

**RANCANG BANGUN *INVERTER* SATU PHASA MENGGUNAKAN
METODE *SPWM BIPOLAR***

(Skripsi)

**Oleh
YAYAN ALFIANTO**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

ABSTRAK

RANCANG BANGUN *INVERTER* SATU PHASA MENGGUNAKAN METODE *SPWM BIPOLAR*

Oleh

YAYAN ALFIANTO

Elektronika dalam dunia industri sangat berkembang pesat, dalam penggunaan energi terbarukan tidak terlepas dari penggunaan inverter. Inverter dalam pemasaran dimasyarakatkan tidak terlepas dari kekurangan seperti bentuk gelombang yang tidak ideal atau tidak berbentuk sinusoidal murni sehingga menyebabkan berkurang umur dari beban yang terpakai.

Teknik SPWM dapat menghasilkan gelombang sinusoidal dengan modulasi gelombang sinusoidal dan gelombang segitiga.

Hasil analisa beban mempengaruhi magnitude tegangan dan arus. Pengujian beban resistor saat nilai arus 0.1 ampere didapatkan tegangan 121 volt dengan daya terhitung 12.1 watt, pada beban lampu LED saat arus 0.25 ampere didapatkan nilai tegangan 95 volt dengan daya terhitung 58.05 watt. Frekuensi yang dihasilkan inverter saat terpasang beban sebesar 51.55 Hz.

Kata kunci ; Inverter, SPWM Bipolar, Proses pembangkit SPWM

ABSTRACT

CONSTRUCTION DESIGN 1 PHASE INVERTER WITH SPWM BIPOLAR METHOD

By

YAYAN ALFIANTO

Electronics in the industrial world is very rapidly expanding, in the use renewable energy is not detached from the use of inverter. Inverter in marketing are not separated from the lack of such a waveform that is not ideal or sinusoidal shape is not pure, resulting in reduced life span of the load used.

SPWM techniques can produce sinusoidal waves by modulating sinusoidal waves and triangular waves. The result of load analysis affect magnitude voltage and current. Test the load resistor when the current value of 0.1 ampere is obtained voltage 121 volt with a calculated power of 12.1 watts, on the load of the LED lamp when the current 0.25 ampere obtained voltage value 95 volt with a power of 58.05 watts. The frequency produced by inverter when plugged load was 51.55 Hz.

Keywords ; Inverter, bipolar SPWM, SPWM generator process

**RANCANG BANGUN *INVERTER* SATU PHASA MENGGUNAKAN
TEKNIK *SPWM BIPOLAR***

Oleh
YAYAN ALFIANTO

(Skripsi)

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

Judul Skripsi : **RANCANG BANGUN INVERTER SATU
PHASA MENGGUNAKAN METODE
SPWM BIPOLAR**

Nama Mahasiswa : **Yayan Alfianto**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1215031079**

Program Studi : **Teknik Elektro**


Fakultas : **Teknik**

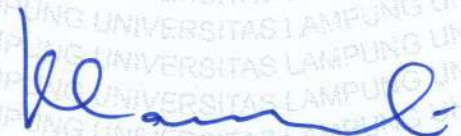
MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing


Prof. Dr. Ahmad Saudi Samosir, M.T.
NIP 19710415 199803 1 005


Dr. Eng. Endah Komalasari, M.T.
NIP 19730215 199903 2 003

 **Ketua Jurusan Teknik Elektro**

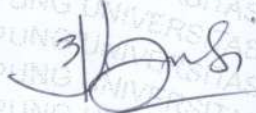

Khairudin, S.T., M.Sc., Ph.D., Eng.
NIP 19700719 200012 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

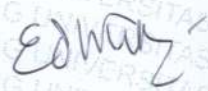
Ketua

: Prof. Dr. Ahmad Saudi Samosir, M.T.



Sekretaris

: Dr. Eng. Endah Komalasari, M.T.



Penguji

Bukan Pembimbing : Ir. Noer Soedjarwanto, M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik



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

NIP 19620717 198703 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 15 November 2019

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya tidak terdapat atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan 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.

Randar Lampung, 18 Desember 2019



Yayan Alfianto
NPM 1215031079

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Mesuji, Provinsi Lampung pada tanggal 5 Mei 1994. Penulis merupakan anak ke-1 dari 2 bersaudara dengan nama Ayah Dri Wusono dan nama Ibu Riaman Sinabutar.

Riwayat pendidikan lulus Sekolah Dasar (SD) di SD Negeri 1 Rejomulyo Mesuji 2006, lulus Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMPN Sejahtera Bandarlampung pada tahun 2009, lulus Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA Immanuel Bandar Lampung pada tahun 2012 dan diterima di Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung (Unila) pada tahun 2012.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di Organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (Himatro) Fakultas Teknik Periode 2013-2014 sebagai anggota Departemen Divisi Apresiasi Pengembangan dan Keilmuan. Pada tahun 2014-2015 penulis menjadi anggota Departemen Divisi Apresiasi Pengembangan dan Keilmuan. Penulis pernah melakukan Kerja Praktik (KP) selama 30 hari (2 Agustus s.d 31 Agustus 2015) di Pembangkit Jawa Bali (PJB) Muara Karang Jakarta Utara dengan mengambil judul “Analisa Pembangkitan Combine Cycle Pembangkit Tenaga Listrik Gas dan Uap di PJB Muara Karang“.

PERSEMBAHAN

*Hanya oleh TUHAN YESUS KRISTUS saya bisa menyelesaikan Tugas
Akhir
untuk:*

*Ayah dan Ibuku Tercinta
Dri Wusono dan Rjaman Sinabutar*

*Serta Adikku Tersayang
Riza Dwi Wicaksono*

*Teman-teman kebanggaanku
Rekan-rekan Jurusan Teknik Elektro*

*Almamaterku
Universitas Lampung
Agamaku
Kristen
Bangsa dan Negaraku
Republik Indonesia*



MOTTO

Don't Give up Before Try



SANWACANA

Segala puji dan syukur, atas karunia Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan segala anugrahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Skripsi dengan judul “**RANCANG BANGUN *INVERTER* SATU PHASA MENGGUNAKAN METODE *SPWM BIPOLAR***” merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung. Penulis dengan senang hati menerima kritik dan saran yang bersifat membangun bila terdapat kekurangan dalam skripsi ini.

Selama melaksanakan penelitian, penulis banyak mendapatkan pengalaman yang sangat berharga. Penulis mendapat bantuan baik moril, materi, bimbingan, petunjuk serta saran dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung, untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Kedua Orang Tua penulis yang senantiasa memberikan doa, dukungan cinta dan kasih sayang sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini;
2. Bapak Prof.Dr.Suharno, M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik;
3. Bapak Khairudin S.T., M.Sc., Ph.D., Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro;
4. Ibu Herlinawati, S.T.,M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro;
5. Bapak Prof. Dr. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M.T. selaku Pembimbing Utama atas kesediaanya meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik serta semangat dalam penyelesaian skripsi ini;
6. Ibu Dr.Eng. Endah Komalasari, S.T., M.T. selaku Pembimbing pendamping atas kesediaanya meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik serta semangat dalam penyelesaian skripsi ini;

7. Bapak Ir. Noer Soedjarwanto, S.T., M.T. selaku Pembahas utama atas kesediaanya meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik serta semangat dalam penyelesaian skripsi ini;
8. Seluruh staff admin Jurusan Teknik Elektro MbK ning, Mas Qodar yang banyak membantu penulis dalam memfasilitasi kegiatan administrasi.
9. Kepada Anak Lab Konversi Rio, Dharma, Aji P, Ipan, Guntur, Panji, Payan, Hekson, Riski, Helmi, Arnold, Farhan, Anjas, Abi, Aan, Faisal, Awi, Yosa, dan semua punggawa LAB konversi yang tidak bisa disebutkan satu-satu.
10. Saudara-saudara seperjuangan Elektro ELANG12 atas kebersamaan dan kekeluargaan yang telah dibangun selama ini;
11. Adik, yang telah membimbing dan menemani dalam suka maupun duka hingga skripsi ini selesai;

Semoga kebaikan, kemurahan hati dan bantuan yang telah diberikan semua pihak mendapat balasan yang setimpal dari Tuhan Yang Maha Esa dan semoga hari-hari kita selalu indah dan menjadi lebih baik lagi.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak terlepas dari kesalhan dan jauh dari kesempurnaan, oleh karna itu masukan serta saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan dimasa yang akan datang. Akhirnya semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 18 Desember 2019

