

**RANCANG BANGUN *INVERTER* SATU FASA
MENGUNAKAN TEKNIK *HIGH VOLTAGE PWM (PULSE
WIDTH MODULATION)***

(Skripsi)

Oleh

SUBASTIAN YUSUF PANGGABEAN



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2017**

ABSTRAK

RANCANG BANGUN INVERTER SATU FASA MENGGUNAKAN TEKNIK *HIGH VOLTAGE PWM (PULSE WIDTH MODULATION)*

Oleh

SUBASTIAN YUSUF PANGGABEAN

Inverter adalah suatu peralatan elektronik yang digunakan untuk menghasilkan sumber tegangan arus bolak-balik dengan masukan tegangan arus searah. Inverter banyak digunakan sebagai sumber listrik sekunder menggantikan sumber listrik yang disediakan Perusahaan Listrik Negara. Penelitian ini bertujuan untuk membuat sebuah rancang bangun inverter yang memiliki gelombang keluaran sinusoidal dengan frekuensi 50Hz seperti standar sumber tegangan Perusahaan Listrik Negara. Rancang bangun ini juga dilakukan untuk mengetahui hasil implementasi PWM dengan switching tegangan tinggi. PWM yang dihasilkan dengan proses natural sampling dengan membandingkan sinyal sinusoidal dengan sinyal segitiga.

Rancangan sistem terdiri atas beberapa blok rangkaian. Blok rangkaian terdiri dari DC-DC *booster*, Osilator PWM, *Gate Driver*, *Full-Bridge Inverter*, dan *Low Pass Filter*. Masing-masing blok rangkaian di uji keluarannya sebelum dirangkai menjadi sistem. Pada proses perancangan ini, terdapat dua keberhasilan yang diharapkan yaitu, keberhasilan pengujian setiap blok dan keberhasilan sistem.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa (1) sistem inverter ini tidak dapat menghasilkan tegangan keluaran seperti yang diharapkan sebesar 220V AC, (2) sistem inverter ini dengan frekuensi modulasi 3,3kHz hanya mampu mengubah tegangan 12VDC dinaikan menjadi 42VDC yang kemudian diubah menjadi 20VAC gelombang sinus 50Hz, dan (3) untuk PWM dengan Switching tegangan tinggi dengan frekuensi modulasi yang rendah sulit di implementasikan.

Kata kunci: inverter gelombang sinus, natural sampling, *high voltage PWM*

ABSTRACT

SINGLE PHASE INVERTER ARCHITECTURE USING THE TECHNIQUE OF HIGH VOLTAGE PWM (PULSE WIDTH MODULATION)

By

SUBASTIAN YUSUF PANGGABEAN

The inverter is an electronic piece of equipment used to produce alternating current voltage source with voltage direct current input. Many inverters are used as a secondary power source replace the power source provided the State electricity company. This research aims to create an architecture of the inverter output waveform has a sinusoidal with frequency 50 Hz as standard voltage source State electricity company. Architecture is also done to find out the results of implementation of PWM switching with high voltage. PWM-generated by the process of natural sampling sinusoidal signals by comparing the signal with triangles

The design of the system consists of several blocks of the series. Block series consists of DC-DC PWM Oscillator, booster, Gate Driver, Full-Bridge Inverter, and Low Pass Filter. Each block circuit in test output before it is assembled into the system. On the process of design, there are two expected success, namely, the successful testing of each block and the success of the system.

The results of this study suggest that (1) this inverter system cannot generate the output voltage as expected of 220V AC, (2) the system of modulation with frequency inverter is 3,3kHz was only able to change the voltage 12VDC offered up into a later renamed 42VDC 20VAC sine wave 50 Hz, and (3) to PWM Switching with high voltage with low modulation frequencies are difficult in implementations.

Keywords: sine wave inverters, natural sampling, high voltage PWM

**RANCANG BANGUN *INVERTER* SATU FASA
MENGUNAKAN TEKNIK *HIGH VOLTAGE PWM (PULSE
WIDTH MODULATION)***

Oleh

SUBASTIAN YUSUF PANGGABEAN

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2017**

Judul Skripsi : **RANCANG BANGUN INVERTER SATU FASA
MENGUNAKAN TEKNIK HIGH VOLTAGE
PWM (PULSE WIDTH MODULATION)**

Nama Mahasiswa : **Subastian Yusuf Panggabean**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1115031079**

Program Studi : **Teknik Elektro**

Fakultas : **Teknik**



1. Komisi Pembimbing

Dr. Eng. F.X. Arinto Setyawan, S.T., M.T.
NIP. 19691219 199903 1 002

Syaiful Alam, S.T., M.T.
NIP. 19690416 199803 1 004

2. Ketua Jurusan Teknik Elektro

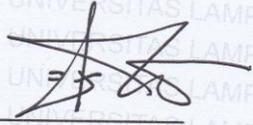
Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc.
NIP 19731128 199903 1 005

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

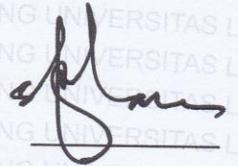
Ketua

: Dr. Eng. F.X. Arinto Setyawan, S.T., M.T.



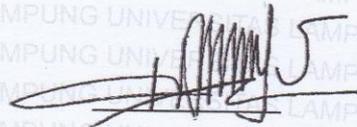
Sekretaris

: Syaiful Alam, S.T., M.T.



Penguji Utama

: Dr. Sri Purwiyanti, S.T., M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik



Prof. Suharno, M.Sc. Ph.D.

NIP. 19620717 198703 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 25 Januari 2017

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain, dan sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang tertulis atau diterbitkan orang lain, kecuali tertulis dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan di dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 27 Februari 2017

Penulis,



Subastian Yusuf Panggabean
NPM.1115031079

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 5 Mei 1993, sebagai anak pertama dari dua bersaudara, dari Bapak Burhanuddin Panggabean dan Ibu Desmariansi Damanik.

Pendidikan Taman Kanak-kanak (TK) diselesaikan di TK DHARMA WANITA tahun 1999, Sekolah Dasar (SD) diselesaikan di SDN 2 PALAPA Tanjung Karang, pada tahun 2005, Sekolah Menengah Pertama (SMP) di MTsN 1 Tanjung Karang pada tahun 2008, dan sekolah menengah atas (SMA) di SMAN 6 Bandar Lampung pada tahun 2011.

Tahun 2011, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Unila melalui jalur UML. Selama menjadi mahasiswa penulis pernah menjadi asisten praktikum Elektronika Dasar dan Elektronika Lanjut di Laboratorium Teknik Elektronika. Penulis juga aktif di Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATRO) Fakultas Teknik Unila. Pada tahun 2013, penulis melakukan Kerja Praktek di PT. Indosat MSC Lampung.

Ku Persembahkan,

"Kepada Ayah dan Mama Tercinta"

MOTTO

**Tidak akan ada yang akan menyelamatkan
dirimu dari kesulitanmu kecuali hanya
dengan usaha mu sendiri dengan keridhoan
“ALLAH”**

(Pemain Tunggal, Subastian Yusuf Panggabean, S.T.)

SANWACANA

Puji syukur Penulis Ucapkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan hidayah-Nya skripsi ini dapat diselesaikan.

Skripsi dengan judul “ *Rancang Bangun Inverter Satu Fasa Menggunakan Teknik High Voltage PWM (Pulse Width Modulation)*” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Suharno, M.Sc. Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik Unila;
2. Bapak Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro;
3. Bapak Dr. Eng. F.X. Arinto Setyawan, S.T., M.T., selaku Pembimbing Utama atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini;
4. Bapak Syaiful Alam, S.T., M.T., selaku Pembimbing Kedua atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini;

5. Ibu Dr. Sri Purwiyanti, S.T.,M.T., selaku Penguji Utama pada ujian Skripsi.
Terimakasih untuk masukan dan sara-saran pada seminar proposal, hasil hingga komprehensif;
6. Ibu Herlinawati, S.T., M.T. selaku Pembimbing Akademik;
7. Ibu Dr. Ir. Sri Ratna S, M.T., selaku Kepala Lab Teknik Elektronika, Terima kasih atas bimbingan-nya;
8. Mba Ning dan Mas Daryono dan Staf Administrasi JTE unila;
9. Rekan-rekan mahasiswa Jurusan Teknik Elektro 2011 (ElevEngineer),
Terima kasih atas kebersamaan kalian;
10. Rekan-rekan Staf dan Asisten di Laboratorium Teknik Elektronika;
11. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Elektro baik angkatan di atas saya maupun dibawah saya.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, akan tetapi sedikit harapan semoga skripsi yang sederhana ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua. Amin.

