AC. Impedansi pada rangkaian seri dalam rangkaian AC dapat dihitung dengan rumus :

$$Z = \sqrt{X_L^2 + X_C^2} \quad (11)$$

Ket :

Z : Impedansi

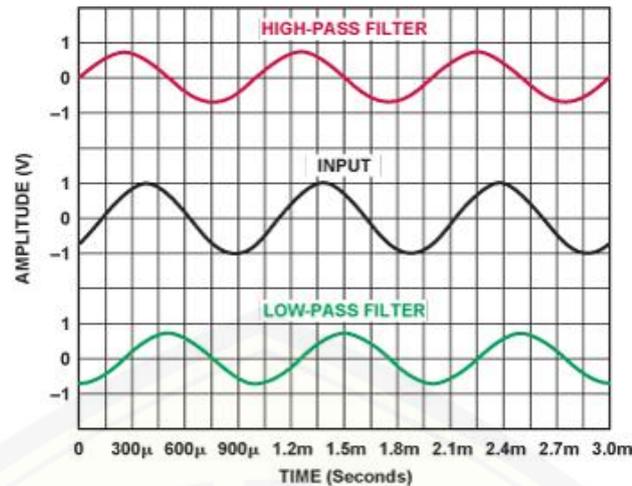
X_L : Hambatan induktor (Reaktansi Induktif)

X_C : Hambatan Kapasitor (Reaktansi Kapasitif)

Kemudian dengan menggantikan persamaan dengan impedansi di atas ke dalam persamaan pembagi potensial resistif didapatkan:

$$V_{out} = V_{in} \times \frac{X_C}{\sqrt{X_L^2 + X_C^2}} \quad (12)$$

$$V_{out} = V_{in} \frac{X_C}{Z} \quad (13)$$



Gambar 2. 18 Sinyal Hasil Filter (<http://www.analog.com>)

2.5 MOSFET

MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) merupakan salah satu jenis transistor yang terbuat dari bahan semikonduktor (silikon) yang memiliki tingkat kosentrasi kotidakmurnian. Tingkat dari ketidakmurnian dari mosfet menentukan jenis dari transistor tersebut, yaitu transistor MOSFET tipe-N (NMOS) dan transistor MOSFET tipe-P (PMOS). Bahan silikon digunakan sebagai landasan (*substrat*) dari penguras (*drain*), sumber (*source*) dan gerbang (*gate*). Transistor dibuat sedemikian rupa agar antara substrat dan gerbangnya dibatasi oleh oksida silikon yang sangat tipis. Oksida tersebut diendapkan diatas sisi kiri dari kanal, sehingga transistor MOSFET akan mempunyai kelebihan dibanding dengan transistor BJT (*Bipolar Junction Transistor*) yang dapat menghasilkan daya desipasi yang lebih rendah

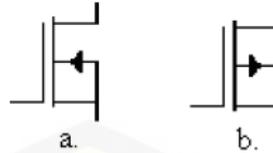
2.5.1 Jenis – jenis MOSFET

MOSFET adalah suatu transistor yang terbuat dari bahan semikonduktor yang memiliki tingkat kosentrasi kemurnian tertentu. Tingkat dari kemurnian ini akan menentukan jenis transistor tersebut, bila dilihat dari cara kerjanya, transistor MOS dapat dibagi menjadi dua, yaitu :

1) Transistor Mode Pengosongan (*Transistor Mode Depletion*)

Pada transistor *mode depletion* antara *drain* dan *source* terdapat saluran yang menghubungkan dua terminal tersebut, dimana saluran berfungsi sebagai tempat

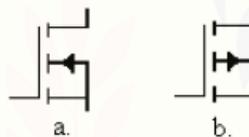
mengalirnya elektron bebas. Besar kecilnya dari saluran tersebut dapat dikendalikan oleh tegangan gerbang (*gate*). Transistor MOSFET dengan mode pengosongan terdiri dari tipe-N dan tipe-P.



Gambar 2. 19 (a). N-Channel Depletion (b). P-Channel Depletion

2) Transistor Mode peningkatan (*Transistor Mode Enhancement*)

Pada transistor mode *enhancement* fisiknya tidak memiliki saluran antara *drain* dan *source* karena pada lapisan bulk meluas dengan lapisan SiO₂ pada terminal *gate*. Transistor MOSFET mode peningkatan terdiri dari tipe-N dan tipe-p.



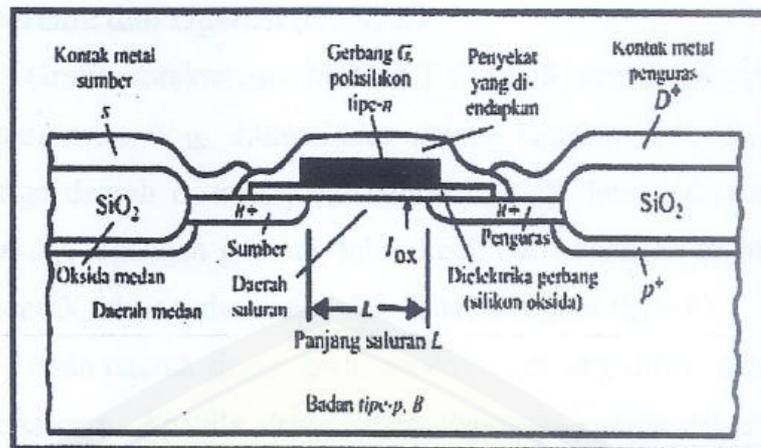
Gambar 2. 20 (a). N-Channel Enhancement (b). P-Channel Enhancement

Dari jenis saluran yang digunakan, transistor MOSFET dapat dikelompokkan menjadi tiga, antara lain :

1. NMOS

Transistor NMOS terbuat dari substrat dasar tipe p dengan daerah *source* dan *drain* didifusikan tipe n⁺ dan daerah kanal terbentuk pada permukaan tipe n. Transistor berjenis NMOS enhancement sebagian besar penggunaannya *source* NMOS akan dihubungkan dengan -V_{ss} hal tersebut disebabkan karena struktur dari MOS sendiri hampir tidak memungkinkan untuk dihubungkan dengan +V_{dd}.

Negatif MOS merupakan salah satu jenis mosfet yang mengalirkan arus *drain source* menggunakan saluran yang terbuat dari bahan elektron, sehingga ketikan *gate* diberi tegangan lebih positif dari substrat dan nilai mutlaknya lebih besar dari tegangan *Threshold* menyebabkan arus dapat mengalir.



Gambar 2. 21 Skematik MOSFET tipe-n (Hodges-Jackson 1987: 37)

2. PMOS

Transistor jenis PMOS terbuat dari substrat dasar tipe-n dengan daerah *source* dan *drain* didifusikan dengan tipe p^+ dan daerah kanal terbentuk pada permukaan tipe p. Positif MOS mosfet mengalirkan arus *drain source* melalui saluran positif berupa *hole*, kondisi tersebut dapat terjadi ketika *gate* bertegangan lebih negatif dari substrat dan nilai mutlaknya lebih besar dari V_T .

PMOS berjenis enhancement pada bagian source akan dihubungkan dengan $+V_{dd}$ kondisi tersebut disebabkan karena struktur dari MOS tersebut tidak memungkinkan untuk dihubungkan dengan $-V_{ss}$.

2.5.2 Karakteristik dan Operasi MOSFET

Karakteristik MOSFET memiliki arus I_D sebagai fungsi dari V_{DS} dengan parameter V_{GS} ditunjukkan pada gambar 2.18. pada mosfet terdapat tiga kondisi operasi yaitu daerah *cut-off*, linear dan saturasi. Pada kondisi daerah *cut-off*, tegangan *gate* lebih kecil dari tegangan *drain*, sehingga *source* tidak bertegangan dan arus tidak dapat mengalir ($I_D = 0$). Pada daerah linier ketika *gate* diberi tegangan, maka elektron akan mengalir dari *source* menuju ke *drain* atau arus mengalir dari *drain* ke *source*. Selanjutnya *drain* akan bertindak sebagai suatu tahanan sehingga arus *drain* (I_D) akan sebanding dengan tegangan *drain*.

$$I_D(\text{LIN}) = k_n \left[(V_{GS} - V_T) V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right] \quad (14)$$

Ketika tegangan drain ditingkatkan hingga tegangan pada gate menjadi netral, lapisan inversi saluran pada sisi drain akan menghilang, dan akan mencapai suatu titik yang disebut titik *pinch-off*. Kondisi tersebut merupakan permulaan dari daerah kerja saturasi. Apabila melebihi kondisi tersebut, peningkatan tegangan pada drain tidak akan mengubah arus drain, sehingga arus drain tetap.

$$I_D(\text{SAT}) = \frac{k_n}{2} (V_{GS} - V_{Tn})^2 \quad (15)$$

Operasi pada MOSFET saluran-p memiliki kesamaan seperti pada transistor MOSFET saluran-n.