Penulis

Yayan Alfianto

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
HALAMAN JUDUL	iv
LEMBAR PERSETUJUAN	v
LEMBAR PENGESAHAN	vi
SURAT PERNYATAN	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
PERSEMBAHAN.....	ix
MOTO	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL.....	xxi
 BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2

1.3 Manfaat Penelitian	3
1.4 Rumusan Masalah	3
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Hipotesis	3
1.7 Sistematika Penulisan	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 <i>Inverter</i>	6
2.1.1 <i>Inverter Pushpull</i>	7
2.1.2 <i>Inverter Fullbrigde</i>	8
2.1.3 <i>Inverter Halfbrigde</i>	8
2.2 <i>Pulse Witdh Modulation</i>	9
2.2.1 <i>Teknik Switching Bipolar</i>	10
2.2.2 <i>Teknik Switching Unipolar</i>	11
2.3 <i>Komparator</i>	12
2.4 <i>Filter</i>	13
2.5 <i>Osilator</i>	14
2.5.1 <i>Osilator Sinusoidal</i>	14
2.5.2 <i>Osilator segitiga</i>	14

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	15
3.2 Alat dan Bahan	15

3.3 Metode Penelitian.....	17
3.3.1 Studi Literatur	17
3.3.2 Perancangan Model Simulasi.....	17
3.3.3 Pengujian Model Simulasi	19
3.3.4 Pengambilan Data Simulasi	20
3.3.5 Perancangan Perangkat Keras.....	20
3.3.6 Pengujian Alat.....	24
3.3.7 Pengambilan Data.....	25
3.3.8 Analisa dan Pembahasan	25
3.4 Diagram Alir Tugas Akhir	25

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Hasil Simulasi Matlab	27
4.1.1 Simulasi <i>Inverter Pushpull</i>	27
4.2 Perancangan Pemodelan Alat.....	30
4.2.1 Perancangan <i>Gate Driver</i>	30
4.2.2 Perancangan Pembangkit Gelombang.....	31
4.3 Pengujian Rangkaian <i>Subtraktor</i>	36
4.4 Pengujian Komparator	38
4.5 Pengujian Inverter Menggunakan Beban	45
4.5.1 Pengujian beban resistor sebelum filter	45
4.5.2 Analisa hasil pengujian alat dan simulasi	48
4.5.3 Pengujian beban resistor setelah terpasang filter	53

4.5.4 Analisa pengujian beban R terhadap filter dan tanpa filter.....	55
4.5.5 Pengujian beban lampu LED	56

BAB V SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan	63
5.2 Saran.....	65

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 <i>Inverter Pushpull</i>	7
2.2 <i>Inverter Fullbridge</i>	8
2.3 <i>Inverter Halfbridge</i>	9
2.4 Gelombang <i>SPWM Bipolar</i>	10
2.5 Gelombang <i>SPWM Unipolar</i>	11
2.6 Rangkaian Komparator	12
2.7 Rangkaian Filter	13
2.8 Gelombang Segitiga.....	14
3.1 Perbandingan gelombang <i>sinusoidal</i> dan gelombang segitiga	19
3.2 Skematik Rangkaian Daya <i>Inverter Pushpull</i>	21
3.3 Skematik Rangkaian <i>Gate Driver</i>	22
3.4 Skematik Rangkaian Filter LC.....	22
3.5 Diagram Alir Pengujian Perangkat Keras.....	23
4.1 Simulasi <i>inverter pushpull</i> pada Matlab	27
4.2 Modulasi gelombang sinusoidal dan gelombang segitiga.....	28

4.3 Hasil modulasi gelombang sinusoidal dan gelombang segitiga	29
4.4 Gelombang keluaran <i>inverter</i> sebelum masuk filter	29
4.5 Gelombang sinusoidal.....	30
4.6 Rangkaian Penguat Gelombang (<i>Gate driver</i>).....	31
4.7 <i>Hardware</i> pembangkit gelombang <i>sinusoidal</i>	32
4.8 Gelombang Pembangkit Gelombang <i>sinusoidal</i>	33
4.9 Pin pembangkit gelombang segitiga.....	34
4.10 <i>Hardware</i> pembangkit gelombang segitiga.....	35
4.11 Gelombang pembangkit gelombang segitiga	35
4.12 Gelombang <i>sinusoidal</i> sebelum masuk ke <i>subtractor</i>	36
4.13 Gelombang <i>sinusoidal</i> setelah masuk rangkaian <i>subtractor</i>	37
4.14 Gelombang <i>sinusoidal</i> dan gelombang segitiga	38
4.15 Rangkaian Komparator.....	39
4.16 <i>Hardware</i> Rangkaian Komparator	39
4.17 Gelombang <i>SPWM</i>	40
4.18 Rangkaian <i>Inverting</i>	41
4.19 <i>Hardware</i> Rangkaian <i>Inverting</i>	41
4.20 Gelombang <i>SPWM</i> berbeda periode 180°	42
4.21 Rangkaian skematik dan <i>Hardware Gate Driver</i>	43
4.22 Gelombang <i>gate driver</i>	43
4.23 Rangkaian skematik <i>inverter pushpull</i>	44
4.24 <i>Hardware</i> rangkaian <i>inverter pushpull</i>	44
4.25 Gelombang tegangan beban Resistor 1.2 k Ω	45

4.26 Gelombang tegangan beban Resistor 1.6 k Ω	45
4.27 Gelombang tegangan beban Resistor 5 k Ω	46
4.28 Gelombang tegangan beban Resistor 10 k Ω	46
4.29 Hubungan Tegangan terhadap resistor	47
4.30 Hubungan Tegangan terhadap Arus	48
4.31 Gelombang tegangan pada alat beban resistor 1.2 k Ω	49
4.32 Gelombang tegangan pada simulasi beban resistor 1.2 k Ω	49
4.33 Gelombang tegangan pada alat beban resistor 1.6 k Ω	49
4.34 Gelombang tegangan pada simulasi beban resistor 1.6 k Ω	50
4.35 Gelombang tegangan pada alat beban resistor 5 k Ω	50
4.36 Gelombang tegangan pada simulasi beban resistor 5 k Ω	50
4.37 Gelombang tegangan pada alat beban resistor 10 k Ω	51
4.38 Gelombang tegangan pada simulasi beban resistor 10 k Ω	51
4.39 Gelombang tegangan <i>inverter</i> beban resistor 1.2 k Ω	53
4.40 Gelombang tegangan <i>inverter</i> beban resistor 1.6 k Ω	53
4.41 Gelombang tegangan <i>inverter</i> beban resistor 5 k Ω	54
4.42 Gelombang tegangan <i>inverter</i> beban resistor 10 k Ω	54
4.43 Gelombang keluaran <i>inverter</i> beban R tanpa filter.....	55
4.44 Gelombang keluaran <i>inverter</i> beban R terpasang filter.....	56
4.45 Gelombang tegangan <i>inverter</i> beban lampu LED 12 watt	57
4.46 Gelombang tegangan <i>inverter</i> beban lampu LED 24 watt	57
4.47 Gelombang tegangan <i>inverter</i> beban lampu LED 36 watt	57
4.48 Gelombang tegangan <i>inverter</i> beban lampu LED 48 watt	58

4.49 Gelombang tegangan <i>inverter</i> beban lampu LED 60 watt	58
4.50 Gelombang tegangan <i>inverter</i> beban lampu LED 72 watt	58
4.51 Gelombang tegangan <i>inverter</i> beban lampu LED 84 watt	59
4.52 Gelombang tegangan <i>inverter</i> beban lampu LED 96 watt	59
4.53 Grafik efisiensi daya keluaran	62

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
3.1 Parameter Nilai Tiap Komponen pada Model Rangkaian <i>Inverter Pushpull</i>	18
4.1 Spesifikasi <i>Inverter</i> pada <i>Simulink</i> MATLAB.....	28
4.2 Hasil Pembangkit gelombang <i>Sinusoidal</i>	32
4.3 Hasil Pembangkit Gelombang Segitiga	34
4.4 Data gelombang gelombang sinusoidal dan segitiga	36
4.5 Hasil Pengujian ketika Beban Resistor	47
4.6 Perbedaan hasil alat dan simulasi beban resistor	52
4.7 Data pengujian beban resistor	55
4.8 Data nilai tegangan dan arus	60
4.9 Nilai Daya pada beban lampu LED	61

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Inverter merupakan konverter yang berfungsi mengubah arus searah (*Direct Current*) ke arus bolak-balik (*Alternative current*). *Power inverter* terbagi dua tipe *voltage-source inverter* (VSI) bersumber tegangan dc yang paralel dengan kapasitor dan *current-source inverter* (CSI) bersumber tegangan dc yang seri dengan induktor. Pensaklaran pada *Inverter* menggunakan gelombang *PWM* (*Pulse Width Modulation*). *PWM* merupakan teknik modulasi yang kuat dengan metode sederhana untuk mengendalikan *output* sistem analog. Salah satu teknik modulasi yang banyak digunakan saat ini adalah *Sinusoidal Pulse Width Modulation* (*SPWM*), dengan menggunakan modulasi lebar pulsa *SPWM* dapat menghasilkan tegangan keluaran *sinusoidal* untuk mengurangi harmonisa pada gelombang. [1], [2], [3].