Bandar Lampung, Februari 2017

Penulis,

Subastian Yusuf Panggabean

DAFTAR ISI

Halaman

ABSTRAK	i
HALAMAN JUDUL.....	iii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iv
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
SANWACANA.....	x
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xx

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Manfaat Penelitian	3
1.4 Rumusan Masalah	3
1.5 Batasan Masalah	4

1.6 Hipotesis	4
1.7 Sistematika Penulisan	5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu	7
2.2 <i>High Voltage PWM</i>	8
2.3 Inverter	9
2.4 Osilator Sinyal Sinus dan Segitiga	14
2.5 Pembangkit <i>Bipolar PWM (Pulse Width Modulation)</i>	15
2.6 Low Pass Filter.....	17

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	19
3.2 Alat dan Bahan	19
3.3 Spesifikasi Alat	20
3.4 Spesifikasi Sistem	21
3.5 Metode Penelitian.....	22
3.5.1 Studi Literatur	22
3.5.2 Perancangan Blok dan Sistem	22
3.5.3 Pengujian Blok dan Sistem	26
3.5.4 Analisa dan Kesimpulan	27
3.5.5 Pembuatan Laporan Akhir	28

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil	29
4.1.1 Hasil Pengujian Blok DC-DC Konverter	31
4.1.2 Hasil Pengujian Blok Osilator SPWM	37
4.1.3 Hasil Pengujian Blok <i>Gate Driver</i>	43
4.1.4 Hasil Pengujian Blok <i>Full-Bridge Inverter</i>	45
4.1.5 Hasil Pengujian Blok <i>Low Pass Filter</i>	46
4.2 Pembahasan	51

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	53
5.2 Saran	54

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Konfigurasi rangkaian <i>High Voltage</i> PWM.....	8
Gambar 2.2 Bentuk gelombang keluaran <i>inverter</i> , 50Hz, 230 VRMS	10
Gambar 2.3 Bentuk gelombang <i>inverter modified squarewave</i>	11
Gambar 2.4 Bentuk gelombang keluaran <i>inverter modified sinewave</i>	11
Gambar 2.5 Bentuk gelombang keluaran <i>inverter pure sinewave</i>	12
Gambar 2.6 Konfigurasi rangkaian <i>push-pull inverter</i>	12
Gambar 2.7 <i>Full-bridge converter</i>	14
Gambar 2.8 Dasar konsep dari osilator dengan tiga bentuk keluaran gelombang ..	15
Gambar 2.9 (a) komparasi (b) sinyal S1 dan S2 (c) sinyal S3 dan S4 13	16
Gambar 2.10 Rangkaian <i>Full-Bridge Inverter</i> Satu Fasa.....	16
Gambar 2.11 Blok diagram filter harmonisa.....	18
Gambar 2.12 Blok diagram LC filter	18
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> perancangan alat dan sistem	23
Gambar 3.2 Skematik blok sistem inverter	24
Gambar 4.1 Skematik Simulasi Sistem Pada Proteus 7.7	30
Gambar 4.2 Bentuk Sinyal Yang dihasilkan Sistem Pada Simulasi	31
Gambar 4.3 Rangkaian DC-DC konverter	32
Gambar 4.4 Sinyal Keluaran IC TL494 Mode <i>Push-Pull</i>	33

Gambar 4.5 <i>Delay Dead Time</i>	33
Gambar 4.6 Sinyal Keluaran Trafo Frekuensi Tinggi.....	36
Gambar 4.7 Cuplikan Tegangan Keluaran Terukur pada Volt Meter.....	36
Gambar 4.8 Blok DC-DC Konverter	37
Gambar 4.9 Skematik Simulasi Osilator SPWM	38
Gambar 4.10 <i>User Interface</i> Untuk Pengaturan Sinyal <i>Function Generator</i>	39
Gambar 4.11 <i>Bentuk Sinyal Keluaran Simulasi Osilator SPWM</i>	39
Gambar 4.12 Skematik Rangkaian Osilator SPWM.....	40
Gambar 4.13 Keluaran Osilator IC ICL8038 Sinyal Sinus dan Segitiga.....	42
Gambar 4.14 Keluaran Komparator IC LM358.....	42
Gambar 4.15 Blok Osilator PWM, Gate Driver dan Full-Bridge	43
Gambar 4.16 Skematik Rangkaian <i>Gate Driver</i> dan Rangkaian <i>Full Bridge</i>	43
Gambar 4.17 Blok Gate Driver Menggunakan IC IR2110	44
Gambar 4.18 Sinyal PWM untuk G1 dan G2 dari IC IR2110	44
Gambar 4.19 sinyal PWM untuk G3 dan G4 dari IC IR2110.....	45
Gambar 4.20 Delay Dua Sinyal Keluaran Pada Satu IC Gate Driver.....	45
Gambar 4.21 Keluaran Full Bridge Dengan Tegangan Masukan 330V DC.....	46
Gambar 4.22 Skematik Rangkaian <i>Low Pass Filter</i>	46
Gambar 4.23 Keluaran LPF Dengan Tegangan Masukan 330V DC	48
Gambar 4.24 Keluaran Full Bridge Dengan Tegangan Masukan 12 VDC.....	48
Gambar 4.25 Keluaran LPF Dengan Tegangan Masukan 12VDC.....	49
Gambar 4.26 Keluaran LPF Dengan Tegangan Masukan 35 VDC	49
Gambar 4.27 Blok DC-DC Konverter Setelah dilakukan Perubahan	50

Gambar 4.28 Cuplikan Tegangan Keluaran DC Terukur pada rangkaian 4.27 50

Gambar 4.29 Cuplikan Tegangan Keluaran AC sistem pada input 42VDC..... 51

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel keluaran pasangan saklar pada rangkaian <i>full-bridge</i>	10
--	----

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ketersediaan sumber daya alam yang berasal dari fosil pada saat ini mulai terbatas jumlahnya. Sumber daya fosil merupakan sumber daya alam yang banyak sekali digunakan dalam kehidupan sehari-hari seperti keperluan mesin industri, pembangkit listrik, dan bahan bakar kendaraan. Sebagai contoh pada PLTD menggunakan olahan minyak bumi yaitu solar dan PLTU menggunakan batubara sebagai media untuk menghasilkan uap panas. Untuk mengurangi penggunaan sumber daya fosil yang berlebihan, diperlukan sumber energi alternatif yang masih tersedia dalam jumlah banyak di bumi. Sinar matahari pada saat ini menjadi pilihan utama sebagai sumber energi alternatif karena ketersediaannya yang cukup banyak dan mudah dalam pemanfaatannya sebagai sumber energi listrik. Energi yang diperoleh dari cahaya matahari diserap menggunakan panel surya yang kemudian tegangan yang dihasilkan oleh panel surya akan disimpan pada baterai penyimpanan. Hal ini sangat bermanfaat untuk menanggulangi masalah pemadaman listrik yang kerap terjadi dan juga dapat menjadi sumber energi listrik alternatif bagi daerah yang belum mendapatkan jaringan listrik dari perusahaan listrik negara maupun daerah yang sudah mendapatkan jaringan distribusi listrik

akan tetapi listrik yang diperoleh tidak stabil. Panel surya merupakan elemen yang mengubah berkas-berkas cahaya matahari menjadi energi listrik searah yang dapat disimpan menggunakan baterai. Baterai yang digunakan pada umumnya adalah aki 12V DC. Listrik yang dihasilkan oleh sistem panel surya belum dapat diimplementasikan sebagai catu daya peralatan-peralatan elektronik yang di catu menggunakan sumber listrik PLN yang besarnya 220V AC 50Hz. Oleh karena itu dibutuhkan sebuah alat yang dapat mengubah sumber listrik searah dari baterai 12V DC menjadi 220V AC untuk digunakan pada peralatan-peralatan elektronik, yang dikenal dengan inverter. Inverter merupakan sebuah peralatan elektronika yang digunakan untuk mengubah sumber listrik searah menjadi sumber listrik bolak-balik. Terdapat beberapa macam inverter yang dibedakan berdasarkan gelombang keluarannya yaitu, gelombang kotak (*square wave*), gelombang sinus modifikasi (*modified sine wave*), dan gelombang sinus murni (*pure sine wave*). *Inverter* yang paling banyak digunakan adalah inverter dengan gelombang keluaran sinus modifikasi, karena lebih murah dan mudah dalam proses pembuatannya. Akan tetapi inverter tersebut memiliki kekurangan apabila digunakan pada beban induktif. Untuk memperbaiki kualitas dari *inverter* maka tugas akhir ini bertujuan untuk membuat sebuah rancangan bangun *inverter* yang dapat digunakan secara luas pada peralatan-peralatan elektronik dengan daya skala rumah tangga. Inverter ini menggunakan sumber DC searah dari aki 12V dan akan diubah menjadi tegangan 220V AC 50Hz dengan gelombang keluaran sinusoidal menggunakan teknik *bipolar switching PWM (Pulse Width Modulation)* serta menggunakan dua