- Cutoff = $V_{GS,p} \leq -V_{Tp}$
 $I_D(\text{OFF}) = 0$
- Linear = $V_{SG,p} \geq -V_{Tp}$, dan $V_{SD,p} \leq V_{SG,p} + V_{Tp}$

$$I_{D,p}(\text{LIN}) = k_p \left[(V_{SG,p} - V_{Tp}) V_{SD,p} - \frac{V_{SD,p}^2}{2} \right] \quad (16)$$

- Saturasi = $V_{SG,p} \geq -V_{Tp}$, dan $V_{SD,p} \geq V_{SG,p} + V_{Tp}$

$$I_D(\text{SAT}) = \frac{k_p}{2} (V_{SG,p} - V_{Tp})^2 \quad (17)$$

2.5.3 Tegangan Ambang (*Threshold Voltage*)

Tegangan *threshod* dapat diartikan sebagai tegangan minimum yang dibutuhkan sebuah transistor MOS untuk dapat mengaktifkan *gate* yang nantinya akan mengalirkan arus antara *drain* dan *source* maksimal (saturasi). Tegangan ambang (*threshod*) dapat diatur dengan mengubah konsentrasi dari *doping*. Tegangan ambang pada MOSFET dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$V_T = V_{T0} + \gamma \cdot (\sqrt{|-2\phi|} + V_{SB} - \sqrt{|2\phi|}) \quad (18)$$

Dimana :

V_T = Tegangan Ambang (V)

V_{T0} = Tegangan ambang untuk $V_{SB} = 0(V)$

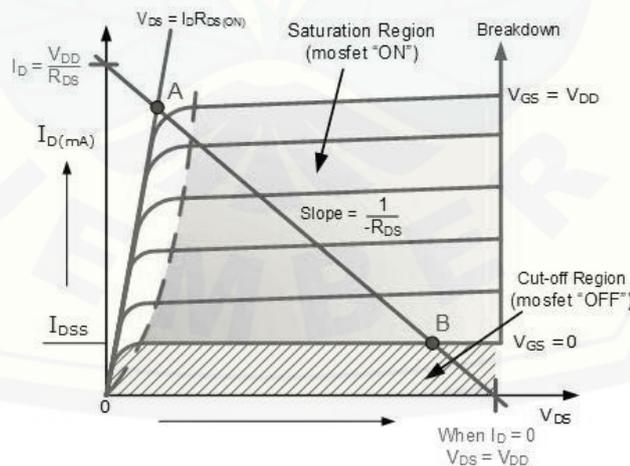
γ = efek bias body ($V^{1/2}$)

V_{SB} = Tegangan *Source – body (bulk)*

ϕ = Potensial Fermi (V)

keteika tegangan *body (bulk)* dihubungkan dengan *ground* ($V_B = 0V$). Dalam analisis teknologi CMOS efek pada bias badan dapat diabaikan dalam perhitungan (Haznedar, 1990).

Transistor MOSFET memiliki impedansi masukan (gate) sangat tinggi (Hampir tak berhingga) sehingga dapat menggunakan MOSFET sebagai saklar elektronik, memungkinkan untuk menghubungkannya dengan semua jenis gerbang logika. Dengan menjadikan MOSFET sebagai saklar, maka dapat digunakan untuk mengendalikan beban dengan arus yang tinggi dan biaya yang lebih murah daripada menggunakan transistor bipolar. Untuk membuat MOSFET sebgai saklar maka hanya menggunakan MOSFET pada kondisi saturasi (ON) dan kondisi cut-off (OFF).

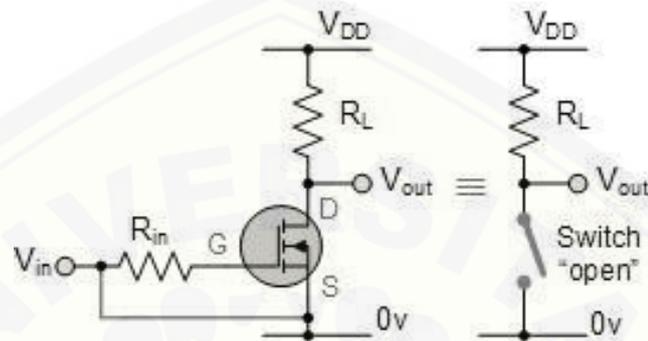


Gambar 2. 22 Kurva karakteristik MOSFET (<http://elektronika-dasar.web>)

Pada daerah Cut-Off MOSFET tidak mendapatkan tegangan input ($V_{in} = 0V$) sehingga tidak ada arus drain I_D yang mengalir. Kondisi ini akan membuat

tegangan $V_{ds} = V_{dd}$. Dengan beberapa kondisi diatas maka pada daerah cut-off ini MOSFET dikatakan OFF (Full-Off).

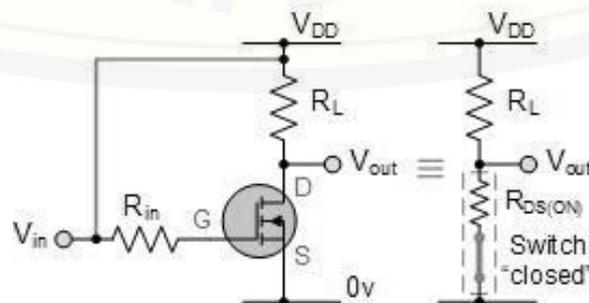
Kondisi cut-off ini dapat diperoleh dengan menghubungkan jalur input (gate) ke ground, sehingga tidak ada tegangan input yang masuk ke rangkaian saklar MOSFET.



Gambar 2. 23 Rangkaian sebagai saklar pada kondisi cut-off (<http://elektronika-dasar.web>)

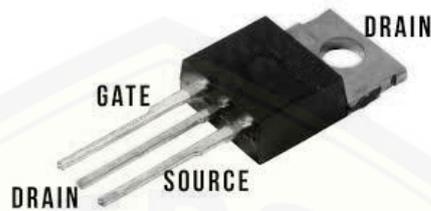
Pada karakteristik MOSFET sebagai saklar pada daerah *cut-off* input *gate* tidak mendapat tegangan bias karena terhubung dengan *ground* (0V), tegangan pada gate lebih rendah dari tegangan treshold ($V_{gs} < V_{th}$) maka MOSFET akan mengalami kondisi *fully-off* pada daerah *cut-off*.

Dengan beberapa karakteristik diatas maka dapat dikatakan bahwa MOSFET pada daerah Cut-Off merupakan saklar terbuka dengan arus drain $I_d = 0$ Ampere. Untuk mendapatkan kondisi MOSFET dalam keadaan open maka tegangan gate V_{gs} harus lebih rendah dari tegangan treshold V_{th} dengan cara menghubungkan terminal input (gate) ke ground



Gambar 2. 24 Rangkaian MOSFET dalam kondisi saturasi

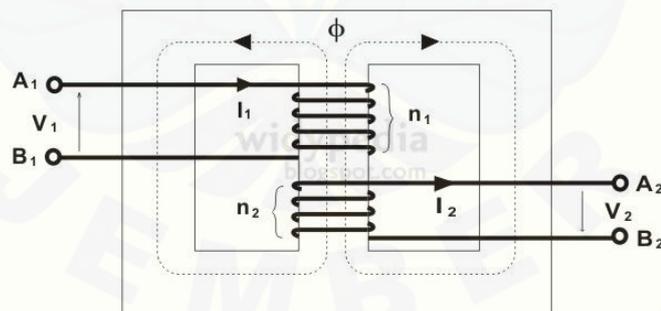
Kondisi saturasi MOSFET dapat diperoleh dengan memberikan tegangan input gate yang lebih tinggi dari tegangan tresholdnya dengan cara menghubungkan terminal input ke Vdd. Sehingga MOSFET mejadi saturasi dan dapat dianalogikan sebagai saklar pada kondisi tertutup.



Gambar 2. 25 MOSFET (Oscarliang.com)

2.6 Transformator

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain, melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi-elektromagnet. Suatu trafo tidak dapat bekerja jika kumparan primernya dihubungkan ke sumber tegangan DC. Perbandingan tegangan dan arus pada kumparan primer dan sekunder adalah



Gambar 2. 26 Prinsip Kerja Transformator

Pada gambar 2.26 dapat diketahui ketika sebuah inti dililitkan dengan kumparan primer sebanyak n_1 dan kumparan sekunder n_2 kemudia diberi tegangan bolak-balik dengan harga efektif V_1 dengan nilai frekuensi f , maka akan inti akan timbul fluks magnet Φ . Hubungan antara V_1 dan Φ pada tegangan bolak-balik adalah:

$$V_1 = 4,44 f n_1 \Phi \quad (19)$$

Dengan timbulnya fluks magnet Φ , pada kumparan sekunder yang terhubung akan mendapatkan fluks magnet yang akan diinduksikan tegangan sekunder sebesar :

$$V_2 = 4,44 f n_2 \Phi \quad (20)$$

Dari persamaan 1 dan 2 jika dibagi akan didapatkan persamaan :

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (21)$$

Nilai tegangan pada setiap kumparan transformator memiliki nilai yang sebanding dengan jumlah lilitan pada masing-masing kumparan. Ketika kumparan sekunder dihubungkan dengan beban, maka akan mengalir arus pada kumparan sekunder dan menghasilkan arus sebesar I_2 . Arus tersebut terbentuk karena terjadinya induksi magnet pada inti sebesar Φ_2 yang akan mengubah besarnya nilai Φ awal. Kondisi tersebut menyebabkan ketidak seimbangan antara v_1 dan Φ pada persamaan (1), sehingga menyebabkan mengalirnya arus I_1 pada kumparan primer yang menyebabkan timbulnya fluks Φ_1 . Arus pada I_1 memiliki nilai yang cukup besar sehingga fluks Φ_1 akan memiliki nilai yang sama $\Phi_1 = \Phi_2$.