Teknik *SPWM* memiliki dua jenis yaitu *bipolar* dan *unipolar*. *SPWM Bipolar* berupa modulasi dua gelombang, yaitu gelombang *carrier* dan gelombang fundamental, sedangkan *SPWM unipolar* menggunakan tiga buah gelombang, yaitu dua gelombang *carrier* dan gelombang fundamental. Pembangkitannya menggunakan dua buah modulator *PWM* [3]. Kekurangan dari *Unipolar SPWM*

adalah menggunakan dua gelombang *carrier* dalam modulasi, sedangkan pada *Bipolar SPWM* hanya menggunakan satu gelombang *carrier*.

Pada tahun 2017 telah dilakukan pembuatan *inverter* satu fasa dengan menggunakan Teknik *High Voltage SPWM* (*Sinusoidal Pulse Witdh Modulation*) ” dimana masukan tegangan dc pada *inverter* dinaikan hingga mencapai 300 Volt dengan topologi *fullbridge inverter*[4]. Penelitian lain menggunakan dua topologi *inverter* yaitu *pushpull* dan *fullbrigde* menggunakan teknik *Cascaded Current Fed Pushpull* dan *SPWM Inverter* dimana penelitian ini menggunakan masukan tegangan dc yang dinaikan hingga 300 Volt dengan metode *Cascaded Current Fed* [5]. Penelitian kali ini menggunakan Teknik *SPWM* dengan metode *switching bipolar*, dengan teknik *SPWM Bipolar* diharapkan keluaran gelombang *sinusoidal* murni dengan variasi beban R dan lampu LED.

1.2 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Merancang dan membangun *inverter* dengan metode *Bipolar Switching* untuk menghasilkan gelombang keluaran *inverter* yang berbentuk *sinusoidal*.
- b. Memvariasikan nilai pada beban serta mengamati perubahan gelombang keluaran *inverter* yang terjadi.
- c. Membandingkan hasil pengujian perangkat keras *inverter* dengan hasil simulasinya komputer yang dibuat menggunakan matlab simulink dengan tujuan sebagai evaluasi dalam keberhasilan pembuatan perangkat keras.

1.3 Manfaat

Manfaat yang diharapkan tercapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dihasilkan sebuah *inverter* dengan keluaran gelombang *sinusoidal*.
2. Mengetahui perubahan bentuk gelombang keluaran *inverter* terhadap perubahan nilai beban.
3. Dengan mendapatkan gelombang *sinusoidal* dapat mengurangi rugi daya pada beban.

1.4 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana merancang dan membangun perangkat keras *inverter* dengan metode *Switching bipolar*.
- b. Bagaimana pengaruh perubahan nilai beban terhadap bentuk gelombang keluaran *inverter*.
- c. Bagaimana memodelkan penggunaan *inverter* pada simulink matlab dan memvalidasi hasil simulasi dengan pengujian perangkat keras *inverter*.

1.5 Batasan Masalah

Beberapa hal yang membatasi masalah dalam pembahasan tugas akhir ini adalah:

- a. Menggunakan *Bipolar Switching* pada *inverter* untuk menghasilkan gelombang keluaran *inverter* berbentuk gelombang *sinusoidal*.
- b. Menggunakan *software* simulink matlab untuk mensimulasikan alat.

1.6 Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini adalah dengan menggunakan komparator untuk membandingkan gelombang *sinusoidal* dan gelombang segitiga pada *inverter* menggunakan metode *Bipolar Switching* supaya mendapatkan gelombang *sinusoidal* murni.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini terdiri dari beberapa bab, yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan tentang latar belakang, tujuan, manfaat, rumusan masalah, batasan masalah, hipotesis, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan mengenai landasan teori secara garis besar yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisi mengenai hasil pengujian dan pembahasan terhadap hasil penelitian yang diperoleh.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan dari hasil penelitian serta saran-saran untuk penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

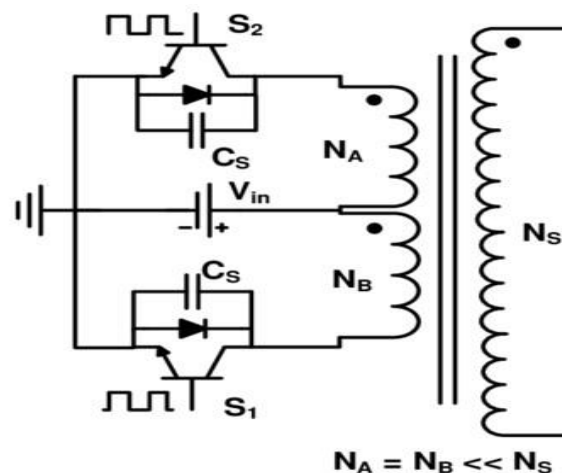
2.1 *Inverter*

Inverter adalah perangkat elektrik yang digunakan untuk mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC). *Inverter* mengkonversi DC dari perangkat seperti baterai, panel surya / *solar cell* menjadi AC. Beberapa tahun belakangan ini perkembangan di dunia elektronika mengalami kemajuan pesat, semua itu di dasari oleh kemajuan teknologi. Seiring dengan keadaan yang semakin maju terutama dalam dunia elektronika, pasti membutuhkan sumber energi untuk mengoperasikan alat-alat elektronika tersebut.

Rangkaian eletronika *Inverter* adalah alat yang dapat mengubah tegangan DC menjadi AC. Pada rangkain *Inverter* ini berfungsi untuk mengubah tegangan 12 Volt DC menjadi 220 Volt. *Inverter* memiliki berbagai jenis yaitu *inverter fullbridge*, *inverter halfbridge*, dan *push pull inverter*. Pada penelitian ini lebih fokus terhadap *Inverter pushpull*.

2.1.1 Inverter pushpull

Seperti yang telah diketahui bahwa teknik *SPWM* didapatkan dari mengkomparasikan gelombang *sinusoidal* dan gelombang segitiga. Hasil komparasi ini merupakan suatu gelombang kotak dengan lebar pulsa yang lebar sempitnya beraturan, dimana pulsa ini digunakan sebagai pengendali saklar daya *inverter* dalam hal ini mosfet, untuk menentukan frekuensi kerja mosfet dan sekaligus sebagai pembentuk siklus positif dan negatif pada rangkaian beban *inverter*. Bentuk keluaran paling ideal dari suatu inveter adalah bentuk gelombang sinusoidaloidal. Pemilihan sifat beban disini meliputi kombinasi seri beban R-L dan pemilihan nilai beban tersebut secara tepat. Perbedaan rangkaian *inverter* teknik *SPWM* metode digital ini dengan metode konvensional adalah penggunaan EPROM sebagai pembangkit sinyal *SPWM* menggantikan peranan *Op-Am*. EPROM digunakan sebagai pembangkit gelombang *SPWM* dan juga mampu membangkitkan frekuensi penyaklaran yang tinggi.