konfigurasi rangkaian *inverter* yaitu *push-pull* untuk menaikkan tegangan 12V DC menjadi 330V DC dan *full-bridge* untuk mengubah 330V DC menjadi 220V AC.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah membuat sebuah *inverter* yang dapat mengubah sumber tegangan 12V DC menjadi tegangan 220V AC 50Hz dengan keluaran gelombang sinusoidal untuk penggunaan pada peralatan elektronik skala rumah tangga.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menghasilkan inverter dengan keluaran gelombang sinusoidal murni.
2. Mengetahui hasil dari implementasi teknik *bipolar switching* PWM pada rangkaian *inverter full-bridge* dengan *switching* tegangan tinggi.

1.4 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana rangkaian *push-pull inverter* dengan suplai tegangan 12V DC dapat menghasilkan tegangan 330V DC dengan arus 2 Ampere?
2. Bagaimana rangkaian modulasi yang menggunakan rangkaian analog dapat menghasilkan sinyal *switching bipolar* PWM yang baik tanpa cacat membawa informasi gelombang sinus 50Hz?

3. Bagaimana rangkaian *full-bridge inverter* dengan dipicu oleh sinyal *switching* dari rangkaian modulasi dapat mengubah tegangan 330V DC menjadi tegangan AC?
4. Bagaimana rangkaian *low pass filter* berupa komponen LC (*Inductor* dan *Capacitor*) dapat mereduksi sinyal PWM menjadi gelombang sinus.

1.5 Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki batasan masalah yaitu sebagai berikut :

1. Rangkaian *push-pull inverter* menggunakan *duty cycle* 50% dan frekuensi *switching* 50kHz dan keduanya tidak berubah nilainya.
2. Rangkaian modulasi menggunakan osilator analog berupa dua IC yang menghasilkan sinyal sinus dengan frekuensi 50Hz sebagai sinyal referensi dan sinyal segitiga dengan frekuensi 3.3kHz sebagai sinyal pembawa dan keduanya tidak berubah nilainya.
3. Rangkaian *full-bridge inverter* menggunakan MOSFET IRFP460 dengan batas tegangan *Drain-Source* 500V serta menggunakan *gate driver* IR2110 untuk meneruskan sinyal *switching* dari rangkaian modulasi ke rangkaian *full-bridge inverter*.
4. Tidak membahas tentang harmonisa dari gelombang keluaran.

1.6 Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini diharapkan:

1. Sistem inverter ini dapat menghasilkan tegangan keluaran 220V AC 50Hz dengan daya 300Watt.

2. Gelombang keluaran yang dihasilkan berupa sinusoidal.

1.7 Sistematis penulisan

Laporan tugas akhir ini terdiri dari beberapa bab :

I. PENDAHULUAN

Bab ini membahas tentang latar belakang, tujuan penelitian, manfaat penelitian, perumusan masalah, batasan masalah, hipotesis dan sistematika penulisan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas tentang materi yang berhubungan dengan tugas akhir seperti: penelitian terdahulu, pengertian *inverter*, jenis *inverter push-pull* dan *full bridge*, sampling alami untuk menghasilkan PWM (*pulse width modulation*), *low pass filter*, *oscilator*, dan *high voltage PWM*.

III. METODE PENELITIAN

Bab ini membahas tentang metode yang akan digunakan pada penelitian, tahapan penelitian yang meliputi waktu, tempat, alat, bahan, spesifikasi alat, dan metode penelitian.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Memaparkan proses perancangan, hasil pengujian sistem serta analisis.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Memuat tentang simpulan yang diperoleh dari penelitian dan saran-saran untuk penelitian lanjutan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

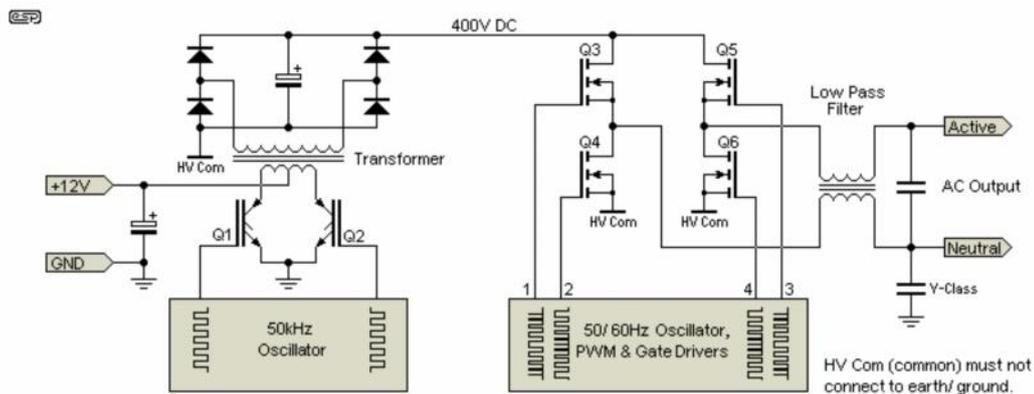
Terdapat beberapa penelitian sebelumnya yang relevan dengan penelitian tentang rancang bangun *inverter* satu fasa menggunakan teknik *high voltage* PWM.

Nurdalilah (2012) dalam tesisnya yang berjudul “*Implementation of Single Phase PWM Inverter by Using Bipolar Switching Technique*” memaparkan bahwa teknik bipolar PWM *switching* telah digunakan untuk mengontrol *switching* semua MOSFET dalam rangkaian *full bridge* untuk menghasilkan tegangan keluaran AC yang simetris. Sinyal generator ICL 8038 digunakan sebagai penghasil sinyal sinus dan segitiga yang digunakan untuk menghasilkan sinyal PWM. Penggunaan *low pass filter* dapat menghasilkan kualitas THD yang lebih baik [1].

Ariwibowo (2010) dalam skripsinya yang berjudul “*Perancangan Inverter Dual Conversion Push Pull-Full Bridge Pada Aplikasi Fotovoltaik*” memaparkan bahwa *inverter* menggunakan konfigurasi *push pull-full bridge*, dengan menggunakan trafo *step-up* inti ferit yang lebih ringan memiliki efisiensi lebih tinggi dari *inverter* konfigurasi *push pull*, dengan menggunakan trafo *step-up* inti besi [2].

2.2 High Voltage PWM

Pada sebuah *inverter* transformator merupakan bagian yang sangat penting yang digunakan untuk menaikkan tegangannya, akan tetapi akan membuat inverter semakin berat dan mahal. Hal tersebut dapat diatasi menggunakan *switchmode boost power supply* untuk menaikkan tegangan puncak tegangan masukan. Transformator frekuensi tinggi berinti ferit digunakan agar rangkaian lebih kecil dan ringan serta dapat digunakan untuk frekuensi penyaklaran 25-50kHz. Tegangan keluaran 325V atau 170V untuk menghasilkan 230V dan 120V dengan konfigurasi rangkaian seperti diperlihatkan pada Gambar 2.10[3].



Gambar 2.1 Konfigurasi rangkaian *High Voltage* PWM [3]

Dengan rangkaian diatas *inverter* menjadi lebih efisien dan kehilangan daya minimum. Tegangan dinaikkan terlebih dahulu pada DC-DC *converter* dan kemudian diubah menjadi AC menggunakan penyaklaran PWM pada *full-bridge converter*.