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1} \text{ atau } n_1 I_1 = n_2 I_2 \quad (22)$$

Pada persamaan (3) diketahui nilai dari tegangan sebanding dengan jumlah lilitan, maka pada persamaan (4) nilai arus berbanding terbalik dengan jumlah lilitan. Dari persamaan (3) dan (4) didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{V_1 I_1}{V_2 I_2} = 1 \text{ atau } V_1 I_1 = V_2 I_2 \quad (23)$$

Pada persamaan (5) dapat diketahui untuk daya yang disalurkan pada kumparan primer akan memiliki nilai yang sama dengan daya yang terdapat pada kumparan sekunder keadaan tersebut merupakan kondisi transformator ideal. Transformator ideal memiliki ciri ketika kumparan primer diberi tegangan V_1 maka akan timbul

fluks Φ dan nilai $I_1 = I_2 = 0$. Kondisi tersebut merupakan transformator ideal ketika untuk membentuk fluks tidak diperlukan arus. Didalam penerapannya kondisi tersebut tidak mungkin terjadi, karena untuk membentuk suatu fluks Φ diperlukan arus yang didapatkan dari V_1 yang disebut sebagai arus magnetisasi atau arus beban nol. Nilai untuk mendapat fluks per satuan penampang (induksi magnet) dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut :

$$B = \frac{\Phi}{A_{eff}} \quad (24)$$

Pada transformator untuk membentuk fluks magnet dibutuhkan arus, arus tersebut merupakan arus magnetisasi yang merupakan arus bolak-balik untuk dapat menginduksikan inti transformator dengan kecepatan frekuensi f . Magnetisasi inti secara bolak-balik akan menimbulkan kerugian yang disebut kerugian *histeresis*. Kerugian histeresis ini besarnya sebanding dengan luas *histeresis*, luas histeresis tergantung dari besarnya induksi maksimum B_m yang dicapai. Kerugian *histeresis* sebanding dengan $(B_m)^2$. Besarnya nilai induksi maksimum B_m dapat diperoleh dengan rumus :

$$B_m = \Phi / A_{eff} = V_1 / 4,44 f n A_{eff} \quad (25)$$

Dari persamaan (1) dan (7) nilai daya semu transformator dapat didapatkan dengan persamaan :

$$\begin{aligned} P &= V_1 I_1 \\ &= 4,44 f n_1 B_m A_{eff} I_1 \end{aligned} \quad (26)$$

Jika penampang kawat primer adalah q_1 , maka jika menggunakan besaran padat arus dengan persamaan $s = I_1 / q_1$ (A/mm²), dari persamaan (8) akan didapatkan:

$$\begin{aligned} P &= V_1 I_1 \\ &= 4,44 f n_1 B_m A_{eff} q_1 s \\ &= 4,44 f B_m s A_{eff} (n_1 q_1) \end{aligned} \quad (27)$$

Untuk nilai $n_1 I_1 = n_2 I_2$, maka bila besarnya arus primer memiliki nilai sama dengan arus sekunder, akan diperoleh :

$$n_1 q_1 s = n_2 q_2 s \text{ karena besaran } s \text{ sama maka } n_1 q_1 = n_2 q_2$$

atau dapat ditulis $n_1 q_1 = \frac{1}{2} (n_1 q_1 + n_2 q_2)$ sehingga diperoleh :

$$P = 2,22 f B_m s A_{eff} (n_1 q_1 + n_2 q_2) \quad (28)$$

$(n_1 q_1 + n_2 q_2)$ merupakan luas jendela inti yang digunakan untuk penampang kawat primer dan sekunder, kemudian sisanya digunakan sebagai tempat kertas isolasi dan ruang udara antar kawat. Jika luas jendela dimisalkan A_{cu} , maka dapat ditulis :

$$(n_1 q_1 + n_2 q_2) = 100 c A_{cu} \quad (29)$$

Dimana c adalah konstanta faktor pengisian. Faktor 100 karena A_{cu} dinyatakan dalam cm^2 , sedangkan q_1 dan q_2 dinyatakan dalam mm^2 .

Dari persamaan (10) dan (11) dapat diperoleh :

$$P = 222 f B_m s c (A_{eff} A_{cu}) \quad (30)$$

Maka dapat diketahui traformator dengan ukuran tertentu, hasil dari luas penampang besi dengan luas jendelanya sebanding dengan daya traformator yang dapat dibuat dengan menggunakan inti transformator tersebut.

Jika A_{cu} sebanding dengan A_{eff} untuk berbagai ukuran inti, maka $A_{cu} = m A_{eff}$, sehingga dapat kita tulis :

$$P = 222 f B_m s c m A_{eff}^2 \text{ atau } A_{eff} = \frac{\sqrt{P}}{\sqrt{2,22 f B_m s c m}}$$

Dimana

A_{eff} : Luas penampang inti besi

- P : Daya trafo
 f : frekuensi (di Indonesia 50 Hz)
 Bm : Induksi maksimal (0,9 ... 1,1 Wb/m²)
 s : Kepadatan arus (1,5 ... 5 A/mm²)
 c : faktor pengisian (0,45 ... 0,7)
 m : A_{cu}/A_{eff}

Jika dimisalkan besar Bm = 1,0 Wb/m² = 10⁻⁴ Wb/cm² , s = 3 A/mm² , c = 0,5 , dan m = 0,6 maka persamaan diatas dapat disederhanakan menjadi :

$$\begin{aligned}
 A_{\text{eff}} &= \sqrt{P} / \sqrt{222 \times 50 \times 10^{-4} \times 3 \times 0,5 \times 0,6} \\
 &= \sqrt{P} / \sqrt{1} \\
 A_{\text{eff}} &= \sqrt{P}
 \end{aligned}
 \tag{31}$$

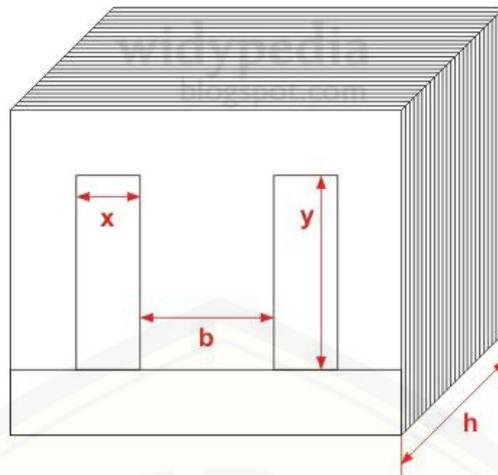
2.6.1 Perhitungan Inti Transformator

dalam menentukan lebar penampang inti b (gambar 2.24) dapat dilakukan dengan pendekatan

$$b = \sqrt{A_{\text{eff}}} / 1,5 \text{ hingga } \sqrt{A_{\text{eff}}} \tag{32}$$

setelah ditemukan lebar penampang inti selanjutnya adalah menentukan panjang inti besi

$$h = A_{\text{eff}} / b \tag{33}$$



Gambar 2. 27 Dimensi Transformator (<http://widypedia.blogspot.co.id>)

Untuk menentukan diameter kawat email yang akan digunakan terlebih dahulu menghitung nilai arus kumparan sekundernya.

$$I_2 = P_2 / V_2$$

penampang kawat sekunder

$$q_2 = I_2 / s \quad \text{untuk nilai padat arus } s \text{ antara } 1,5 \dots 5 \text{ A/mm}^2$$

diameter kawat sekunder

$$d_2 = \frac{\sqrt{4}}{\varphi \times q_2}$$

$$= \sqrt{4} / \varphi \times I_2 / s$$

$$= \sqrt{4} / \varphi \times I_2 / s \quad \text{jika } s \text{ kita pakai besaran } 3 \text{ A/mm}^2$$

maka $= (\sqrt{4} / 3,14 \times 3) \sqrt{I_2}$

$$= (\sqrt{0,424}) \sqrt{I_2}$$

$$d_2 = 0,7 \sqrt{I_2}$$

(34)

untuk menentukan jumlah lilitan sekunder per volt maka diperlukan penambahan 10% dari jumlah total lilitan. Penambahan jumlah lilitan adalah untuk

memperhitungkan kerugian tegangan ketika transformator diberi beban maka persamaannya menjadi sebagai berikut :

$$n_2 / V = 110 \% \times (1 / 4,44 f B_m A_{\text{eff}})$$

Jika menggunakan $f = 50\text{Hz}$, dan $B_m = 10^{-4} \text{ Wb/cm}^2$, maka

$$n_2 / V = 1,1 \times (1 / 4,44 \times 50 \times 10^{-4}) \times (1 / A_{\text{eff}})$$

$$= 49,549 \times 1 / A_{\text{eff}}$$

$$n_2 / V \approx 50 / A_{\text{eff}} \quad (35)$$

Besarnya efisiensi dari transformator adalah perbandingan antara daya listrik yang masuk dengan daya listrik yang keluar transformator. Pada transformator ideal nilai efisiensinya 100 % , tetapi pada praktiknya nilai efisiensi tranformator tidak bisa mencapai 100 % , kondisi tersebut terjadi karena sebagian energi terbuang menjadi panas atau energi bunyi.

Efisiensi traformator pada tegangan rendah dapat mencapai efisiensi 90%, sehingga dalam perencanaan traformator, agar dapat mencapai daya maksimal, maka daya pada kumparan primer ditambahkan 10% nya.

$$P_1 = (100 \% + 10 \%) \times P_2$$

$$P_1 = 1,1 \times P_2 \quad (36)$$

Sehingga dapat kita cari nilai arus primernya

$$I_1 = P_1 / V_1$$

Untuk menentukan diameter kawat primer dapat menggunakan rumus yang sama untuk menentukan diameter kawat sekunder :

$$d_1 = 0,7 \sqrt{I_1} \quad (37)$$

Jumlah lilitan per volt jika diketahui nilai $f = 50\text{Hz}$, dan $B_m = 10^{-4} \text{ Wb/cm}^2$, maka :

$$\begin{aligned}n_1 / V &= 1 / 4,44 f B_m A_{\text{eff}} \\&= (1 / 4,44 \times 50 \times 10^{-4}) \times (1 / A_{\text{eff}}) \\n_1 / V &= 45 / A_{\text{eff}}\end{aligned}\tag{38}$$

Setelah menentukan diameter kawat, jumlah lilitan sekunder dan primer, perlu adanya dilakukan pengecekan gulungan yang dapat masuk ke dalam jendela transformator. Untuk pengecekan dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$c = (n_1 q_1 + n_2 q_2) / A_{\text{cu}}\tag{39}$$

Dimana $A_{\text{cu}} = x \cdot y$ (dalam mm^2) terlihat pada gambar 2.27.