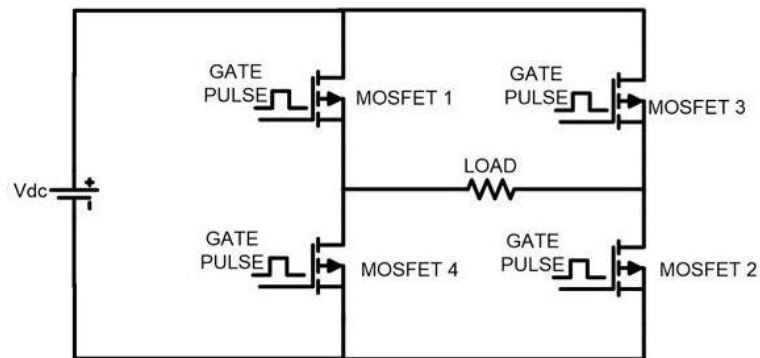


Gambar 2.1 *Inverter pushpull*

Gambar 2.1 menunjukkan rangkaian daya *Inverter pushpull* terdiri dari 2 buah saklar semikonduktor dalam hal ini adalah MOSFET. Saklar 1 ON-OFF secara bergantian dengan saklar 2. *Inverter pushpull* atau bisa juga disebut *inverter centre tapper load* memiliki tegangan masukan yang langsung terhubung dengan trafo arus (*current transformer*). [4].

2.1.2 *Inverter Fullbridge*

Inverter Fullbridge atau yang biasa disebut *inverter jembatan penuh* terdiri dari 4 buah MOSFET. Rangkaian *inverter fullbridge* terdapat 4 buah saklar dan dua saklar terhubung seri, yaitu : Saklar S_1 dan S_2 , S_3 dan S_4 . Ketika saklar S_1 dan S_2 ON maka Saklar S_3 dan S_4 OFF, dan sebaliknya ketika ketika saklar S_1 dan S_2 OFF maka Saklar S_3 dan S_4 ON.



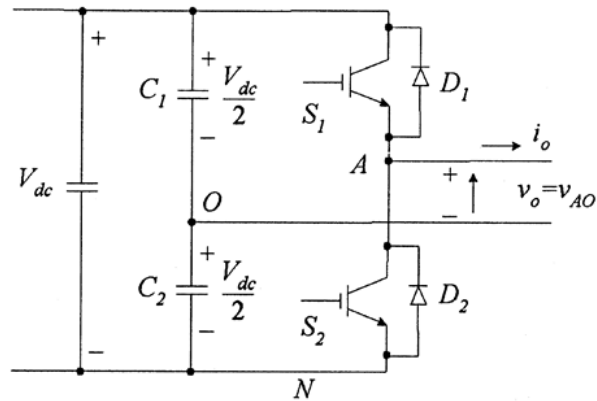
Gambar 2.2 *Inverter Fullbridge*

Gambar 2.2 menunjukkan topologi *inverter fullbridge*, ketika saklar S_1 dan S_2 ON maka pulsa yang dihasilkan bernilai positif dan saat saklar S_4 dan S_3 ON maka pulsa yang dihasilkan bernilai negatif.

2.1.3 *Inverter halfbridge*

Inverter halfbridge atau *inverter jembatan setengah* merupakan topologi yang menggunakan dua buah MOSFET dan dua buah kapasitor, prinsip kerja dari inverter

halfbridge sama dengan inverter fullbridge. Gambar 2.3 menunjukkan topologi dari inverter halfbridge, dari gambar 2.3 dapat dilihat bahwa saat saklar S1 ON dan S2 OFF maka gelombang yang dihasilkan positif dan ketika saklar S2 ON dan S1 OFF maka gelombang yang dihasilkan negatif.



Gambar 2.3 Inverter Halfbridge

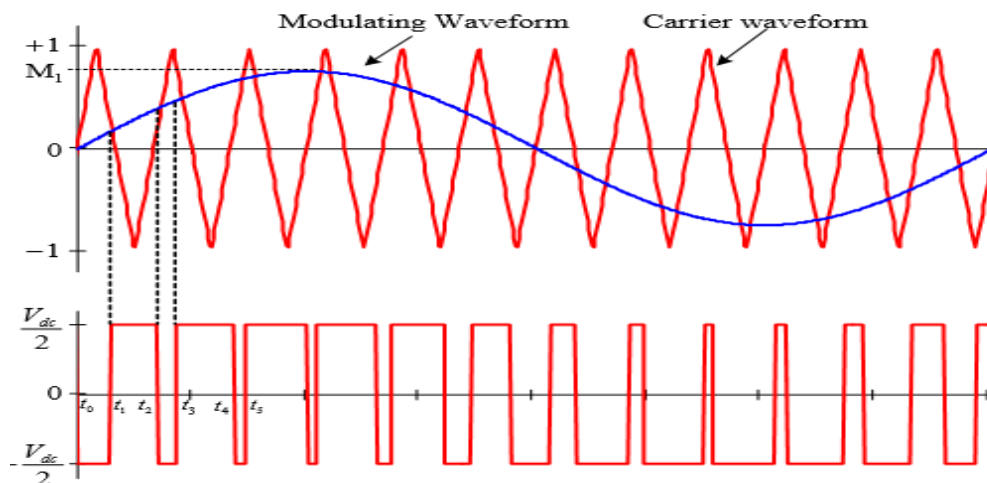
2.2. Pulse width Modulation (PWM)

PWM (*Pulse Width Modulation*) atau modulasi lebar pulsa merupakan suatu teknik yang membandingkan sinyal referensi (V_r) dengan sinyal *Carrier* (V_c). Sinyal *carrier* yang biasa digunakan berupa gelombang segitiga ataupun gelombang gigi gergaji. Prinsip dasar dari teknik PWM adalah ketika besarnya amplitudo sinyal referensi (V_r) lebih besar dari amplitudo sinyal *carrier* (V_c) maka dihasilkan sinyal *high* atau *on* dan jika besar amplitudo sinyal referensi (V_r) berada lebih kecil dari amplitudo sinyal *carrier* (V_c) maka dihasilkan sinyal *low* atau *off*. Ada beberapa Teknik dalam proses switching PWM yang dapat digunakan :

2.2.1. Teknik Swithcing *Bipolar*

Bentuk gelombang dari pada Sinusoidal *PWM Bipolar* sebenarnya hampir sama dengan bentuk gelombang dari tegangan persegi (square wave). Hanya pada Sinusoidal *PWM* bipolar terdapat perbedaan lebar pulsa pada fase positif dan fase negatifnya, dan periodik sesuai dengan frekuensi dari tegangan referensinya. Bentuk gelombang sinusoidal *PWM bipolar* ini diperoleh dengan mengkomparasi gelombang segitiga dan gelombang sinusoidalidodal murni. Lebar dari fase positif dan fase negatifnya dapat diatur dengan mengontrol besarnya indeks modulasi, dari perbandingan amplitudo dari tegangan carrier (gelombang segitiga) terhadap amplitudo tegangan referensi (gelombang sinusoidalidal murni). [5]

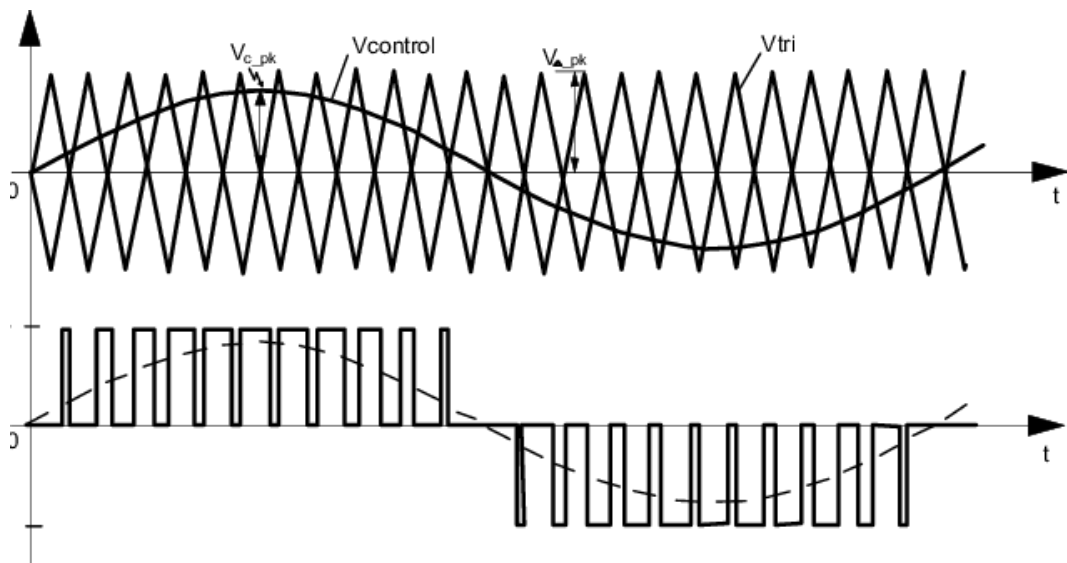
Proses terjadinya bentuk gelombang sinusoidal *PWM Bipolar* dapat dilihat pada gambar 2.4 berikut :



Gambar 2.4 Gelombang *SPWM bipolar*

2.2.2. Teknik Switching *Unipolar*

Teknik switching *unipolar* tidak berbeda jauh pada teknik switching *bipolar* perbedaan pada teknik switching unipolar adalah menggunakan 1 sinyal fundamental dan 2 sinyal carier. Berikut adalah contoh hasil gelombang dari teknik *switching unipolar*.