2.3 Inverter

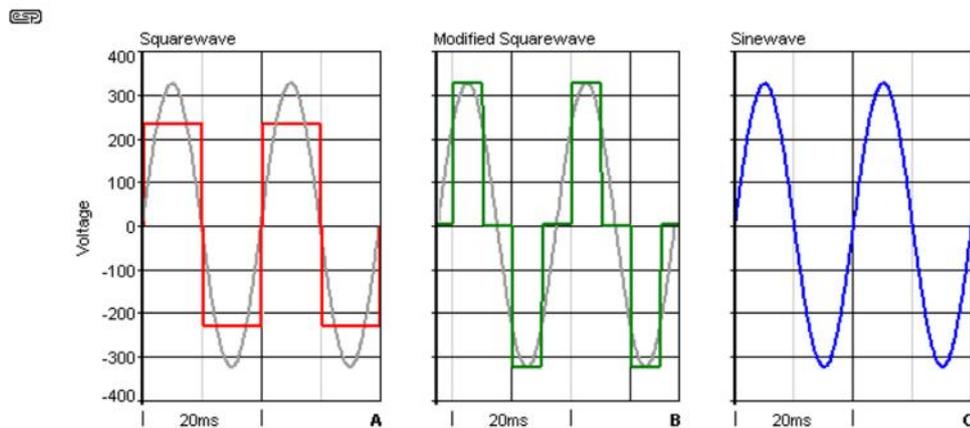
Power inverter merupakan perangkat elektronik yang dapat mengubah sumber arus searah DC (*Direct Current*) menjadi arus bolak-balik AC (*Alternating Current*). Inverter digunakan dalam banyak aplikasi, contohnya digunakan dalam sebuah kondisi yang hanya tersedia arus DC rendah seperti yang dihasilkan baterai (Accu) atau panel surya dan dibutuhkan untuk menyuplai peralatan elektronika dengan masukan arus AC [3].

Terdapat dua perbedaan gelombang pada tegangan AC yang dihasilkan *inverter* pada umumnya, yaitu keluaran berupa 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 [3].

Inverter dapat diklasifikasikan berdasarkan gelombang keluarannya sebagai berikut:

1. *Squarewave*
2. *Modified Squarewave*
3. *Pure Sinewave*

Dengan catatan bahwa ‘*modified sinewave*’ dan ‘*modified squarewave*’ memiliki perbedaan dan yang banyak digunakan adalah ‘*modified squarewave*’ [3].



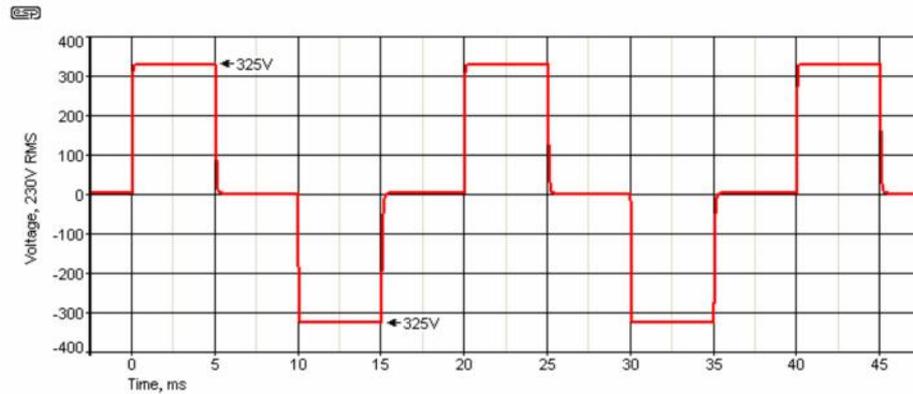
Gambar 2.2 Bentuk gelombang keluaran *inverter*, 50Hz, 230 VRMS [3]

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 dibuat. Pada *inverter* jenis ini tegangan puncak atau V_p sama dengan V_{RMS} nya. *Inverter* ini dapat dibuat menggunakan rangkaian push-pull *inverter*. Bentuk dari sinyal keluarannya dapat dilihat pada gambar 2.1.

2. *Modified Squarewave Inverter*

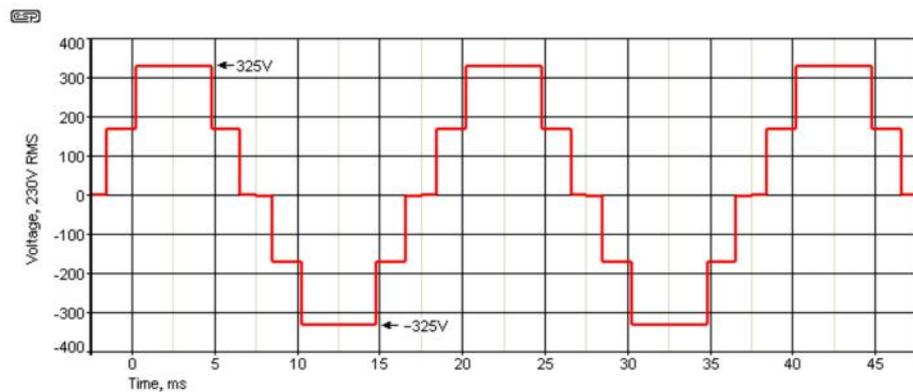
Untuk menghasilkan sebuah gelombang keluaran yang memiliki tegangan RMS dan tegangan puncak sama, kita perlu memodifikasi gelombang keluaran agar dapat menghasilkan gelombang seperti diperlihatkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.3 Bentuk gelombang *inverter modified squarewave* [3]

3. Modified Sinewave Inverter

Pada *modified square inverter* yang diperlihatkan pada gambar 2.2 dihasilkan menggunakan PWM, sedangkan *modified sinewave* menggunakan *low speed* PWM untuk membuat pola sinyal seperti sinus yang diperlihatkan pada gambar 2.3.

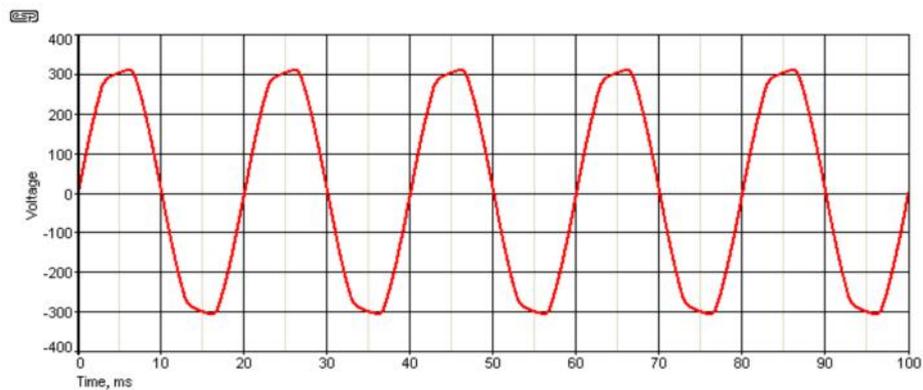


Gambar 2.4 Bentuk gelombang keluaran *inverter modified sinewave* [3]

4. Pure Sinewave Inverter

Pembuatan sebuah *inverter* sinus murni sedikit lebih sulit. Dibutuhkan sebuah osilator sinyal sinus dengan frekuensi yang standar, *power amplifier* untuk menyediakan arus yang kita butuhkan dan sebuah

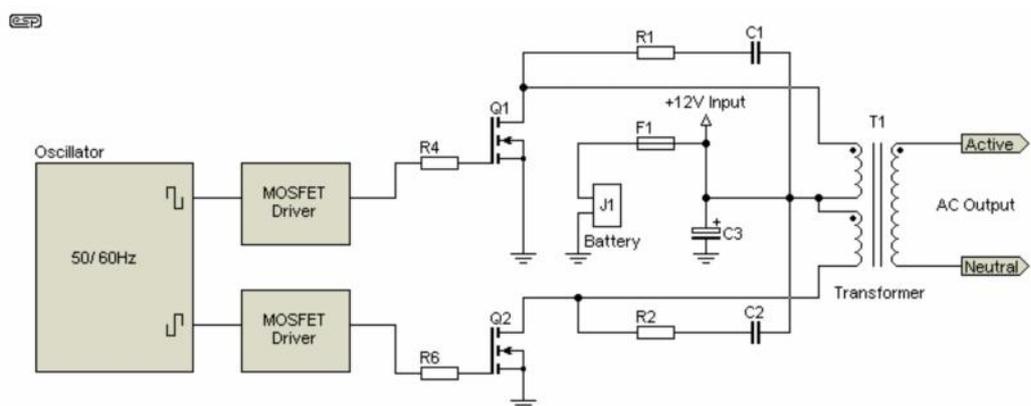
transformator untuk menghasilkan tegangan 230V RMS. Pada jenis ini, tegangan puncak dan tegangan RMS berbeda dan sinyal ini dapat menggunakan metode SPWM. Gelombang keluaran *pure sinewave inverter* diperlihatkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.5 Bentuk gelombang keluaran *inverter pure sinewave* [3]