Hasil dari perhitungan nilai c memiliki *range* yang baik antara 0,45 ... 0,7 . jika memiliki nilai lebih besar dari 0,7 kemungkinan gulungan kawat tidak dapat masuk kedalam jendela inti. Jika hasil dari c kurang dari 0,45 inti besi kurang dimanfaatkan dengan baik sehingga kurang ekonomis.

2.7 Total Harmonic Distortion (THD)

Total Harmonic Distortion merupakan nilai rasio dari rms dari komponen harmonisa dan nilai rms dari komponen dasar yang dinyatakan dalam bentuk persen (%). Indeks dari THD digunakan untuk mengukur nilai dari deviasi bentuk gelombang periodik yang memiliki harmonisa dari gelombang sinus. Harmonic atau harmonisa merupakan komponen dari sistem periodik atau besaran dari sinusoidal yang frekuensinya merupakan kelipatan bulat dari frekuensi fundamental. Apabila komponen dari frekuensinya memiliki nilai dua kali dari frekuensi fundamentalnya maka disebut harmonik ke dua. Distorsi harmonik merupakan perubahan gelombang yang disebabkan oleh pemberian beban. Bentuk gelombang yang terdistorsi dapat diekspresikan dari jumlah gelombang sinusoidal, bila sebuah gelombang sama dengan satu siklus gelombang sinus yang mana frekuensi dari masing-masing gelombang sinus tersebut adalah kelipatan bilangan bulat dari frekuensi fundamental gelombang yang terdistorsi.

Total Harmonic Distortion memiliki gelombang spektrum tegangan fundamental dan gelombang komponen penyusun harmonisa. Spektrum fundamental memiliki nilai amplitudo yang tertinggi kemudian diikuti oleh gelombang harmonisa penyusunnya.

$$\text{THD}_v = \frac{\sqrt{\sum_{h>1}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \times 100\% \quad \text{THD}_I = \frac{\sqrt{\sum_{h>1}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \times 100\% \quad (40)$$

Keterangan :

THD_v : Total Harmonic Distortion (Tegangan)

THD_I : Total Harmonic Distortion (Arus)

I_h : Harmonisa Arus ke-n (A)

I₁ : Fundamental Arus (A)

V_h : Harmonisa tegangan ke-n (V)

V₁ : Fundamental Tegangan (V)

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Listrik Dasar jurusan Teknik Elektro Universitas Jember di Jl. Slamet Riyadi no. 62 Patrang, Jember.

3.1.2 Waktu Penelitian

Waktu penelitian dilakukan selama 3 bulan. Pada bulan Desember 2017 sampai dengan Februari 2018

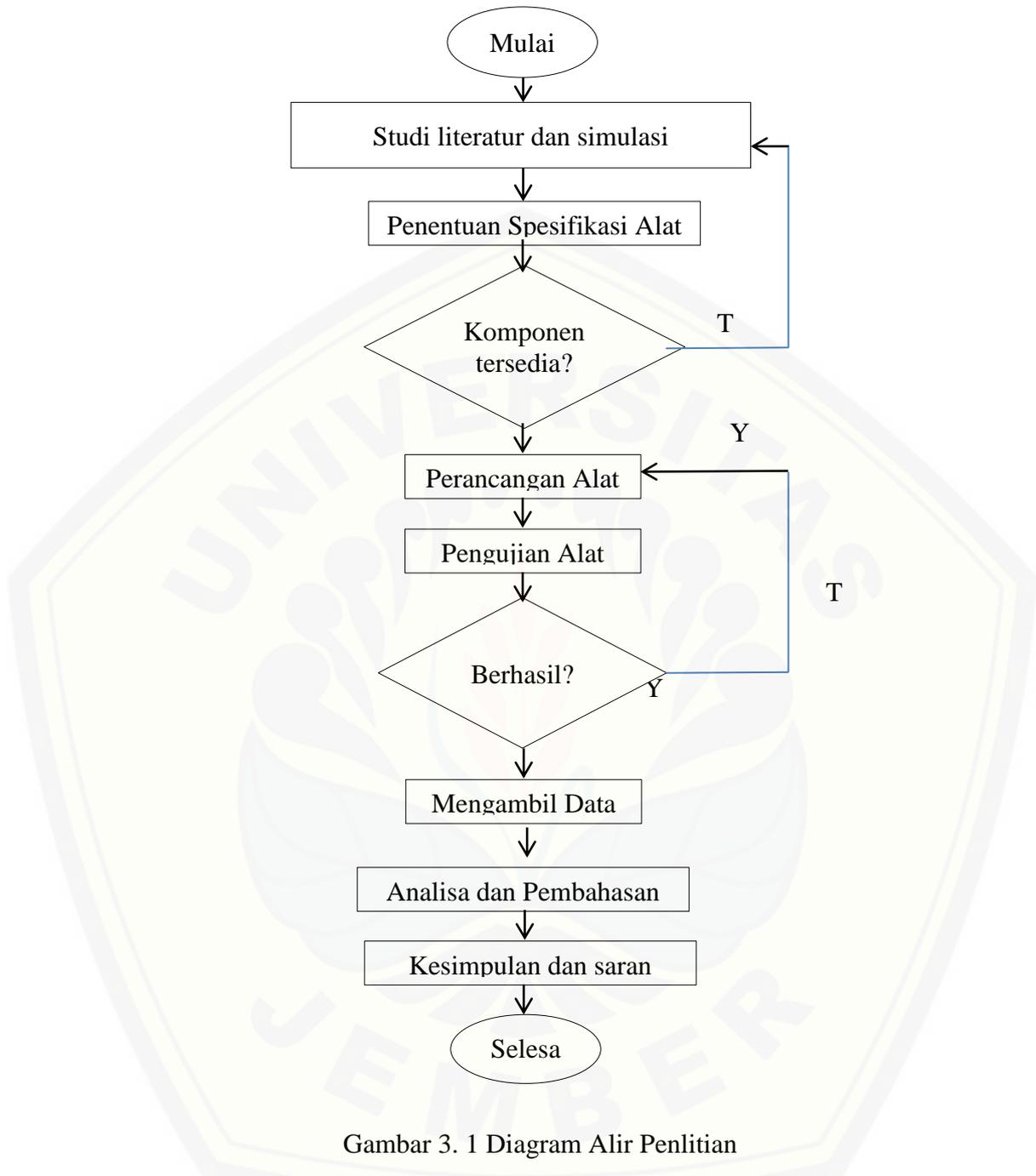
3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut

- a. Oscilloscope
- b. Multimeter
- c. Arduino
- d. Batrai aki kering
- e. Bohlam
- f. Transformator
- g. MOSFET 9540 dan 540

3.3 Rancangan Penelitian

Perancang inverter ini terdiri dari beberapa bagian, pada bagian pertama membuat diagram alir untuk perancangan alat inverter. Secara sederhana inverter merubah tegangan DC ke tegangan AC dengan dibantu menggunakan mikrokontroler sebagai *switching* dari mosfet kemudian tegangan keluaran dari mosfet dinaikkan dengan transformator. Driver inverter terdiri dari empat rangkaian mosfet dan rangkaian *low pass filter*. Penggunaan driver ini bertujuan untuk mendapatkan tegangan hasil keluaran adalah tegangan bolak balik. Adapun rancangan yang dilakukan dapat digambarkan pada diagram alir seperti pada gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

Dalam pembuatan inverter *full bridge* satu fasa dibutuhkan langkah-langkah penelitian sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Tahap awal dari penelitian ini adalah melakukan pencarian hasil penelitian sebelumnya, pencarian ini dilakukan dari berbagai jenis baik buku maupun jurnal.

Dalam pencarian studi literatur ini diharapkan dapat mengetahui prinsip kerja dari inverter dan lebih memahami tentang teori dari inverter. Selain untuk menunjang pengetahuan dasar studi literatur dilakukan untuk menentukan tahapan selanjutnya jika hasil studi literatur sudah dianggap cukup dapat dilakukan perancangan dan simulasi dengan mengacu dari buku-bu dan hasil percobaan sebelumnya.

2. Simulasi

Dalam proses perancangan dilakukan simulasi terlebih dahulu menggunakan software. Penggunaan simulasi ini dilakukan agar ketika dilakukan perancangan secara praktik tidak terjadi masalah yang menyebabkan kegagalan. Simulasi ini dilakukan untuk mengetahui spesifikasi yang sesuai dengan perhitungan dan secara praktiknya.