Gambar 2.5 Gelombang *SPWM unipolar*

Gambar 2.5 menunjukkan gelombang segitiga dan gelombang sinusoidal yang telah dibandingkan oleh rangkaian komparator. Pada saat gelombang sinusoidal terdapat pada siklus positif maka akan menghasilkan potongan gelombang kotak dengan frekuensi yang telah ditetapkan, maka pada siklus negatif tidak terjadi potongan gelombang sehingga akan bernilai 0. Sebaliknya ketika gelombang sinusoidal berada di siklus negatif maka pada siklus positif tidak terjadi potongan gelombang dan siklus positif akan bernilai nol. [4]

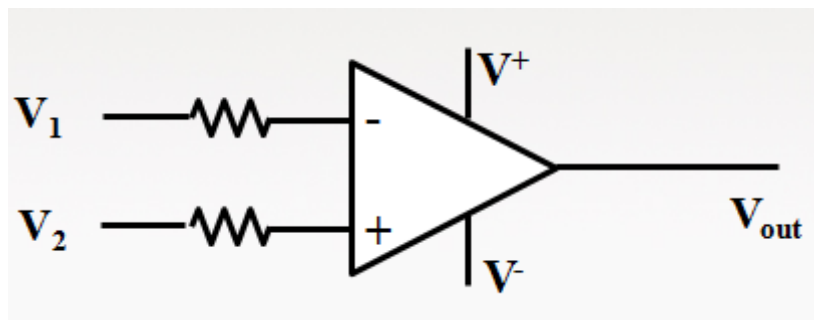
2.3 Komparator

Komparator merupakan rangkaian elektronika yang membandingkan suatu masukan dengan referensi seperti gelombang segitiga dan gelombang sinusoidaloidal dan menghasilkan suatu keluaran berupa nilai *high* dan *low*. Komparator memiliki dua masukan dan satu keluaran, masukan dari komparator berupa V_{ref} . dan V_{input} .

Kerja dari komparator hanya membandingkan V_{ref} . dan V_{in} . Komparator biasanya menggunakan op-amp sebagai inti dalam rangkaian, V_{ref} dihubungkan ke V_{supply} , kemudian R1 dan R2 digunakan sebagai pembagi tegangan, sehingga nilai tegangan yang direferensikan pada masukan + op-amp adalah sebesar :

$$V = V_1 / (V_1 + V_2) \quad (2.1)$$

V_{supply} Op-amp tersebut akan membandingkan nilai tegangan pada kedua masukannya, apabila masukan (-) lebih besar dari masukan (+) , maka keluaran op-amp menjadi $-V_{supply}$, apabila tegangan masukan (-) lebih kecil dari masukan (+) maka keluaran op-amp menjadi $+V_{supply}$. Gambar 2.6 menunjukkan konfigurasi dari rangkaian komparator

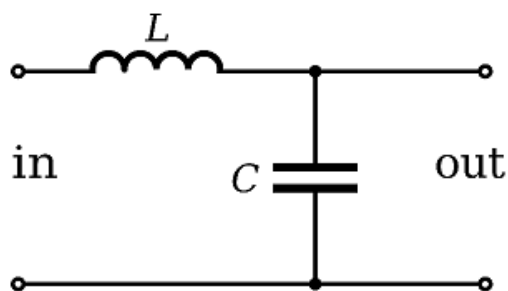


Gambar 2.6 Komparator

2.4 Filter

Filter pasif merupakan rangkaian paralel atau seri antara komponen kapasitor (C) dan komponen Induktor (L). Rangkaian filter dapat di atur pada suatu frekuensi tertentu dimana impedansi induktor bernilai sama dengan impedansi kapasitor. Keefektifan kerja filter ditentukan oleh perubahan impedansi jaringan, dan sebelum pemasangan diperlukan perhitungan nilai komponen filter.

Filter ini banyak digunakan pada amplifier, osilator, dan *power supply*. Pada filter pasif ini menggunakan kombinasi L dan C dengan bereaksi terhadap perubahan frekuensi secara berlawanan. [6] Gambar 2.7 menunjukkan konfigurasi dari rangkaian filter LC dengan nilai Induktor 47mH dan nilai kapasitor 6 μ F.



Gambar 2.7 Filter LC

2.5 Osilator

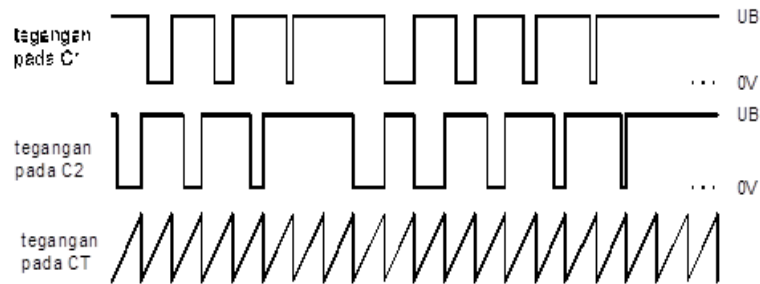
2.5.1 Osilator *Sinusoidal*

Osilator sinusoidal merupakan gelombang *carier* yang akan dikomparasikan dengan gelombang segitiga, frekuensi gelombang

sinusoidal menggunakan frekuensi 50 Hz, sehingga keluaran dari inverter pushpull setelah dipasang filter memiliki frekuensi 50 Hz.

2.5.2 Osilator Segitiga

Osilator segitiga merupakan salah satu rangkaian yang menghasilkan gelombang segitiga sebagai gelombang fundamental. Gelombang segitiga memiliki frekuensi switching yang tinggi untuk dibandingkan dengan gelombang *carier*. *PWM* dihasilkan dengan membandingkan dua buah gelombang yaitu gelombang segitiga dan gelombang *DC* (*Direct Current*), gelombang *DC* yang mengatur besar dan kecil nya duty cycle pada *PWM*, pada penelitian ini hanya gelombang segitiga yang digunakan untuk menghasilkan *PWM* dan dibandingkan dengan gelombang sinusoidal yang akan menghasilkan gelombang *SPWM* (*Sinusoidaloidal Pulse Witdh Modulation*).



Gambar 2.8 Gelombang segitiga

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dan penulisan laporan tugas akhir mulai dilaksanakan pada bulan September 2018 serta direncanakan selesai pada bulan Oktober 2019 dan dilakukan di Laboratorium Terpadu Teknik Elektro Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian diantaranya:

- a. Instrumen dan komponen yang terdiri dari:
 1. LCR meter
 2. Multitester
 3. Osiloskop
 4. Resistor
 5. Kapasitor
 6. Induktor
 7. Transformator
 8. MOSFET
 9. *Gate Driver*
 10. *Voltage Regulator*
 11. Osilator segitiga

12. Osilator sinusoidal

b. Perangkat kerja yang terdiri dari:

1. Komputer/Laptop
2. Perangkat Lunak MATLAB
3. Perangkat Lunak Diptrace
4. Mesin Bor
5. Mesin Grinda
6. *Power supply*
7. Kabel penghubung
8. Solder
9. Tang Potong
10. Tang Pengupas Kabel

c. Bahan-bahan, yang terdiri dari:

1. PCB
2. Pelarut PCB (Feriklorit)
3. *Heatsink*
4. Timah solder
5. Papan Kayu
6. Papan Akrilik

3.3 Metode Penelitian

Rancang Bangun *Inverter* SPWM Satu Fasa Menggunakan Teknik *Switching Bipolar* ini dibagi menjadi dua bagian, yaitu pemodelan simulasi serta realisasi ke

perangkat keras (*hardware*). Pada tiap-tiap bagian ini terdiri dari beberapa tahapan pelaksanaan yaitu:

3.3.1 Studi Literatur

Pada alur studi literatur dilakukan pencarian seputar dasar teori dan bahan materi dari berbagai sumber baik buku, jurnal ataupun materi dari internet yang berkaitan dengan penelitian ini. Beberapa dasar teori tersebut diantaranya adalah:

1. *Inverter Pushpull* satu fasa
2. Teknik *Switching Bipolar*
3. Pemodelan sistem pada simulink Matlab
4. Penggabungan Signal Sinus dan Signal Segitiga

3.3.2 Perancangan Model Simulasi

Pada simulasi penelitian ini terdapat dua subsistem utama yang saling terkait yaitu rangkaian *inverter Pushpull* dan Teknik *Switching Bipolar* .

a. Perancangan Rangkaian *Inverter Pushpull*

Rangkaian *inverter Pushpull* terdiri dari sumber tegangan masukan berupa tegangan dc, 4 buah mosfet sebagai *switching*, sinyal PWM yang berasal dari Teknik *Switching Bipolar* untuk memicu *gate* mosfet, rangkaian filter berupa rangkaian filter LC dengan beban berupa resistor.

Tabel 3.1 Parameter Nilai Tiap Komponen pada Model Rangkaian *Inverter Pushpull*

Parameters	Nilai	Satuan
------------	-------	--------

Vdc	12	V
Frekuensi <i>Switching</i> PWM	3.3	kHz
Induktor (L)	5.1	mH
Kapasitor (C)	110	μF
Resistor (R)	1	KΩ

Pemilihan besar induktor dan kapasitor sebagai filter *inverter* sesuai dengan teori kendali yang umum digunakan yaitu antara frekuensi fundamental, frekuensi resonansi dan frekuensi *switching* harus memiliki faktor pengali 10 dari ketiga nilai tersebut dan nilai frekuensi resonansi harus lebih besar dari frekuensi fundamental dan harus lebih kecil dari frekuensi *switching* sehingga dengan mempertimbangkan besarnya frekuensi *switching* PWM sebesar 3.3 kHz dan frekuensi fundamental *inverter* yang diinginkan sebesar 50 Hz maka sesuai besarnya frekuensi resonansi adalah 350 Hz. Frekuensi resonansi dapat dihitung menggunakan persamaan 3.1.

$$\omega_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L.C}} \quad (3.1)$$

Keterangan:

ω_r = Frekuensi Resonansi (Hz)

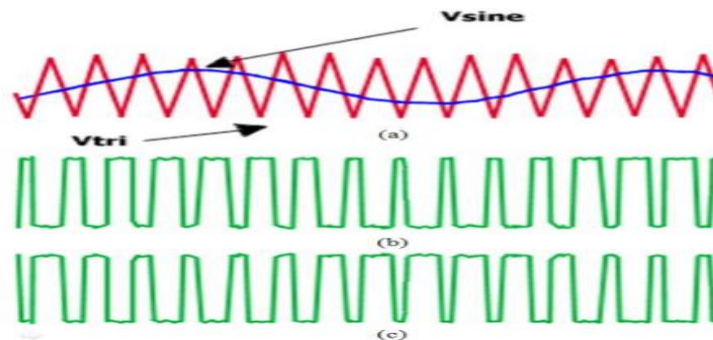
L = Induktor (H)

C = Kapasitor (F)

b. Teknik *Switching Bipolar*

Dalam teknik *PWM* terdapat dua teknik yang dapat dipakai yaitu teknik *PWM Bipolar* dan teknik *PWM Unipolar*. Dalam penelitian ini akan menggunakan teknik *PWM Bipolar*, kedua Teknik *PWM* tersebut tidak berbeda jauh yang membedakan hanya pada modulasi kedua gelombang.

Teknik *switching bipolar* ini membandingkan gelombang *sinusoidal* dan gelombang segitiga yang keluarannya adalah gelombang sinusoidal murni. Keluaran dari *inverter* berupa pulsa dengan frekuensi tinggi sehingga menggunakan filter untuk mereduksi frekuensi yang tinggi, filter yang dipakai merupakan *low pass filter*. Berikut adalah hasil dari modulasi gelombang sinusoidal dan gelombang segitiga :



Gambar 3.1 Perbandingan gelombang *sinusoidal* dan gelombang segitiga

3.3.3 Pengujian Model Simulasi

Pengujian model simulasi dilakukan untuk mengetahui keseluruhan subsistem yang telah terhubung bekerja dengan baik atau tidak, sehingga permasalahan pada alat yang akan dibuat dapat diketahui. Pengujian model simulasi terbagi menjadi dua yaitu pengujian rangkaian *inverter Pushpull* dan pengujian pembangkit gelombang *SPWM*.

Pada pengujian rangkaian *inverter Pushpull* tegangan masukan, arus dan tegangan keluaran bekerja dalam keadaan *open loop*. Setelah gelombang keluaran *inverter* telah sesuai dengan teori maka dilakukan pengujian dengan penambahan filter LC pada keluaran *inverter*. Pengujian dilakukan dengan penggabungan rangkaian *inverter Pushpull* dan teknik *switching bipolar* dengan cara memodulasi gelombang sinusoidal dan gelombang segitiga menggunakan komparator

3.3.4 Pengambilan Data Simulasi

Setelah pengujian model simulasi berhasil, maka selanjutnya dilakukan pengambilan data simulasi. Pengambilan data simulasi dilakukan dengan menggunakan beban yang bervariasi sehingga perubahan pada gelombang diketahui.

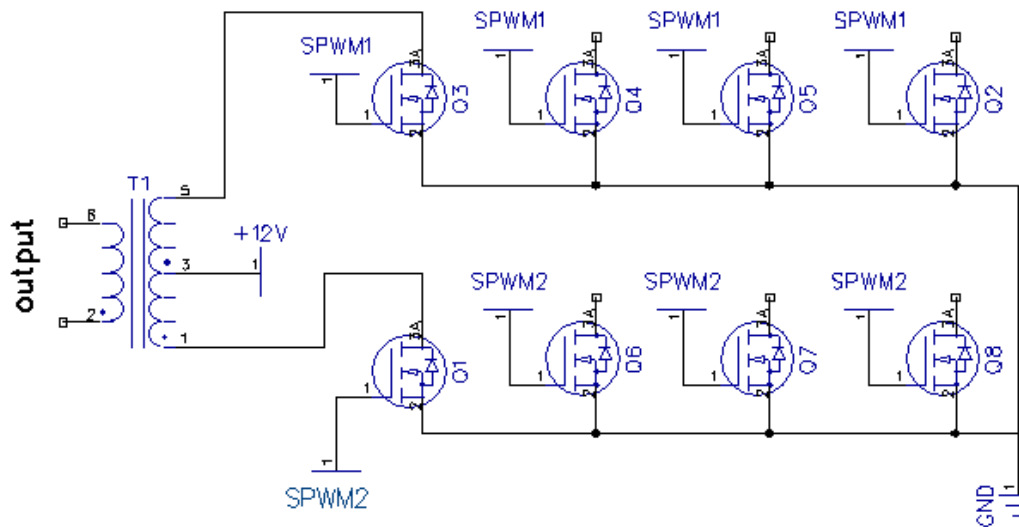
3.3.5 Perancangan Perangkat Keras

Setelah pada tahap pemodelan simulasi telah berhasil dilakukan maka tahapan berikutnya adalah mewujudkannya ke dalam perangkat keras. Dalam pembuatan perangkat keras yang pertama perlu dilakukan adalah melakukan perancangan. Pada penelitian ini subsistem perangkat keras yang utama adalah rangkaian daya *inverterPushpull*, rangkaian *gate driver*, filter LC serta Osilator sinusoidal dan osilator segitiga.

a. Perancangan Rangkaian Daya *Inverter Pushpull*

Rangkaian daya *inverter* ini dibuat dengan menggunakan mosfet IRFP250 jenis N-Mosfet, yang memiliki spesifikasi tegangan yang mengalir antara *drain* dan *source* sebesar 200 V dengan rating arus