Inverter dapat diklasifikasikan berdasarkan konfigurasi rangkaiannya adalah sebagai berikut:

1. *Push-pull inverter*



Gambar 2.6 Konfigurasi rangkaian *push-pull inverter* [3]

Rangkaian *push-pull inverter* (Gambar 2.5) bekerja dengan prinsip penyaklaran pada Q1 dan Q2 secara bergantian. Susunan transformator

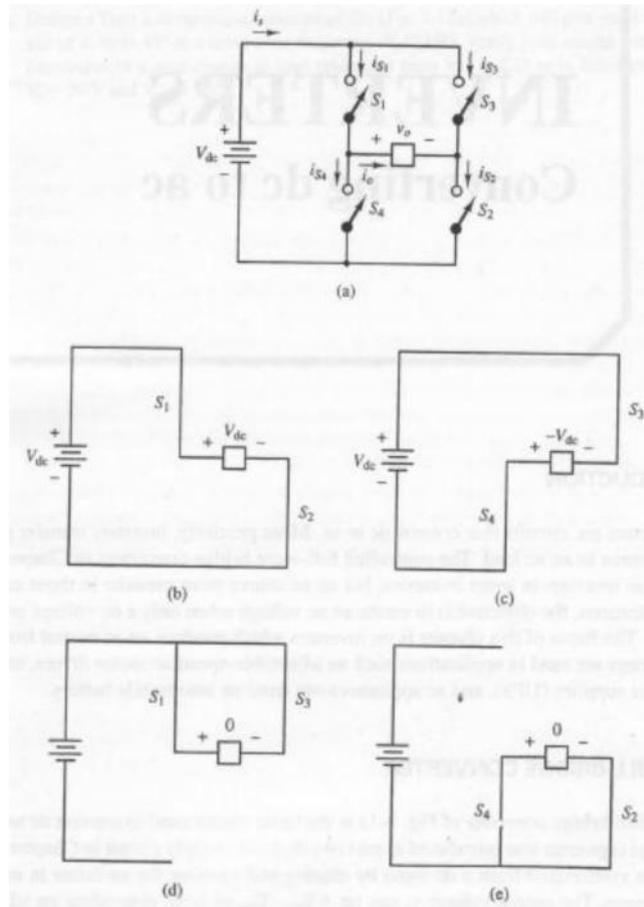
yang berbeda posisi dot menghasilkan dua kondisi aliran arus yang berlawanan arah. Peristiwa tersebut terus berulang sehingga dapat menghasilkan tegangan bolak-balik AC. Rangkaian *push-pull inverter* dapat diaplikasikan sebagai inverter DC-AC gelombang kotak dengan frekuensi 50Hz dan juga sebagai *booster* DC-DC dengan penyaklaran frekuensi tinggi 30-50kHz yang keluaran tegangan AC frekuensi tingginya disearahkan menggunakan *ultrafast* dioda.

2. Full-bridge converter

Full-bridge converter (Gambar 2.6) merupakan sebuah rangkaian yang digunakan untuk mengubah tegangan DC ke AC. Konfigurasi rangkaian *full-bridge* terdiri dari 2 pasang saklar yaitu (S1,S2) dan (S3,S4) yang bekerja bergantian. Tegangan DC diubah menjadi AC dengan cara pembukaan saklar yang ditentukan secara berurutan sehingga membalik polaritas pada beban dengan cepat. Urutan penyaklaran digambarkan pada Tabel 2.1 [4].

Tabel 2.1 Tabel keluaran pasangan saklar pada rangkaian *full-bridge* [4]

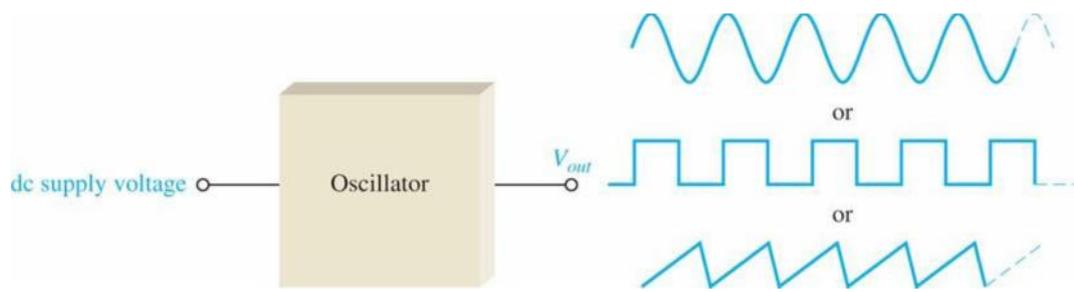
Saklar tertutup	Tegangan keluaran (Tegangan V_o)
$\overline{S_1} \text{ dan } \overline{S_2}$	$+V_{dc}$
$\overline{S_3} \text{ dan } \overline{S_4}$	$-V_{dc}$
$\overline{S_1} \text{ dan } \overline{S_3}$ $\overline{S_2} \text{ dan } \overline{S_4}$	0
$\overline{S_1} \text{ dan } \overline{S_4}$ $\overline{S_2} \text{ dan } \overline{S_3}$	0



Gambar 2.7 (a) *Full-bridge converter* (b) S_1 dan S_2 tertutup. (c) S_3 dan S_4 tertutup. (d) S_1 dan S_3 tertutup. (e) S_2 dan S_4 tertutup [4]

2.4 Osilator Sinyal Sinus dan Segitiga

Osilator merupakan rangkaian elektronik untuk menghasilkan sinyal keluaran tanpa adanya sinyal masukan. Osilator menghasilkan gelombang yang periodik hanya dengan masukan berupa tegangan DC. Keluaran osilator dapat berupa sinusoidal dan nonsinusoidal tergantung pada tipe dari osilator. Beberapa tipe keluaran osilator yaitu gelombang sinus, gelombang kotak, gelombang segitiga, dan gelombang gigi gergaji (Gambar 2.7) [5].

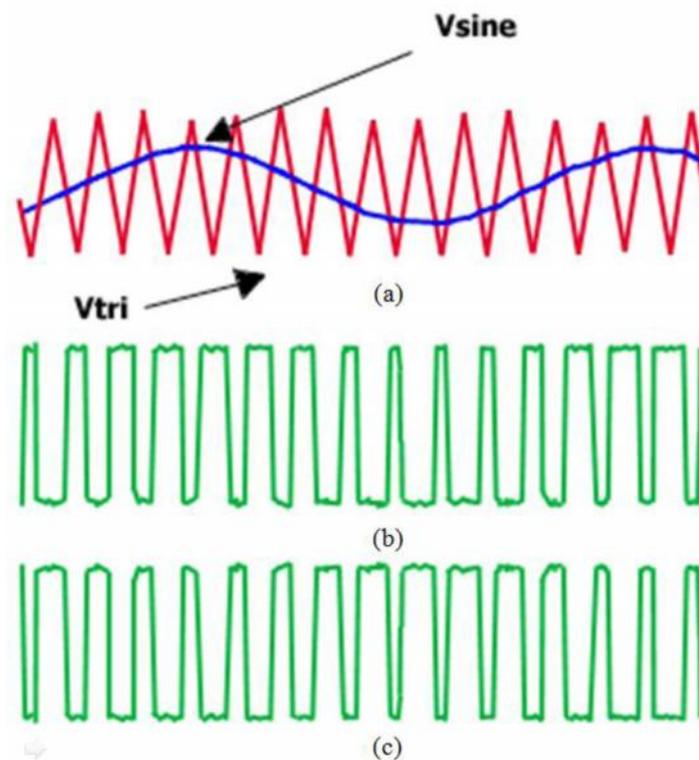


Gambar 2.8 Dasar konsep dari osilator dengan tiga bentuk keluaran gelombang: gelombang sinus, gelombang kotak, dan gigi gergaji [5].