3. Perancangan Alat

Perancangan alat ini ada beberapa tahapan antara lain :

a. Pemrograman Mikrokontroler

Pembuatan program pada mikrokontroler dilakukan pada mikrokontroler arduino uno. Pembuatan program pada arduino uno bertujuan untuk mendapatkan gelombang PWM yang membentuk gelombang menyerupai sinus atau *modified sine wave*. Pembentukan gelombang *modified sine wave* diambil dari sampel gelombang sinus yang yang potong-potong sebanyak 200 gelombang untuk mendapatkan nilai tegangan yang berbeda-beda pada setiap sampel yg berbeda.

b. Perancangan Hardware

Proses perancangan hardware ini dilakukan sesuai dengan studi literatur dan setelah melalui proses simulasi. Perancangan hardware yang dilakukan meliputi pembuatan skema PCB hingga penempatan komponen pada PCB.

4. Pengujian Alat dan Pengambilan Data

Pada pengujian alat dilakukan pada setiap tahapan pembentukan gelombang *modified sine wave*. Hasil dari pengujian akan dilakukan pengambilan data untuk tahap selanjutnya. Pengujian alat ini untuk mengetahui pengaruh gelombang inverter pada pemberian beban. Data yang didapatkan akan selanjutnya diproses dan dianalisa.

5. Analisa dan Penyusunan Laporan

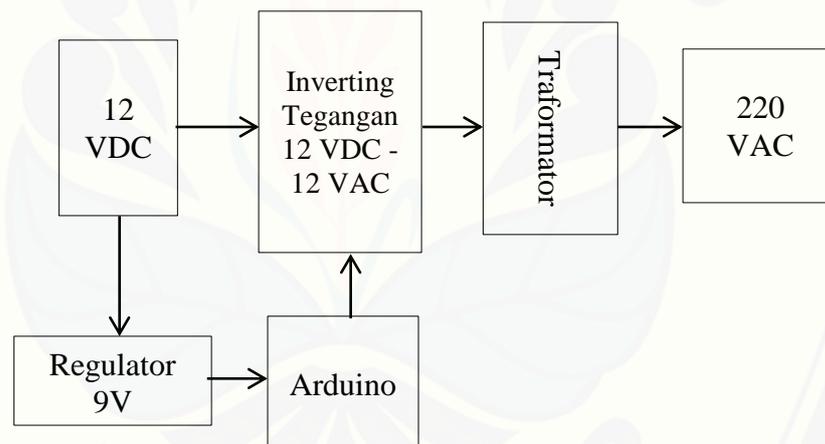
Setelah melakukan pengujian alat dan pengambilan data secara keseluruhan dengan

baik dan hasilnya sesuai dengan yang diharapkan, tahap yang selanjutnya adalah proses pengolahan data yang didapatkan dan dilakukan analisa dari data yang telah dapatkan. Pada tahap penyusunan laporan data dan analisa yang didapatkan dimasukkan pada pembahasan yang kemudian dapat disimpulkan yang berhubungan dengan kinerja dari alat yang dibuat dan memberikan saran untuk dapat memperbaiki kekurangan yang ada.

3.4 Perancangan Desain Inverter

3.4.1 Diagram perancangan Inverter

Pembuatan rancang bangun inverter ini terdapat dua rangkaian yaitu rangkaian *power supply* mikrokontroler dan rangkaian *driver* inverter. Blok diagram dari rancangan inverter terdapat pada gambar 3.2..

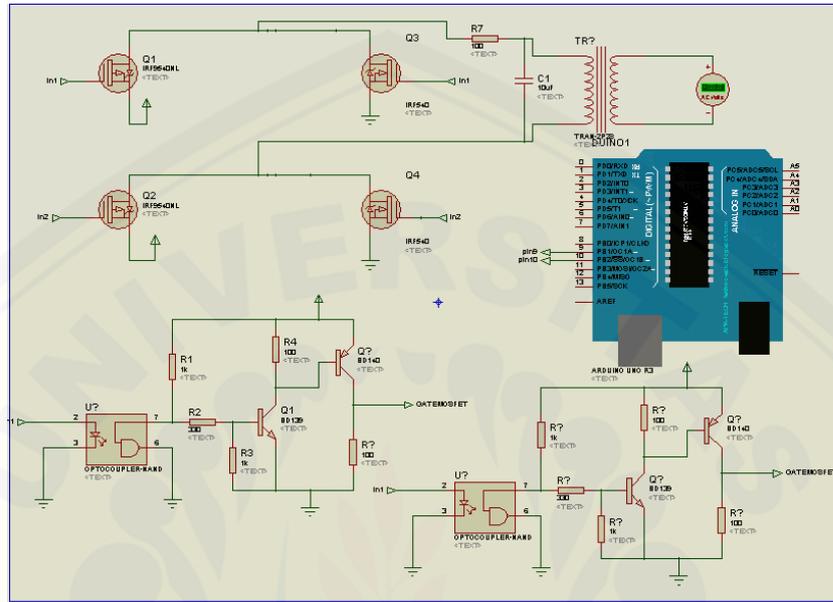


Gambar 3. 2 Blok Diagram inverter

Pada gambar 3.2 sumber tegangan 12Vdc menggunakan baterai dengan kapasitas diatas 10Ah untuk mendapatkan daya yang diharapkan. Tegangan 12Vdc kemudian dihubungkan dengan rangkaian inverter yang dibuat untuk membalikan tegangan dari 12Vdc menjadi 12Vac yang kemudian dinaikkan menggunakan transformator menjadi 220Vac. Untuk mengaktifkan inverter dibutuhkan mikrokontroler yang membutuhkan *supply* tegangan 9Vdc dengan mengambil dari sumber baterai 12Vdc

3.4.2 Rancangan Inverter

Pembuatan inverter dilakukan perancangan dengan membuat skema terlebih dahulu pada software simulasi. Simulasi yang digunakan adalah software proteus. Penggunaan simulasi tersebut untuk mengetahui hasil dari rangkaian yang digunakan seperti pada gambar berikut.



Gambar 3.3 Skema Rangkaian Inverter

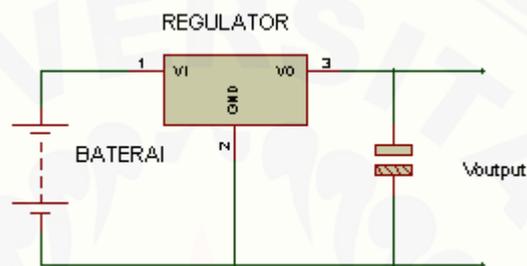
Dari gambar tersebut terdapat dua pin dari arduino uno yang digunakan untuk memicu gate mosfet. Pada rangkaian full bridge terdapat 4 buah mosfet , setiap 2 mosfet gatena terhubung dengan 1 pin arduino uno. Kondisi tersebut untuk memudahkan proses switching dari mikrokontroler arduino uno. Skema rangkaian tersebut merupakan rangkaian keseluruhan dari inverter yang terdiri dari driver mosfet, rangkaian inverter *full bridge* dan *low pass filter*.

3.4.3 Baterai

Pemilihan baterai pada pembuatan rancangan inverter ini memiliki kelebihan antara lain adalah untuk mendapatkan tegangan *input* yang stabil tidak mengalami perubahan secara mendadak. Baterai yang digunakan adalah aki kering dengan tegangan 12 V dengan kapasitas 35Ah.

3.4.4 Regulator

Penggunaan regulator 9 volt bertujuan untuk menurunkan tegangan dari 12 volt. Penurunan tegangan ini agar *supply* tegangan pada mikrokontroler tidak melebihi batas yang bisa digunakan. Mikrokontroler arduino dapat bekerja pada tegangan 6-12 volt. Meskipun mikrokontroler dapat bekerja pada tegangan 12 volt, untuk menghindari terjadinya lonjakan tegangan pada aki digunakan regulator 9 volt. Pemilihan regulator 9 volt mengikuti data *sheet* dari arduino yang merupakan tegangan ideal untuk beroperasi.



Gambar 3. 4 Rangkaian Regulator

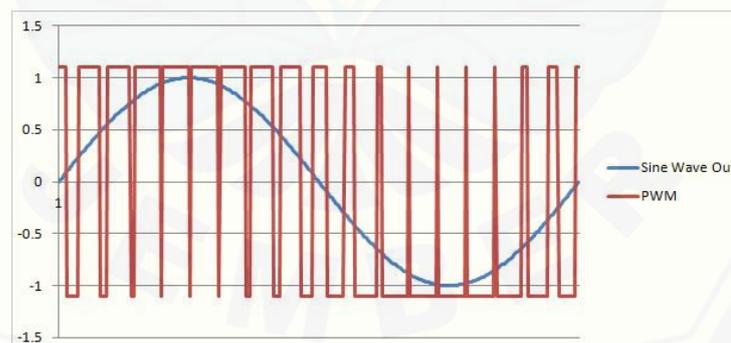
3.4.5 Mikrokontroler Arduino

Arduino Uno R3 adalah papan pengembangan (development board) mikrokontroler yang berbasis chip ATmega328P. Arduino Uno memiliki 14 digital pin input / output (atau biasa ditulis I/O, dimana 6 pin diantaranya dapat digunakan sebagai output PWM), 6 pin input analog, menggunakan crystal 16 MHz, koneksi USB, jack listrik, header ICSP dan tombol reset. Pada penggunaan arduino sebagai kontrol digunakan sebagai pembangkit gelombang PWM untuk mengaktifkan driver inverter. Frekuensi dari gelombang PWM sebesar 10khz, nilai frekuensi ini didapatkan dengan melakukan menurunkan timer yang terdapat pada mikrokontroler.