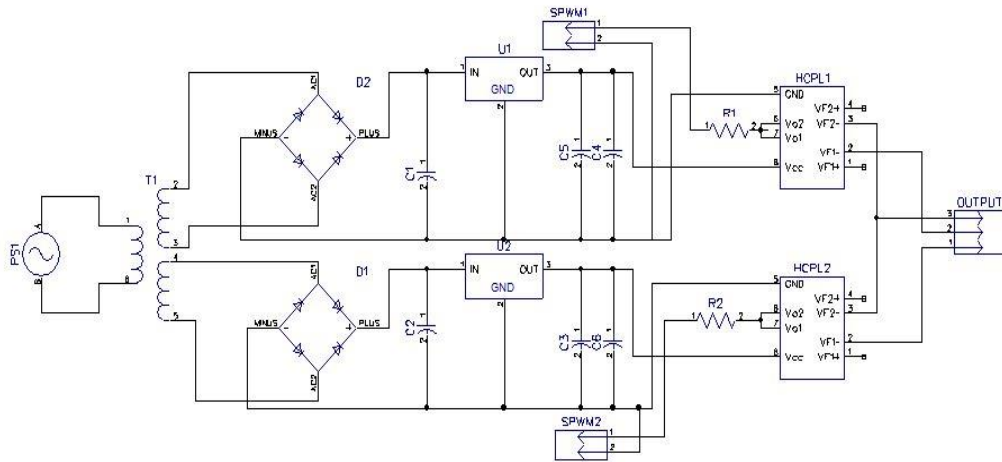
sebesar 50 A. Skematik rangkaian daya *inverter* dapat dilihat pada gambar 3.3



Gambar 3.2 Skematik Rangkaian Daya *Inverter Pushpull*

b. Perancangan Rangkaian *Gate Driver*

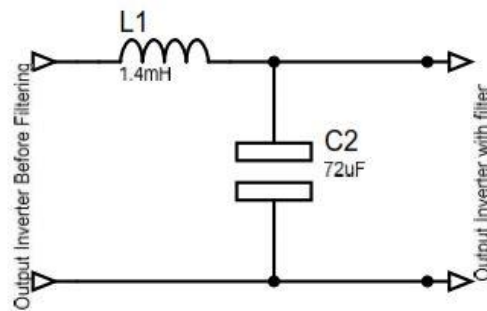
Mosfet bekerja saat gate diberikan tegangan berkisar 12-15 Volt. Kondisi saturasi mosfet ini dapat dibentuk dengan memberikan tegangan *gate-source* berkisar antara 12 - 15 Volt. Oleh karena itu diperlukan rangkaian penguat / pemicu *gate* pada mosfet yang disebut sebagai rangkaian *gate driver*. Pada penelitian ini rangkaian *gate driver* dibuat dengan menggunakan IC HCPL 3120, yang berfungsi menguatkan tegangan PWM kontrol menjadi 15 Volt sesuai dengan V_{cc} gate driver yang berasal dari rangkaian regulator tegangan menggunakan IC regulator LM 7815. Pada rangkaian *gate driver* memiliki *ground* yang berbeda sehingga menggunakan 2 buah trafo ct 1 ampere supaya didapatkan 4 input pada trafo dengan *ground* yang terpisah seperti pada gambar 3.4.



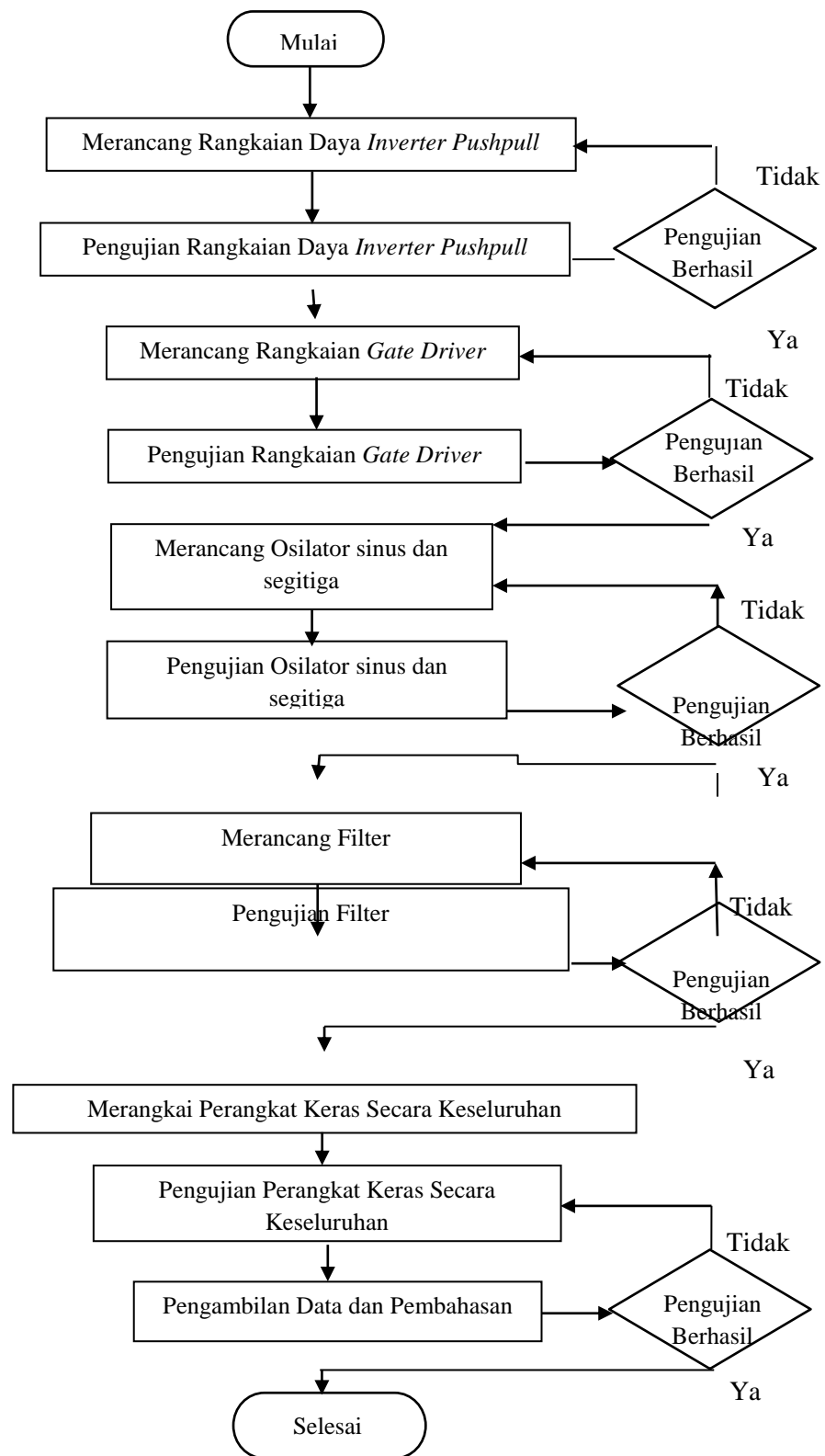
Gambar 3.3 Skematik Rangkaian *Gate Driver*

c. Perancangan Filter

Filter yang digunakan pada rangkaian *inverter* daya merupakan low pass filter yang terdiri dari kapasitor sebesar 6 μF . Kapasitor disusun paralel dengan output rangkaian daya *inverter*. Skematik rangkaian filter terdapat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Skematik Rangkaian Filter LC



Gambar 3.5 Diagram Alir Pengujian Perangkat Keras

Gambar 3.5 menunjukkan diagram alir pengujian perangkat keras pada *inverter pushpull* dengan metode *SPWM*. Pertama, dibuat rangkaian daya *inverter* dan *inverter pushpull*. Rangkaian daya *inverter* yaitu *gate driver* selanjutnya diuji rangkaian daya *inverter*, setelah berhasil melanjutkan merancang *osilator sinusoidal* dan osilator segitiga berfungsi sebagai *SPWM* yang akan masuk kedalam *gate* pada MOSFET. Sebelum masuk kedalam *gate*, osilator sinusoidal dan segitiga harus dikomparasi sehingga menghasilkan gelombang kotak berbeda lebar pulsa yang biasa disebut *SPWM*. Setelah selesai membuat osilator selanjutnya merancang filter dan mengujinya, pada penelitian ini filter yang digunakan adalah filter LC kemudian setelah itu merangkai semua perangkat keras dan melakukan pengujian terakhir menggunakan beban.