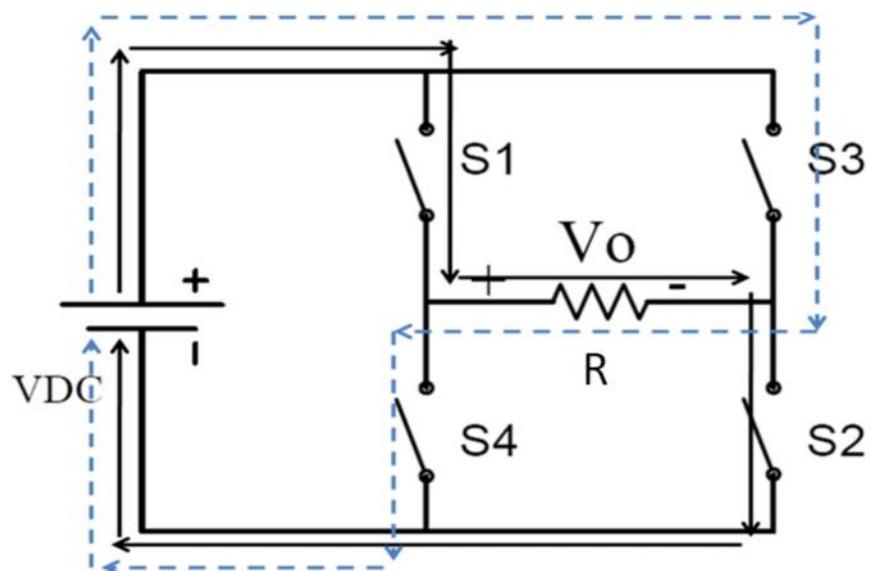
Untuk membuat sebuah osilator sinyal yang paling umum digunakan adalah dengan menggunakan op-amp dengan kombinasi rangkaian RC di rangkaiannya. Pada saat ini terdapat pula IC *function generator* yang dapat berfungsi sebagai osilator yang memiliki tiga sinyal keluaran sinyal bipolar yaitu gelombang sinus, gelombang kotak, dan gelombang segitiga. IC ICL 8038 merupakan salah satu jenis IC *function generator* tersebut. IC ini dapat menghasilkan tiga gelombang keluaran yaitu: sinus, kotak, dan segitiga dengan komponen luar yang minimum. IC ini bekerja pada frekuensi 0.001Hz sampai lebih dari 300kHz dengan menggunakan kombinasi nilai resistor dan kapasitor [6].

2.5 Pembangkit Bipolar PWM (*Pulse Width Modulation*)

Pada *switching bipolar PWM inverter*, sinyal PWM dihasilkan dengan cara membandingkan gelombang sinusoidal (gelombang referensi) dengan sinyal segitiga (sinyal *carrier*). Keluaran sinyal membawa nilai frekuensi sinus (f_{sine}). Dan disisi lain, frekuensi sinyal segitiga (f_{tri}) yang juga menjadi frekuensi *switching* [7].



Gambar 2.9 (a) komparasi sinyal sinus dan segitiga (b) keluaran PWM sebagai sinyal *switching* pada S1 dan S2 (c) keluaran PWM sebagai sinyal *switching* pada S3 dan S4 [7]



Gambar 2.10 Rangkaian *Full-Bridge Inverter* Satu Fasa

Gambar 2.8 menampilkan bagaimana proses modulasi sinyal PWM dengan cara membandingkan sinyal sinus dan sinyal segitiga serta sinyal switching S1 dan S2 serta S3 dan S4. Sinyal PWM digunakan untuk mengontrol S1 dan S2, dan sinyal kebalikannya untuk mengontrol S3 dan S4. Terlihat juga pada gambar 2.8 (a) bahwa amplitudo atau tegangan 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 modulasi didefinisikan sebagai rasio dari frekuensi sinyal segitiga f_{tri} dan frekuensi sinusoidal f_{sine} [7].

Amplitudo modulasi, M_a didefinisikan sebagai:

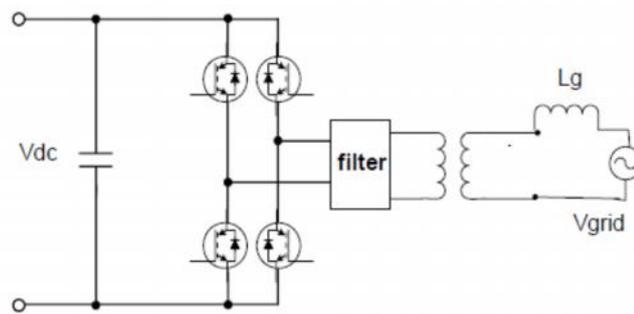
$$M_a = \frac{V_{sine}}{V_{tri}} \quad (2-1)$$

Frekuensi modulasi, M_f didefinisikan sebagai:

$$M_f = \frac{f_{tri}}{f_{sine}} \quad (2-2)$$

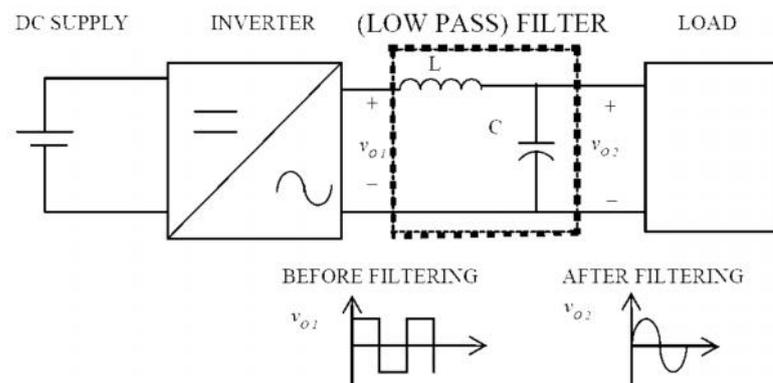
2.6 Low Pass Filter

Low pass filter bertujuan untuk mengeliminasi semua harmonisa yang tidak menguntungkan dari sinyal keluaran. Dengan mendesain sebuah filter, *output* tegangan dan arus harus murni sinusoidal AC dengan frekuensi kerjanya. Pada gambar 2.11 merupakan susunan rangkaian *inverter* sinus.



Gambar 2.11 Blok diagram filter harmonisa

Keluaran dari *inverter* sebelum diberikan filter adalah tidak sinusoidal, setelah diberikan *low pass filter* keluaran menjadi sinusoidal. *Low pass filter* digunakan untuk menyeleksi frekuensi yang dibutuhkan, dan mengeliminasi frekuensi tinggi yang lebih tinggi dari frekuensi *cut-off* [8].



Gambar 2.12 Blok diagram LC filter

Adapun rumus dasar untuk mendesain filter adalah sebagai berikut:

$$F_{co} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}} \quad (2-3)$$

L= Induktansi C=Kapasitansi

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Elektronika, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung. Penelitian ini dimulai pada bulan Juni 2016 sampai Desember 2016.

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam pembuatan alat dalam tugas akhir ini terdiri dari perangkat keras, perangkat lunak dan komponen elektronika sebagai berikut :

1. Resistor
2. Kapasitor Polar dan non-Polar
3. Dioda 1N4007, 1N5401,
4. Transistor Bipolar, A966 dan C2235
5. IC TL494, ICL 8038, LM358, IR2110 dan LM7812
6. Power MOSFET, IRF Z44N dan IRFP 460
7. Inti Ferit Toroida
8. Kawat Tembaga
9. PCB

10. *Heatsink Aluminium*
11. Kabel
12. *Power Supply* 12V DC 1 Amp
13. Solder
14. Timah
15. Bor PCB
16. Pisau Potong
17. *Heat Gun Glue*
18. Laptop Acer Aspire E1-472G
19. Perangkat Lunak Proteus 7.7 dan DipTrace
20. *Universal Box*

3.3 Spesifikasi Alat

Spesifikasi alat adalah sebagai berikut .:

1. Menggunakan tegangan suplai 12V DC sebagai suplai DC-DC konverter, rangkaian osilator dan rangkaian *gate driver*.
2. Menggunakan rangkaian *booster* DC-DC konverter dengan rangkaian *inverter push-pull* yang keluarannya di searahkan untuk menaikkan tegangan 12V DC ke 330V DC dengan IC switching TL494 dan penyaklaran dengan MOSFET IRF Z44N serta *ultrafast diode* MUR 1640 400V 8A x 2 sebagai penyearah AC dengan frekuensi dan tegangan tinggi.
3. Menggunakan rangkaian osilator dengan IC ICL 8038 pembangkit sinyal bipolar dengan suplai tegangan DC yang digunakan untuk

membangkitkan gelombang sinus dengan frekuensi 50Hz dan gelombang segitiga dengan frekuensi 3.3kHz yang akan digunakan untuk membuat sampling alami dengan membandingkan kedua sinyal tersebut menggunakan IC Op-Amp LM358 sebagai komparator yang akan menghasilkan SPWM (*Sine Pulse Width Modulation*).

4. Menggunakan rangkaian *gate driver* dengan IC IR2110 yang berfungsi sebagai antar muka yang menghubungkan antara rangkaian osilator SPWM dan rangkaian *inverter full bridge high voltage*.
5. *Low Pass Filter* tegangan tinggi digunakan untuk mereduksi sinyal SPWM sehingga dapat membentuk gelombang sinus.

3.4 Spesifikasi Sistem

Spesifikasi sistem adalah sebagai berikut :

1. Mampu mengubah tegangan 12V DC yang diperoleh dari baterai (accu) atau sumber 12V DC lainnya menjadi tegangan 220V AC dengan frekuensi 50Hz dengan gelombang keluaran sinusoidal yang menyerupai standar dari sumber listrik PLN.
2. Dapat menon-aktifkan sistem seketika apabila terdeteksi suhu panas berlebihan pada *heatsink* yang menjadi pendingin FET IRF Z44N, dengan menggunakan sensor NTC sebagai pendeteksi suhu yang penggunaannya memanfaatkan fitur error amplifier pada IC TL494 sebagai komparator.

3.5 Metode Penelitian

Pada penelitian dan perancangan tugas akhir ini, langkah-langkah kerja yang dilakukan adalah sebagai berikut :

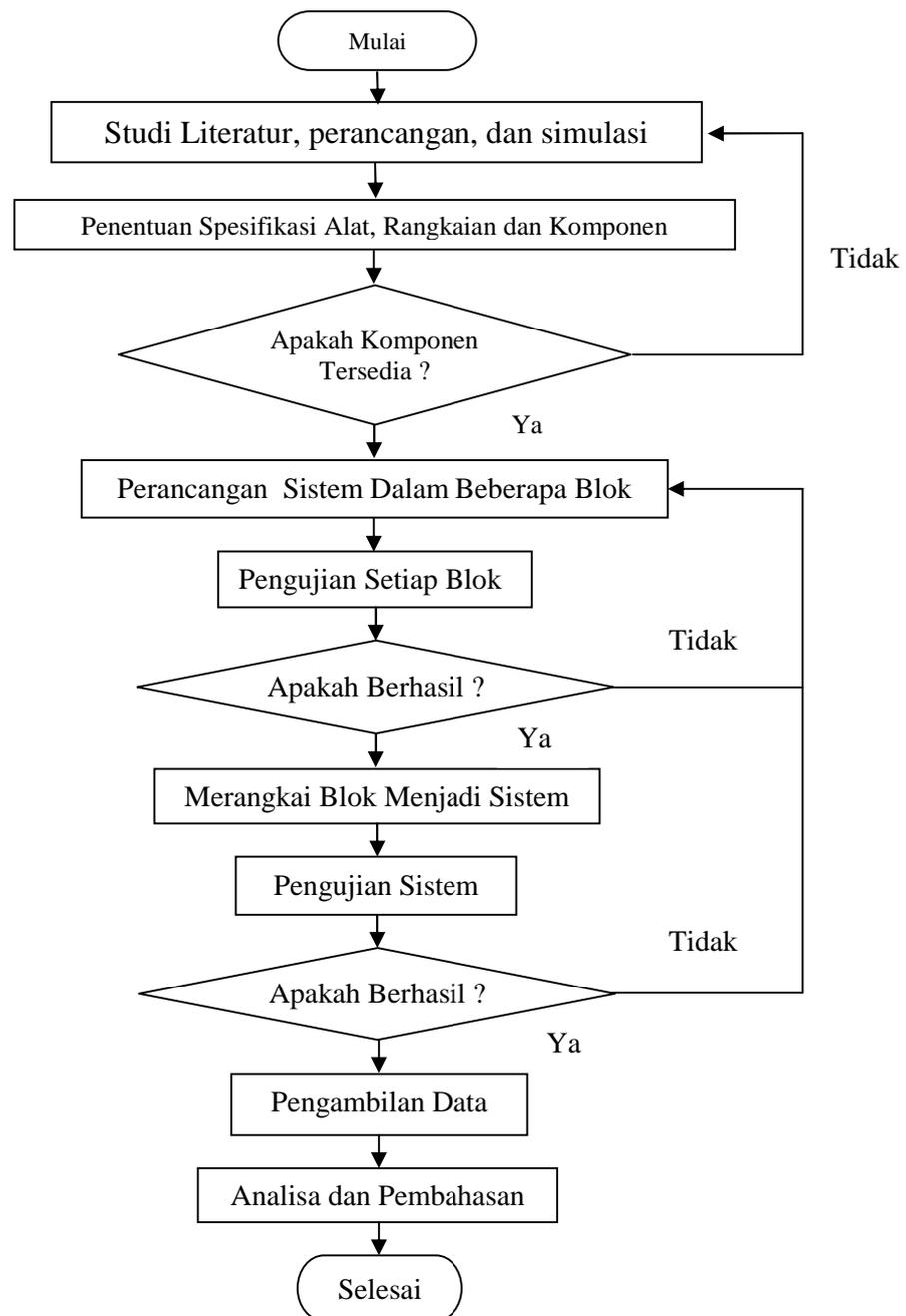
3.5.1 Studi Literatur

Pada tahap studi literatur dilakukan pengumpulan referensi yang berkaitan dengan tugas akhir ini baik yang bersumber dari buku maupun jurnal penelitian yang telah dilakukan sebelumnya sebagai pedoman dalam pelaksanaan penelitian. Hal ini bertujuan untuk lebih memahami tentang penelitian yang akan dilakukan. Materi literatur yang digunakan sebagai bahan acuan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. *Inverter.*
2. Osilator sinyal.
3. Pembangkit *Bipolar PWM (pulse width modulation).*
4. *High Voltage PWM (pulse width modulation).*
5. *Low Pass Filter*

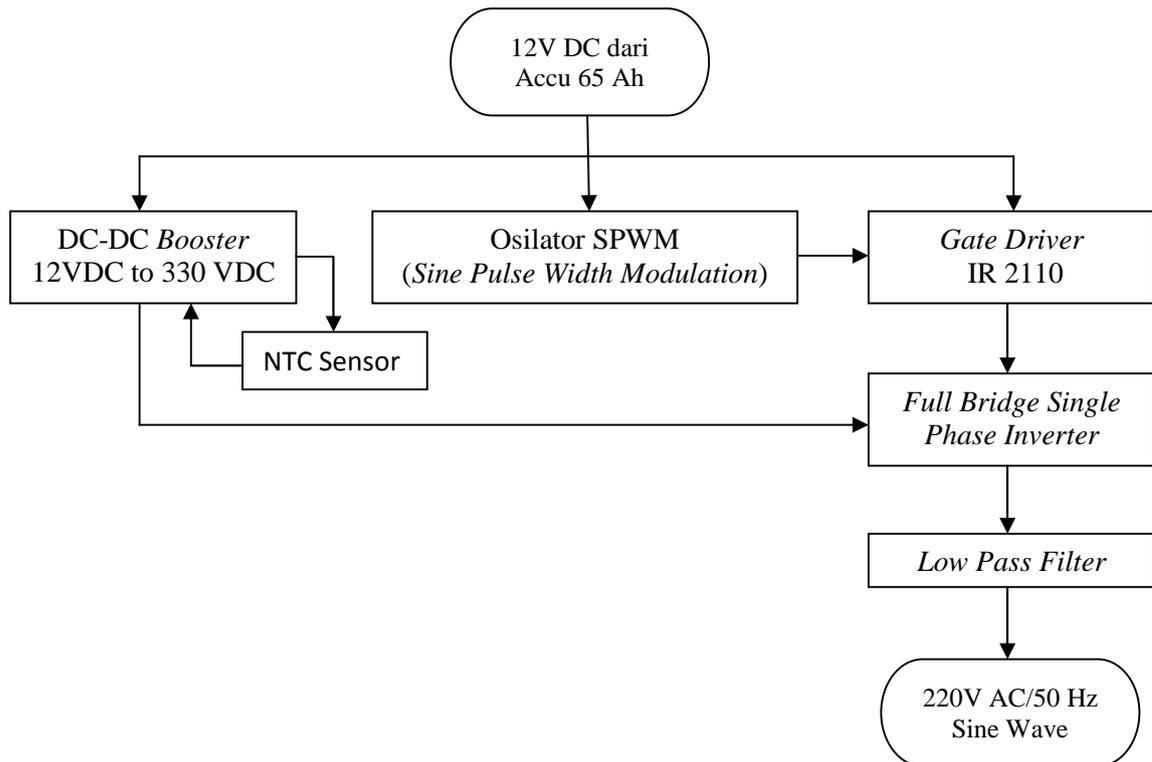
3.5.2 Perancangan Blok dan Sistem

Pada tahap ini bertujuan untuk pengambilan keputusan dan mencari alternatif jika terdapat kendala pada saat perancangan sistem. Adapun perancangan yang dilakukan dapat digambarkan pada gambar diagram alir Gambar 3.1:



Gambar 3.1 Flowchart Perancangan Alat Dan Sistem

Berikut penjelasan tentang sistem inverter yang dibagi menjadi beberapa blok rangkaian yang digambarkan pada skematik Gambar 3.2:



Gambar 3.2 Skematik Blok Sistem Inverter

a. Perancangan Blok Rangkaian Booster DC-DC

Pada blok ini tegangan yang diperoleh dari accu 12V DC dinaikkan menjadi tegangan 330V DC. Konfigurasi push-pull inverter yang menggunakan trafo inti ferit dengan switching frekuensi tinggi menggunakan MOSFET IRF Z44N sebagai pensaklaran. Sinyal switching dari IC TL 494 digunakan untuk mengendalikan power mosfet. tegangan keluaran trafo ferit berupa AC frekuensi tinggi disearahkan menggunakan ultrafast dioda MUR 1640 CT.

b. Perancangan Blok Rangkaian Osilator SPWM (*sine pulse width modulation*)

Pada blok ini terjadi proses pembentukan SPWM dengan metode *sampling* analog dengan cara membandingkan sinyal sinus bipolar dengan frekuensi 50 Hz dengan Sinyal segitiga bipolar dengan frekuensi 3.3 kHz. Kedua sinyal tersebut masing-masing dihasilkan oleh IC function generator ICL 8038 dan kemudian kedua sinyal tersebut dibandingkan pada rangkaian op-amp sebagai comparator IC LM 358. Sesuai dengan diagram diatas blok ini mendapatkan suplai tegangan dari accu 12V DC

c. Perancangan Blok *Gate Driver*

Pada blok ini terjadi proses penerusan sinyal SPWM dari rangkaian osilator menuju rangkaian inverter *full-bridge*. Rangkaian gate driver digunakan sebagai media untuk meneruskan sinyal *switching* dari rangkaian PWM ke rangkaian *Full-Bridge inverter*. Blok *gate driver* ini menggunakan dua buah IC IR 2110 yang mendapatkan suplai tegangan dari accu 12V DC.

d. Perancangan Blok *Full-Bridge Inverter*

Pada blok ini terjadi proses *high voltage switching* dimana tegangan 330V DC dari rangkaian *booster* diubah menjadi tegangan bolak-balik frekuensi tinggi. Proses pensaklaran menggunakan empat buah FET IRFP 460 yang pada *gate* nya diberikan sinyal pemicu SPWM yang diperoleh dari blok *gate driver*.

e. Perancangan Blok *Low Pass Filter*

Pada blok ini, keluaran dari full-bridge inverter berupa tegangan AC SPWM dengan frekuensi tinggi akan direduksi sehingga yang akan tersisa adalah sinyal sinus dengan frekuensi 50 Hz dan tegangannya sebesar 220V AC. Blok ini terdiri dari induktor dan kapasitor.

3.5.3 Pengujian Blok dan Sistem

Pengujian blok dan sistem dilakukan untuk mengetahui tingkat keberhasilan yang dibuat pada penelitian ini. Pengujian ini dimulai dari pengujian per blok rangkaian dan dilanjutkan dengan pengujian sistem secara keseluruhan. Adapun pengujian-pengujian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

a. Pengujian Blok *DC to DC Booster*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat keberhasilan pada blok ini apakah keluarannya sesuai dengan yang diinginkan yaitu tegangan 330V DC. Pengujian ini dilakukan menggunakan bantuan alat ukur berupa multimeter digital.

b. Pengujian Blok *Osilator SPWM*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah rangkaian ini dapat menghasilkan sinyal SPWM sesuai dengan yang diharapkan. Pengujian ini menggunakan bantuan osiloskop digital yang digunakan untuk melihat bentuk sinyal keluaran dan kalibrasi sinyal sinus dan segitiga.

c. Pengujian Blok *Gate Driver*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah rangkaian ini dapat meneruskan sinyal SPWM dengan baik. pengujian pada blok ini

menggunakan bantuan osiloskop digital untuk mengetahui bentuk sinyal SPWM yang keluar.

d. Pengujian Blok *Full-Bridge Inverter*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah rangkaian ini dapat mengubah tegangan DC menjadi AC tanpa adanya gangguan. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan tegangan searah yang nilai tegangannya rendah terlebih dahulu, untuk mengurangi terjadinya hal yang tidak diinginkan. Pengujian ini menggunakan bantuan multimeter digital dan juga osiloskop digital.

e. Pengujian Sistem secara keseluruhan

Pengujian ini dilakukan setelah rangkaian *low pass filter* sudah dipasang pada sisi keluaran. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah *inverter* ini mampu mengubah tegangan 12V DC menjadi 220V AC dengan frekuensi 50 Hz dan gelombang keluarannya sinus. Pengujian ini menggunakan bantuan multimeter digital dan juga osiloskop digital.

3.5.4 Analisa dan kesimpulan

Analisa dilakukan dengan cara melihat kesesuaian alat yang dibuat dengan spesifikasi yang telah ditentukan sebelumnya yang kemudian akan diambil kesimpulan dari analisa pengujian yang akan dimasukkan ke dalam laporan akhir.

3.5.5 Pembuatan Laporan Akhir

Pembuatan laporan akhir merupakan tahap akhir dari penelitian ini dimana semua kegiatan penelitian yang telah dilakukan akan ditulis pada laporan akhir.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Osilator analog yang digunakan hanya dapat memodulasi sinyal sinus dengan baik pada tegangan masukan *full bridge inverter* maksimal 42 VDC dengan tegangan keluaran sebesar 20 VAC gelombang sinus.
2. Osilator SPWM analog sensitif terhadap drop yang terjadi pada tegangan masukan dimana apabila tegangan suplai drop di bawah tegangan kerja IC, IC akan berhenti bekerja.
3. Teknik *bipolar switching* pada *switching* tegangan tinggi membutuhkan frekuensi modulasi lebih dari 3.3 kHz.
4. *Soft starting* pada DC-DC konverter sangat membantu mengurangi lonjakan daya secara tiba-tiba pada pengoperasian awal sistem.
5. Penggunaan *low pass filter* dengan dua induktor dapat membuat bentuk sinyal sinus yang dihasilkan *inverter*, namun induktor yang digunakan harus identik.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penggunaan osilator bipolar jenis lain yang mampu menghasilkan frekuensi modulasi yang lebih besar dari 3.3kHz.
2. Menggunakan DC-DC konverter yang memiliki umpan balik sangat dianjurkan untuk menyesuaikan *duty cycle* pada setiap kondisi pembebanan di sisi keluaran.
3. Penggunaan IC TL494 sangat disarankan sebagai osilator *push-pull inverter* karna memiliki *error amplifier* yang dapat dimanfaatkan sebagai umpan balik ataupun pengamanan rangkaian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dalillah. Nur Binti Nordin. 2012. Implementation of Single Phase PWM Inverter by Using Bipolar Switching technique. Universiti Teknologi Malaysia. Malaysia

- [2] Ariwibowo. Cahyo. 2010. Perancangan *Inverter Dual Conversion Push Pull-Full Bridge* Pada Aplikasi *Fotovoltaik*. Universitas Diponegoro Semarang . TRANSMISI, 12 (3), 2010, 94-100

- [3] Elliott Rod. 2014. *Inverter AC Power Supplies*. Elliott Sound Products. Iowa City.

- [4] Danial W. Hart. 1997. *Introduction to Power Electronics*. Prentice-Hall International, Inc. New Jersey.

- [5] Asad S. Muhammad. 2012. *Oscillators*. Ferris State University. Michigan. EEET 201-Chapter 16.

- [6] Intersil. 2001. *datasheet ICL 8038*. Intersil Ltd. Taipei

- [7] Michael Newbry and Percy Vigo. 2009. *1,5 kW PWM Bipolar Inverter*. California Polytechnic State University. San Luis Obispo

- [8] Clayton R. Paul. 2010. *Implementation Analysis of linear circuit*. McGraw-Hill International Editions, Electrical Engineering series. New York.