Gambar 3. 5 Arduino Uno R3(Sumber Arduino.cc)

Penggunaan arduino uno memiliki nilai frekuensi kerja mencapai 60 kHz pada pin 9 dan 10 (timer1). Pada pembuatan rancang bangun inverter satu fasa ini menggunakan pin 9 dan 10 yang nantinya akan dihubungkan dengan driver mosfet. Mikrokontroler arduino uno digunakan untuk switching mosfet sehingga dapat menghasilkan gelombang yang menyerupai sinus atau *modified sine wave*. Kecepatan switching arduino dirubah menjadi 10 kHz. Untuk mendapatkan gelombang sinus dengan frekuensi 50 Hz dengan frekuensi switching 10kHz maka pada setiap satu hertz gelombang sinus terdapat 200 gelombang PWM seperti pada gambar 3.5.



Gambar 3. 6 Gelombang *Modified Sine Wave*

Pada gambar 3.5 dalam setengah gelombang sinus terdapat 100 gelombang PWM yang pada setiap titik yang berbeda memiliki nilai tegangan rata-rata yang berbeda-beda.

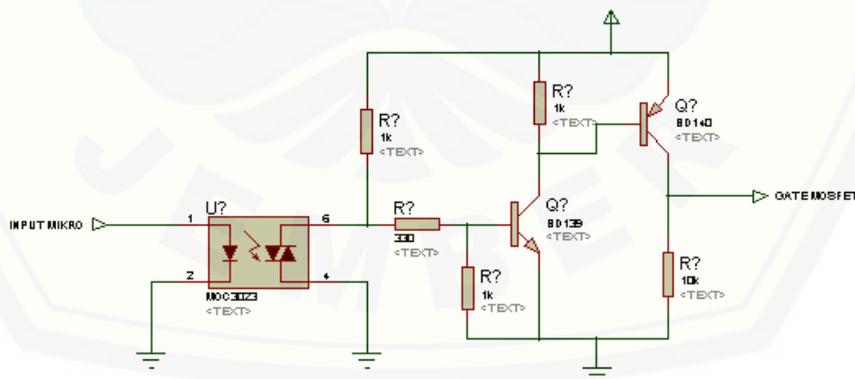
Untuk mendapatkan jumlah gelombang PWM pada setiap satu hertz gelombang sinus dapat kita asumsikan dengan besar frekuensi pada mikrokontroler sebesar 10.000 Hz. Kemudian frekuensi gelombang sinus yang diharapkan adalah 50 Hz, maka banyaknya gelombang PWM :

$$\text{Jumlah gelombang} = \frac{f_{\text{mikrokontroler}}}{f_{\text{sinus}}} \quad (41)$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah gel.} &= \frac{10.000 \text{ Hz}}{50 \text{ Hz}} \\ &= 200 \text{ gelombang} \end{aligned}$$

3.4.6 Driver MOSFET

Penggunaan *driver* MOSFET adalah untuk memisahkan antara rangkaian power dengan rangkaian kontrol atau untuk memisahkan rangkaian tegangan rendah dengan rangkaian tegangan tinggi. Driver mosfet ini bertujuan untuk menaikkan tegangan atau penguat tegangan sehingga besarnya tegangan pemacu pada *gate* mosfet dapat memiliki nilai bukaan yang besar (*full open*). Konfigurasi dari driver mosfet ini menggunakan penguat transistor, untuk memisahkan tegangan tinggi dengan tegangan pada mikrokontroler digunakan optocoupler seperti pada gambar 3.6.



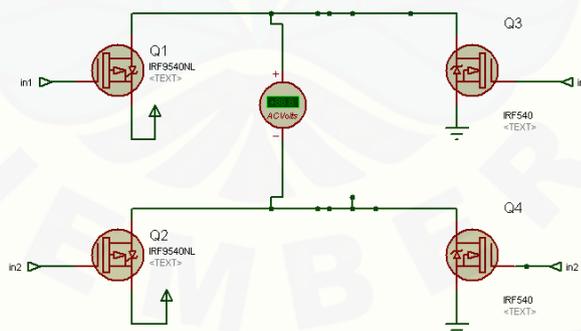
Gambar 3. 7 Rangkaian Driver MOSFET

Penggunaan penguat transistor sebagai driver mosfet memiliki kelebihan karena memiliki desain konstruksi yang mudah dan memiliki bentuk gelombang output yang sama dengan gelombang inputnya. Ketika gelombang input bernilai

high maka gelombang keluarannya akan bernilai *high* dengan nilai amplitudo sesuai dengan tegangan input. Kekurangan dari rangkaian penguat transistor adalah gelombang hasil keluarannya memiliki bentuk gelombang kotak, meskipun gelombang masukannya memiliki bentuk sinus. Untuk resistor penguat menggunakan resistor *pull up* dengan nilai 100 ohm dengan besar daya 2 watt. Resistor tersebut dihubungkan dengan *colector* transistor. Penggunaan driver mosfet ini menggunakan transistor bd 139, penggunaan transistor ini memiliki kecepatan frekuensi *switching* mencapai 1MHz. Pada basis transistor diberi resistor *pull down* untuk menghindari kondisi *floating*, sehingga mosfet tidak mengalami kondisi *short circuit*.

3.4.7 Inverter satu fasa

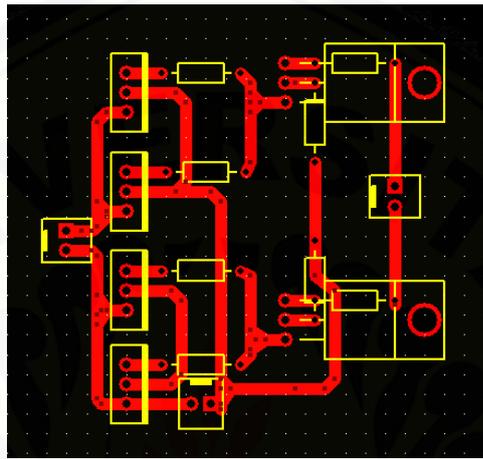
Pada rangkaian inverter satu fasa ini menggunakan konfigurasi *full bridge* yang digunakan untuk mendapatkan gelombang AC dengan menggunakan 2 pasang saklar untuk mengubah polaritas yang terhubung dengan beban. Rangkaian konfigurasi *full bridge* ini menggunakan tegangan masukan sebesar 12V DC untuk diubah menjadi tegangan 12V AC. Komponen utama yang digunakan untuk mendesain yaitu MOSFET dengan tipe IRF 9540 dan IRF 540 sebagai *switching*.



Gambar 3. 8 Skema Rangkaian Inverter satu fasa

Pada driver inverter ini menggunakan mosfet IRF 9540 dan IRF540. Mosfet ini memiliki tegangan kerja maksimal 100 volt dan untuk besar arus yang dapat dihantarkan sebesar 23 ampere pada saat kondisi 25°C. Pemilihan konfigurasi *full bridge* memiliki efisiensi yang lebih baik dengan konfigurasi lainnya. Sistem *switching* pada konfigurasi *full bridge* untuk mendapatkan

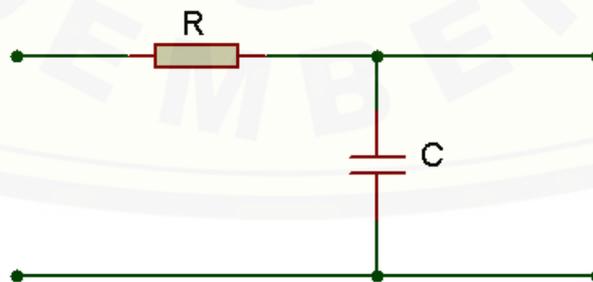
tegangan AC, Q1 dan Q4 menyala secara bersamaan dan untuk membalikkan polaritas yang terhubung dengan beban Q1 dan Q4 berubah menjadi kondisi off dan pada saklar Q2 dan Q3 yang sebelumnya berada pada kondisi off berubah menjadi kondisi on, Sehingga polaritas pada beban berubah. Untuk memotong sumber tegangan positif pada baterai digunakan mosfet dengan tipe-p yang pada perancangan ini menggunakan mosfet IRF 9540.



Gambar 3. 9 Skema Driver Inverter

3.4.8 Low Pass Filter

Penggunaan *low pass filter* bertujuan untuk memfilter frekuensi yang melebihi *cut off*. Penggunaan low pass filter ini menggunakan komponen pasif yaitu berupa kapasitor dan resistor sehingga untuk rangkaiannya ditunjukkan pada gambar 3.10



Gambar 3. 10 Rangkaian low pass filter LC

Penentuan besarnya nilai resistor menggunakan metode perhitungan dengan menentukan nilai frekuensi *cut-off*. Nilai dari frekuensi *cut-off* ditentukan oleh besarnya nilai dari resistor dan kapasitor. Sehingga untuk mendapatkan nilai frekuensi *cut-off* sebesar 50 Hz ditetapkan nilai dari kapasitor sebesar 7uF, maka didapatkan nilai resistor sebesar:

$$X_c = R$$

$$\frac{1}{2\pi f C} = R \quad (42)$$

Ditetapkan nilai $C = 7\mu\text{F}$

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$50 \text{ Hz} = \frac{1}{2\pi R 7 \times 10^{-6}}$$

$$R = 475,728 \text{ ohm}$$

Untuk mendapatkan nilai frekuensi *cut-off* 50 Hz dapat menggunakan komponen resistor sebesar 475,728 ohm dan kapasitor sebesar 7uF.

3.4.9 Transformator

Transformator memiliki peran yang sangat penting dalam penyaluran daya. Transformator dapat menyalurkan daya rendah ke daya tinggi atau berfungsi sebaliknya. Transformator bekerja dengan menginduksikan inti untuk menyalurkan daya yang tinggi ke daya yang lebih rendah atau sebaliknya. Penggunaan transformator pada rancang bangun inverter ini untuk menyalurkan daya dari tegangan rendah ke tegangan yang lebih tinggi. Transformator yang digunakan adalah transformator dengan inti besi. Pemilihan transformator ini berdasarkan dari kemampuan inverter yang memiliki gelombang keluaran menyerupai gelombang sinus, sehingga penggunaan transformator dengan inti besi dapat bekerja dengan baik. Pada transformator yang digunakan memiliki ukuran panjang 6,5 cm dan lebar 4 cm. Untuk menentukan jumlah lilitan dapat menggunakan perhitungan lilitan per volt.

$$\frac{n_1}{V} = 110\% \times (1 / 4,44 f B_m A_{\text{eff}}) \quad (43)$$

Jika diketahui frekuensi $f = 50 \text{ Hz}$ dan $B_m = 10^{-4} \text{ Wb/cm}^2$

$$\begin{aligned}\frac{n_1}{V} &= 1,1 \times (1 / 4,44 \times 50 \times 10^{-4}) \times (1 / A_{\text{eff}}) \\ &= 49,549 \times 1 / (4 \times 6,5) \\ \frac{n_1}{V} &\approx 1,923 \text{ lilitan per volt}\end{aligned}$$

Hasil dari perhitungan didapatkan nilai lilitan 1,923 per volt, untuk memudahkan dalam penggulungan maka dibulatkan menjadi 2 gulungan per volt. Dari hasil perhitungan tersebut dapat didapatkan jumlah lilitan primer dan sekunder adalah :

$$\begin{aligned}N_1 &= \text{jumlah lilitan/volt} \times \text{tegangan ref.} \\ &= 2 \text{ lilitan/volt} \times 12 \text{ volt} \\ &= 24 \text{ lilitan}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}N_2 &= \text{jumlah lilitan/volt} \times \text{tegangan ref.} \\ &= 2 \text{ lilitan/volt} \times 220 \text{ volt} \\ &= 440 \text{ lilitan}\end{aligned}$$

Dari perhitungan tersebut didapatkan nilai kumparan primer adalah 24 lilitan dan untuk jumlah kumparan sekundernya adalah 440 lilitan.

3.5 Software

3.5.1 Arduino

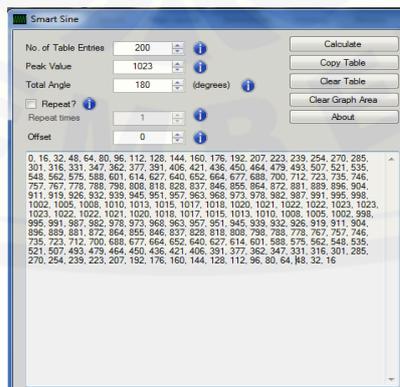
Pada pembuatan inverter ini, untuk mengatur mikrokontroler menggunakan software bawaan dari arduino yaitu arduino 1.8.0. Software arduino digunakan untuk memprogram mikrokontroler yang akan digunakan untuk mengatur switching dari driver inverter tersebut.



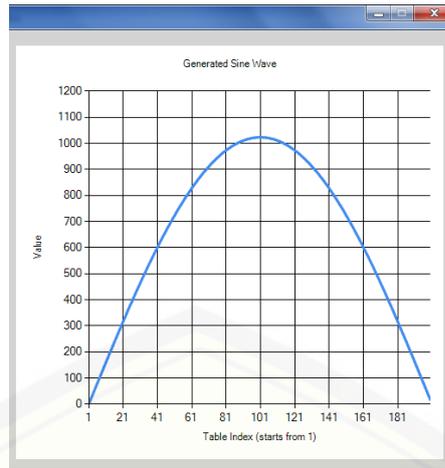
Gambar 3. 11 Interface software arduino (Sumber Arduino.cc)

3.5.2 Smart Sine

Penggunaan aplikasi smart sine ini bertujuan untuk mengkonversi nilai dari gelombang sinus yang diinginkan menjadi beberapa sampel untuk dijadikan bilangan ADC (*Analog Digital Converter*). Hasil dari konverter dijadikan data untuk melakukan pemrograman untuk menentukan nilai PWM yang dibangkitkan.



Gambar 3. 12 Software Smart Sine



Gambar 3. 13 Grafik Sinus hasil konversi

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Pada pengujian yang telah dilakukan dari penelitian dengan judul “Rancang Bangun Inverter *Full Bridge* Satu Fasa” dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Penggunaan driver MOSFET penguat transistor kelas A memiliki bentuk gelombang membalik. Semakin besar input gelombang PWM pada driver MOSFET akan semakin kecil hasil gelombang output PWM.
2. Penggunaan *low pass filter* dapat mempertahankan hasil frekuensi yang dilewatkan dengan beban berubah-ubah. Semakin besar beban yang diberikan didapatkan frekuensi rata-rata 50,26 Hz.
3. Semakin besar pemberian beban dengan menggunakan bohlam, daya yang diperlukan akan semakin besar pada beban yang lebih kecil dengan perbedaan daya rata-rata 22 watt.
4. Pengujian inverter dengan pemberian beban yang berbeda dapat mendapatkan hasil efisiensi yang setabil dengan besar efisiensi rata-rata 40%
5. Pemberian beban resistif pada inverter, semakin besar beban yang dibebankan tegangan output dari inverter semakin berkurang.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan terdapat beberapa saran yang dapat diberikan untuk dikembangkan dan menyempurnakan penelitian ini antara lain :

1. Penggunaan transformator dengan inti besi memberikan kerugian yang besar sebaiknya menggunakan transformator ferit untuk mendapatkan efisiensi yang lebih baik.
2. Inverter full bridge dengan gelombang *modified sinewave* akan lebih baik menggunakan sumber tegangan input 380 VDC sehingga hasil dari

inverter bisa mendapatkan tegangan 220 VAC tanpa menggunakan transformator.

3. Untuk menjaga tegangan output tidak turun saat diberi beban sebaiknya ditambahkan kontrol untuk mendapatkan tegangan output yang stabil.



DAFTAR PUSTAKA

- Adam, Ahmad Antares, *Single Phase Inverter Circuit Based on Frequency Variation For Controlling The Speed of a Capacitor Motor*. Palu: Universitas Tadulaku, 2015.
- Ajitha S.N K.alaiarasi: "Implementation of Full- Bridge Current-Fed Resonant Boost Converter using PIC microcontroller"; 2010 International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 1 – No.
- Ariwibowo, C., Warsiti, A., dan Kartono. 2010. *Perancangan Inverter Dual Conversion Push Pull-Full Bridge Pada Aplikasi Fotovoltaik*, Universitas Diponegoro, Semarang
- Chen, Wai Kai. 2000. *The VLSI Handbook*. Florida: CRC Press.
- Effendi, Moh. Zaenal, "Design of inductor", power point materi kuliah, Surabaya: PENSITS, 2007
- Fairchild Semikonduktor. *ID Series Datasheet*. www.alldatasheet.com, diakses tanggal 26 Februari 2012.
- FATEC, 2006, "*Inverter School Text, Inverter Practical Course*", Mitsubishi Electric Corporation, Tokyo, Japan, p.211.
- Grotzbach M, Ried Ch, Investigation of AC/DC Converter Harmonics by an Analytical Based Time-Discrete Approach, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 12, No.2, April 1997
- HARSONO,T dan PRATILASTIAR-SO,J, "Harmonisa dan Pengaruhnya pada faktor Daya", Jurnal IES 2003.
- Majhi, Bijoyprakash. 2012. *Analysis of Single-Phase SPWM Inverter*.
- MR, Fadhli, *Rancang Bnagun Inverter 12V DC Ke 220V AC Dengan Frekwensi 50Hz dan Gelombang Keluaran Sinusoidal*. Depok: UNIVERSITAS INDONESIA, 2010.
- Mustaffa, Muhammad Faid, *Design The Low Passive Filter For Grid Connected Single Phase Voltage Source Inverter System*. Malaysia: UNIVERSITI TEKNIKAL MALAYSIA MELAKA,2014.
- N. Mohan, T. Undeland, and W. Robbins, "Power Electronics: Converters", Applications, and Design, 2nd ed., New York: John Wiley & Sons, 1995.
- Nasution, Muhamad Fadli.2010. *Pulse Width Modulation*. <http://inirobot.blogspot.com>. Diakses tanggal 8 Januari 2018.

Rashid M.H., “Power Electronics: Circuits, Devices and Applications”, Prentice Hall, 1988. Fernuniversität-Gesamthochschule Hagen; in Germany

Santoso, S. 2013. *Implementasi Teknik PWM Pada Inverter Satu Fasa Gelombang Penuh pada Beban RC*, laporan Tugas Akhir, Universitas Katolik Soegija Pranata, Semarang

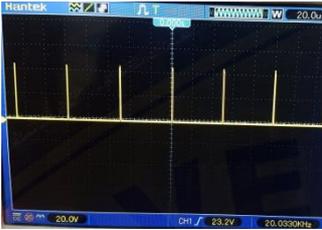
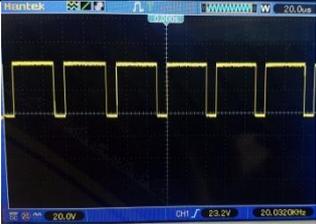
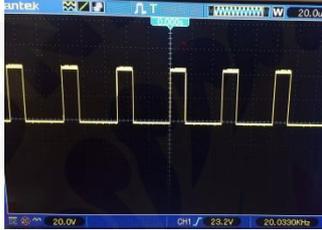
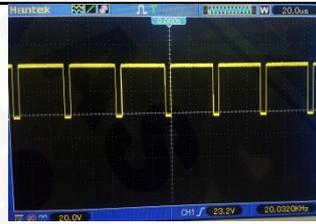
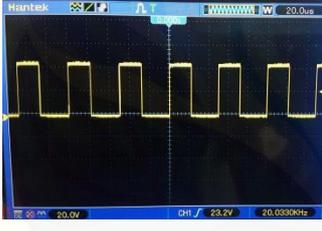
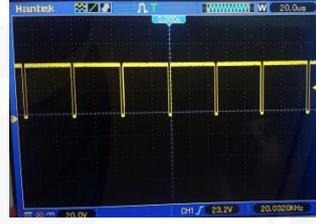
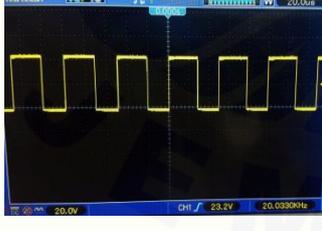
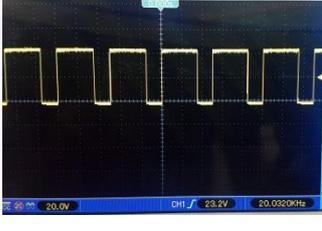
ZULKARNAINI, “Pengaruh Harmonik Akibat Penggunaan Variable Speed Drive Terhadap Piranti Bridge Crane PLTU TELUK SIRIH (2 x 112MW)”, Jurnal Teknik Elektro ITP, Volume 2 No. 2; Juli 2013.

<http://widypedia.blogspot.co.id/2012/09/dasar-dasar-perhitungan-dan-perancangan.html>. Diakses tanggal 28 Maret 2018.

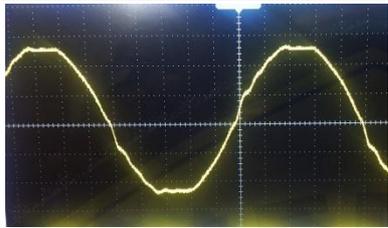
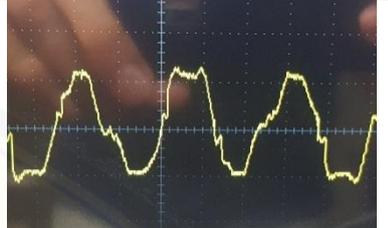
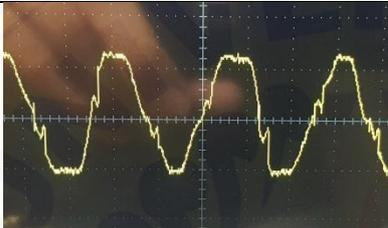
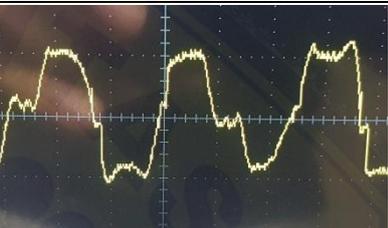
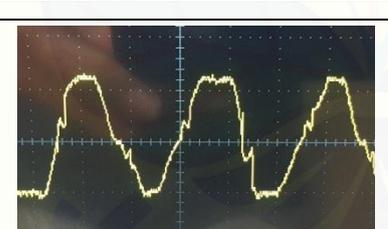
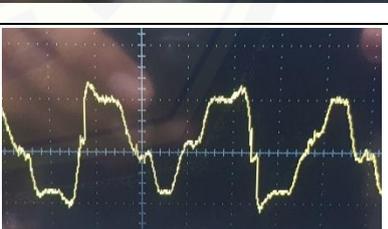


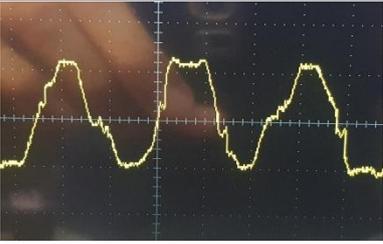
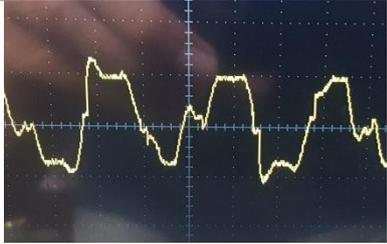
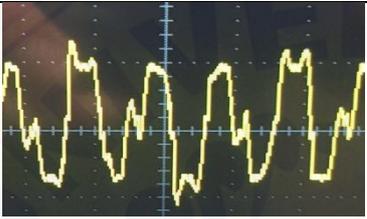
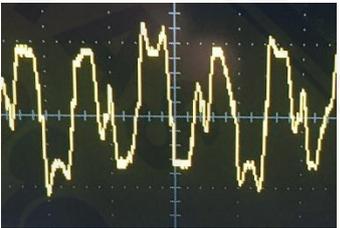
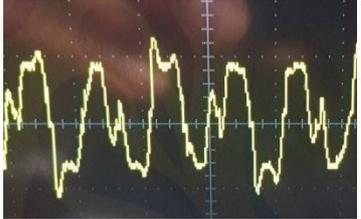
LAMPIRAN

A. Pengujian Gelombang PWM

PWM(%)	Bentuk Gelombang	PWM(%)	Bentuk Gelombang
1,56 %		79,96%	
29,42%		88,36%	
43,98%		94,62%	
57,47%		98,53%	
69,59%		100%	

B. Pengujian Gelombang Pada Beban Resistif

Beban (Watt)	Gelombang	Beban (Watt)	Gelombang
0		40	
10		50	
20		55	
25		60	
30		65	

35		70	
75		90	
80		100	
85			

JEMBER

C. Data Sheet IRF 540

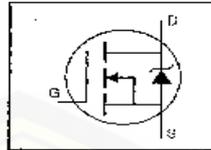
International Rectifier

PD-9.373H

IRF540

HEXFET® Power MOSFET

- Dynamic dv/dt Rating
- Repetitive Avalanche Rated
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements

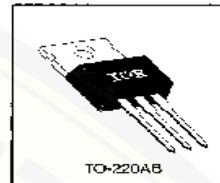


$V_{DSS} = 100V$
 $R_{DS(on)} = 0.077\Omega$
 $I_D = 28A$

Description

Third Generation HEXFETs from International Rectifier provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost-effectiveness.

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



DATA SHEETS

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Max.	Units
I_D @ $T_C = 25^\circ C$	28	A
I_D @ $T_C = 100^\circ C$	20	A
I_{DM}	110	A
P_D @ $T_C = 25^\circ C$	150	W
Linear Derating Factor	1.0	W/°C
V_{GS}	±20	V
E_{AS}	230	mJ
I_{AV}	28	A
E_{AR}	15	mJ
dv/dt	5.5	V/ns
T_J	-55 to +175	°C
T_{STG}	-	°C
Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	°C
Mounting Torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf·in (1.7 N·m)	

Thermal Resistance

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units
R_{JC}	-	-	1.0	°C/W
R_{CS}	-	0.50	-	°C/W
R_{JA}	-	-	62	°C/W

D. Data Sheet IRF 540

SAMSUNG ELECTRONICS INC. 7964142 0012260 002 SM6K
IRF9540/9541/9542/9543
IRFP9140/9141/9142/9143
P-CHANNEL
POWER MOSFETS

FEATURES

- Lower $R_{DS(on)}$
- Improved inductive ruggedness
- Fast switching times
- Rugged polysilicon gate cell structure
- Lower input capacitance
- Extended safe operating area
- Improved high temperature reliability

PRODUCT SUMMARY

Part Number	V_{GS}	$R_{DS(on)}$	I_D
	-100V	0.2 Ω	-19A
IRF9541/IRFP9141	-60V	0.2 Ω	-19A
IRF9542/IRFP9142	-100V	0.3 Ω	-15A
IRF9543/IRFP9143	-60V	0.3 Ω	-15A

MAXIMUM RATINGS

Characteristic	Symbol	IRF9541 IRFP9141	IRF9542 IRFP9142	IRF9543 IRFP9143	Unit	
Drain-Source Voltage (1)	V_{DS}	-100	-60	-100	-60	Vdc
Drain-Gate Voltage ($R_{GS}=1.0M\Omega$) (1)	V_{DG}	-100	-60	-100	-60	Vdc
Gate-Source Voltage	V_{GS}	±20			Vdc	
Continuous Drain Current $T_C=25^\circ C$	I_D	-19	-19	-15	-15	Adc
Continuous Drain Current $T_C=100^\circ C$	I_D	-12	-12	-10	-10	Adc
Drain Current—Pulsed (3)	I_{DM}	-70	-70	-60	-60	Adc
Gate Current—Pulsed	I_{GM}	±1.5			Adc	
Single Pulsed Avalanche Energy (4)	E_{AS}	560			mJ	
Avalanche Current	I_{AS}	-18			A	
Total Power Dissipation @ $T_C=25^\circ C$	P_D	125			Watts	
Derate above $25^\circ C$		1.0			Watts/ $^\circ C$	
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-56 to 150			$^\circ C$	
Maximum Lead Temp. for Soldering Purposes, 1/8" from case for 5 seconds	T_L	300			$^\circ C$	

Notes:
 (1) $T_C=25^\circ C$ to $150^\circ C$
 (2) Pulse test: Pulse width=300 μs , Duty Cycle=2%
 (3) Repetitive rating: Pulse width limited by max. junction temperature
 (4) $L=3.5mH, V_{GS}=-25V, R_G=25\Omega$, Starting $T_J=25^\circ C$

SAMSUNG
ELECTRONICS

225

E. Gambar Percobaan