3.3.6 Pengujian Alat

Setelah perangkat keras *inverter Pushpull* dan osilator sinusoidal dan osilator segitiga telah selesai dikerjakan maka tahapan berikutnya adalah melakukan pengujian pada keseluruhan. Hal ini perlu dilakukan untuk memastikan alat dapat bekerja dengan baik. Sebelum melakukan pengujian alat secara keseluruhan, yang pertama dilakukan adalah pengujian pada tiap-tiap bagian penyusun seperti rangkaian *gate driver*, rangkaian *inverter Pushpull*, osilator. Setelah semua bekerja dengan baik maka masing-masing bagian tersebut dihubungkan untuk menjadi sebuah sistem yang utuh kemudian hasil pengujian alat dibandingkan dengan hasil simulasi untuk

melihat hasil pengujian telah sesuai atau tidak dengan hasil simulasi, jika tidak sesuai maka akan kembali ke tahapan perancangan perangkat keras kembali.

3.3.7 Pengambilan Data

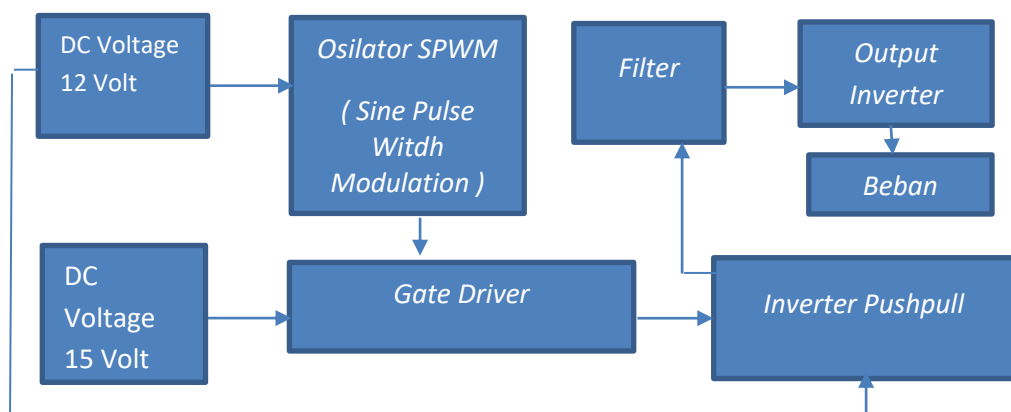
Setelah hasil pengujian alat telah sesuai dengan hasil simulasi maka tahap selanjutnya dilakukan pengambilan data. Metode pengambilan data pada perangkat keras sama dengan metode pengambilan data pada pemodelan simulasi yaitu dengan memvariasikan nilai beban.

3.3.8 Analisa dan Pembahasan

Pada tahapan terakhir penelitian yaitu analisa dan pembahasan pengaruh perubahan beban terhadap keluaran gelombang *inverterPushpull*. Selain itu hasil simulasi dan hasil pengambilan data pada perangkat keras dibandingkan untuk evaluasi keberhasilan pembuatan perangkat keras.

3.4 Diagram Alir Tugas Akhir

Metode penelitian Rancang Bangun *Inverter Pushpull* Satu Fasa Menggunakan Teknik *switching bipolar* ini digambarkan pada gambar 3.7 :



Gambar 3.6 Diagram blok *Inverter*

Diagram blok diatas merupakan alur dari keseluruhan alat, tegangan 12 volt digunakan untuk osilator *SPWM* dan rangkaian daya *inverter*, dan tegangan 15 volt akan menyuplai rangkaian daya *gate driver* yang akan terhubung dengan *inverter*. Rangkain *SPWM* yang sudah terhubung gate pada mosfet maka dihubungkan dengan rangkaian filter, sehingga *inverter* dapat terhubung dengan beban.

BAB V

SIMPULAN

5.1 Simpulan

Dari serangkaian pengujian dan analisa yang telah dilakukan pada tugas akhir ini dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Pada penelitian ini telah dirancang dan dihasilkan *inverter* satu phasa dengan keluaran berbentuk *sinusoidal* menggunakan teknik *SPWM Bipolar*..
2. Pada pengujian beban resistor beban arus 0.01 ampere didapatkan tegangan sebesar 220 volt dengan daya terhitung 2.2 watt, beban arus 0.1 ampere didapatkan tegangan 200 volt dengan daya terhitung 20 watt dan beban arus 0.14 ampere didapatkan tegangan 182 volt dengan daya terhitung 25,48 watt. Beban berpengaruh terhadap nilai tegangan dan arus dikarenakan pada saat penambahan beban terjadi penurunan tegangan *input inverter* yang berpengaruh terhadap nilai tegangan *output*.
3. Pada pengujian beban lampu LED 12 watt didapatkan tegangan 117 volt dan arus 0.05 ampere, beban lampu LED 48 watt didapatkan tegangan 107 volt dan arus 0.11 ampere, dan beban lampu LED 96 watt didapatkan tegangan 95 volt dan arus 0.25 ampere. Beban lampu LED berpengaruh terhadap nilai

tegangan dan nilai arus dimana semakin beban besar terpasang tegangan output semakin menurun dan arus semakin naik.

4. Pada pengujian alat beban arus 0.14 ampere didapatkan nilai tegangan 182 volt dengan nilai daya terhitung 25,48 watt dan pada simulasi beban arus 0.17 ampere didapatkan tegangan 220 volt dengan nilai daya terhitung 37.4 watt. Terjadi perbedaan nilai daya pada simulasi dan alat dikarenakan pada simulasi semua bernilai ideal tanpa adanya losses tegangan akibat beban yang terpasang.

5.2 Saran

Sebagai masukan dan memudahkan dalam penelitian yang akan dilakukan selanjutnya, berikut saran-saran yang dapat dilakukan :

1. Pemakaian teknik *PWM* dapat dikembangkan dalam bentuk digital seperti DSP, Arduino, dll dan dalam pemilihan komponen utama *inverter* sehingga hasil yang didapatkan semakin maksimal.
2. Pembesaran nilai frekuensi *switching* pada teknik *SPWM* membuat keluaran dari *inverter* semakin maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

1. Poh Chiang Loh, D. Mahinda Vilathgamuwa, Yue Sen Lie, Geok Tin Chua, dan Yunwei Li. *Pulse-Witdh Modulation of Z-Source Inverters*. IEEE TRANSACTION ON POWER ELECTRONICS, VOL. 20. November 2005.
2. M. F. N. Tajuddin, N. H. Ghazali, I. Daut dan B. Ismail. *Implementation of DSP Based SPWM for Single Phase Inverter*. Malaysia. SPEEDAM 2010.
3. Mochamad Ashari Prof., Ir., M.Eng., Ph.D., IPU. *Desain converter elektronik daya*. Informatika. 2017.
4. Subastian Yusuf Pangabea., F.X. Arinto Setyawan., Syaiful Alam. 2017. *Rancang Bangun Inverter Satu Fasa Menggunakan Teknik High Voltage PWM (Pulse Witdh Modulation)*. Lampung. Volume 11. No. 2 IntersilTM. 2001. *Precision Waveform Generator/ Voltage Controlled Oscillator*. Taiwan
5. Kaushik Kushalappa Naik, Dr. Venugopal N. *1 kW Home Inverter using Cascaded Current Fed Push Pull Converter and SPWM Inverter*. India. 9th ICCCNT 2018.
6. Hart, Daniel W. 2010. *Power Electronics. United States*. ISBN 978-0-07-338067-4.
7. Namboodiri, Anuja., Wani, Harsal S. 2014. *Unipolar and Bipolar PWM Inverter*. ISSN 2349-6010.
8. Wahri Sunanda., Yuli Asmi Rahman. 2012. *Aplikasi Filter Pasif Sebagai Pereduksi Harmonik Pada Inverter Tiga Fasa*. Jurnal Ilmiah Foristel Vol. 2, No. 1.
9. TL 494 Pulse- Witdh-Modulation Control. LM494. 1996. Circuits Texas Instrument
10. Salam, Zainal. 2002. *Power Elektronik Drivers. Version 2*.
11. Yustinus Andrian Sinaga., Ahmad Saudi Samosir., Abdul Haris 2017. *Rancang Bangun Inverter Satu Fasa Dengan Kontrol Pembangkit Pulse*

Witdh Modulation (PWM). Lampung. ELECTRICIAN- Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro