



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGEMBANGAN INVERTER 12 V<sub>DC</sub> ke 220 V<sub>AC</sub> 50Hz  
DENGAN PENGUAT AKHIR *H-BRIDGE* MOSFET**

**SKRIPSI**

**IRWAN SUKMA DARMAWAN**

**0706267793**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO**

**DEPOK**

**2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGEMBANGAN INVERTER 12 V<sub>DC</sub> ke 220 V<sub>AC</sub> 50Hz  
DENGAN PENGUAT AKHIR *H-BRIDGE* MOSFET**

**SKRIPSI**

**Skripsi ini diajukan untuk melengkapi sebagian persyaratan  
menjadi Sarjana Teknik**

**IRWAN SUKMA DARMAWAN**

**0706267793**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO**

**DEPOK**

**2012**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Irwan Sukma Darmawan  
NPM : 0706267793  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi :

### PENGEMBANGAN INVERTER 12 V<sub>DC</sub> ke 220 V<sub>AC</sub> 50Hz DENGAN PENGUAT AKHIR *H-BRIDGE* MOSFET

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

#### DEWAN PENGUJI

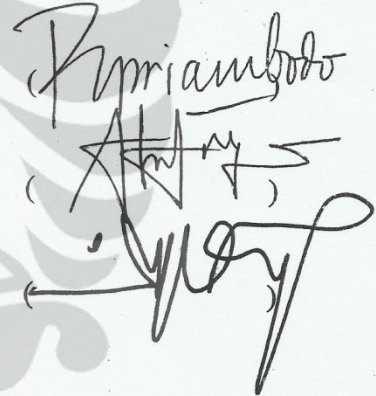
Pembimbing : Dr. Ir. Purnomo Sidi Priambodo M.Sc

Penguji I : Prof. Dr. Ir. Harry Sudibyo M.Sc.

Penguji II : Dr. Ir. Agus Santoso Tamsir M.T.

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 19 Januari 2012



## KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

**Dr. Ir. Purnomo Sidi Priambodo M.Sc**

selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi, bimbingan, sehingga Skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.

Depok, Januari 2012

Penulis

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

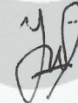
Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

**PENGEMBANGAN INVERTER 12 V<sub>DC</sub> ke 220 V<sub>AC</sub> 50Hz  
DENGAN PENGUAT AKHIR *H-BRIDGE* MOSFET**

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada program studi S1 Reguler Teknik Elektro Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, 19 Januari 2012,

Penulis



Irwan Sukma Darmawan

NPM: 0706267793

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Irwan Sukma Darmawan  
NPM : 0706267793  
Program Studi : Teknik Elektro  
Departemen : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**PENGEMBANGAN INVERTER 12 V<sub>DC</sub> ke 220 V<sub>AC</sub> 50Hz DENGAN PENGUAT AKHIR *H-BRIDGE* MOSFET**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 19 Januari 2012

Yang menyatakan



( Irwan Sukma Darmawan)

## ABSTRAK

Nama : Irwan Sukma Darmawan  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul : **PENGEMBANGAN INVERTER 12 V<sub>DC</sub> ke 220 V<sub>AC</sub>  
50Hz DENGAN PENGUAT AKHIR *H-BRIDGE*  
MOSFET**

Pembimbing : Dr. Ir. Purnomo Sidi Priambodo M.Sc.

Skripsi ini membahas rancang bangun rangkaian inverter untuk mengubah listrik dari sumber listrik arus searah (DC) menjadi listrik arus bolak-balik (AC). Metode dalam pembuatan rangkaian inverter ini adalah dengan menggunakan metode Pulse Width Modulation (PWM) dan penguat akhir *H-Bridge* MOSFET. Dengan menggunakan metode tersebut, sinyal yang dihasilkan rangkaian inverter dapat berbentuk gelombang sinusoidal. Pada penulisan ini, difokuskan pada penguat akhir *H-Bridge* MOSFET. Pengujian rangkaian inverter ini dilakukan dengan pemberian beban lampu pijar dan lampu hemat energi dengan variasi daya. Dengan pemberian beban tersebut, dapat diketahui kemampuan tegangan dan arus yang dapat disalurkan rangkaian inverter tersebut. Hasil percobaan menyatakan bahwa dengan metode PWM dan penguat *H-Bridge* MOSFET tersebut, dapat menyalakan lampu hingga 20Watt dengan daya *input* sebesar 33 Watt.

Kata Kunci: *Inverter, H-Bridge MOSFET, Pulse Width-Modulation*

## ABSTRACT

Name : Irwan Sukma Darmawan  
Study Program : Teknik Elektro  
Title : **The Development of 12 V<sub>DC</sub> to 220 V<sub>AC</sub> 50Hz Inverter with H-Bridge MOSFET Final Amplifier**  
Adviser : Dr. Ir. Purnomo Sidi Priambodo M.Sc.

This paper discusses the design and construction of an inverter circuit to electricity from direct current (DC) power source electricity into alternating current (AC) power source. Methods in the manufacture of this inverter circuit are to use the method of Pulse Width-Modulation (PWM) and the H-Bridge MOSFET final amplifier. By using these methods, the resulting signal inverter circuit can be a sinusoidal wave form. At this writing, focused on H-Bridge MOSFET final amplifier. Inverter circuit testing is done by providing the burden of incandescent lamps and energy saving lamps with power variations. By grating these expenses, we can be known voltage and current characteristic of the inverter circuit. The experimental results indicated that in the method of PWM and H-Bridge MOSFET final amplifier, it can turn the lights up to 20 Watts with input power 33 Watts.

Keyword: *Inverter, H-Bridge MOSFET, Pulse Width-Modulation*



## DAFTAR ISI

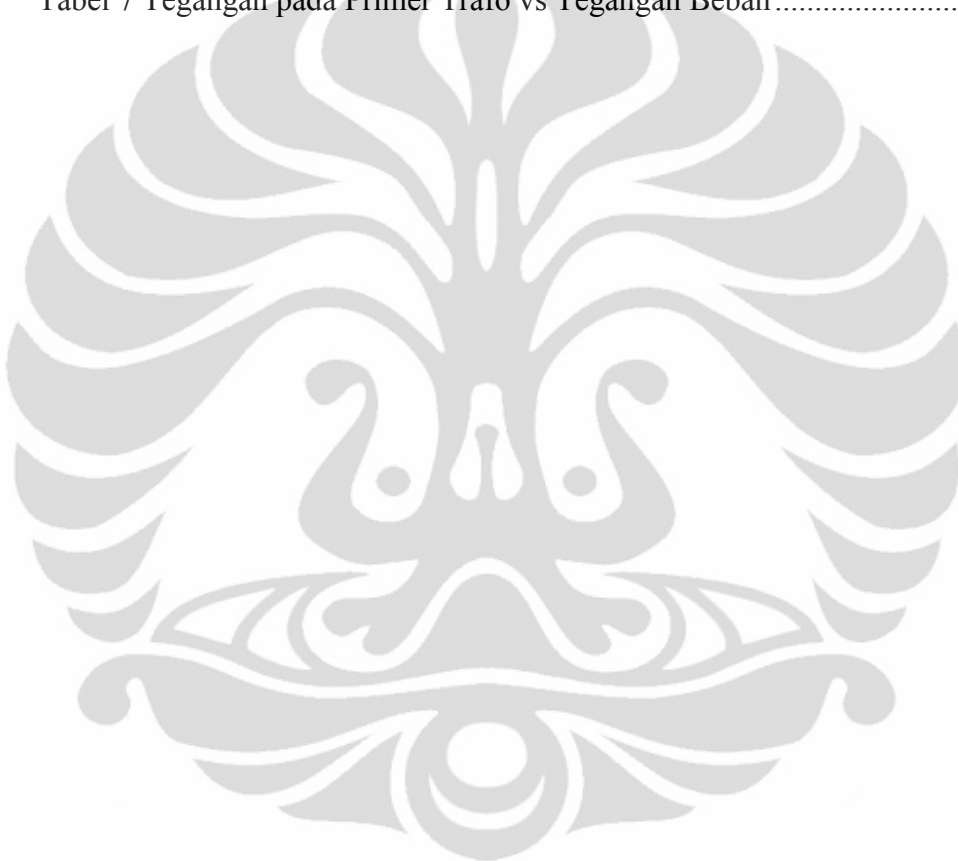
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS</b> .....	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GRAFIK</b> .....	<b>xiii</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Penulisan .....	1
1.2 Tujuan Penulisan .....	2
1.3 Pembatasan Masalah .....	2
1.4 Sistematika Penulisan.....	2
<b>BAB 2 TEORI PENUNJANG PENGEMBANGAN INVERTER DENGAN PENGUAT AKHIR <i>H-BRIDGE</i> MOSFET</b> .....	<b>4</b>
2.1 Konsep Dasar Inverter Secara Keseluruhan .....	4
2.2 <i>Pulse Width Modulation</i> (PWM) .....	6
2.3 Rangkaian Osilator Sinusoidal dengan menggunakan Penggeser Fasa dan Penyangga Tegangan .....	8
2.4 Rangkaian Penguat <i>Non-Inverting</i> .....	10
2.5 Rangkaian Sinyal Pembawa.....	10
2.6 Rangkaian <i>H-Bridge</i> MOSFET.....	11
2.6.1 <i>Switching characteristic</i> .....	12
2.6.2 Hal-Hal yang Harus Diperhatikan dalam Pemilihan MOSFET .....	13
2.7 Rangkaian MOSFET <i>Driver</i> .....	14
2.8 Filter 14	
2.9 Transformator .....	16
<b>BAB 3 SIMULASI INVERTER 12 V<sub>DC</sub> ke 220 V<sub>AC</sub> 50Hz DENGAN PENGUAT AKHIR <i>H-BRIDGE</i> MOSFET</b> .....	<b>19</b>
3.1 Rangkaian Osilator Sinusoidal Penggeser Fasa dengan Penyangga Tegangan .....	19
3.2 Rangkaian Penguat <i>Non-Inverting</i> dan Osilator Sinyal Kotak .....	21
3.3 Rangkaian Penghasil Sinyal Segitiga .....	24
3.4 Rangkaian MOSFET <i>Driver</i> .....	26
3.5 Rangkaian <i>H-Bridge</i> MOSFET.....	27
3.6 Filter 28	
3.7 Pemberian Beban .....	30
<b>BAB 4 FABRIKASI DAN ANALISIS HASIL EKSPERIMEN RANGKAIAN INVERTER 12 VDC ke 220VAC 20Watt</b> .....	<b>32</b>
4.1 Osilator sinusoidal .....	32
4.2 Filter 33	
4.3 Pembebanan .....	34
4.3.1 Bentuk Sinyal pada Beban tanpa menggunakan filter.....	34
4.3.2 Daya .....	41

<b>BAB 5 PENUTUP</b> .....	<b>45</b>
5.1 Kesimpulan.....	45
5.2 Penelitian Selanjutnya.....	45
<b>DAFTAR REFERENSI</b> .....	<b>46</b>



## DAFTAR TABEL

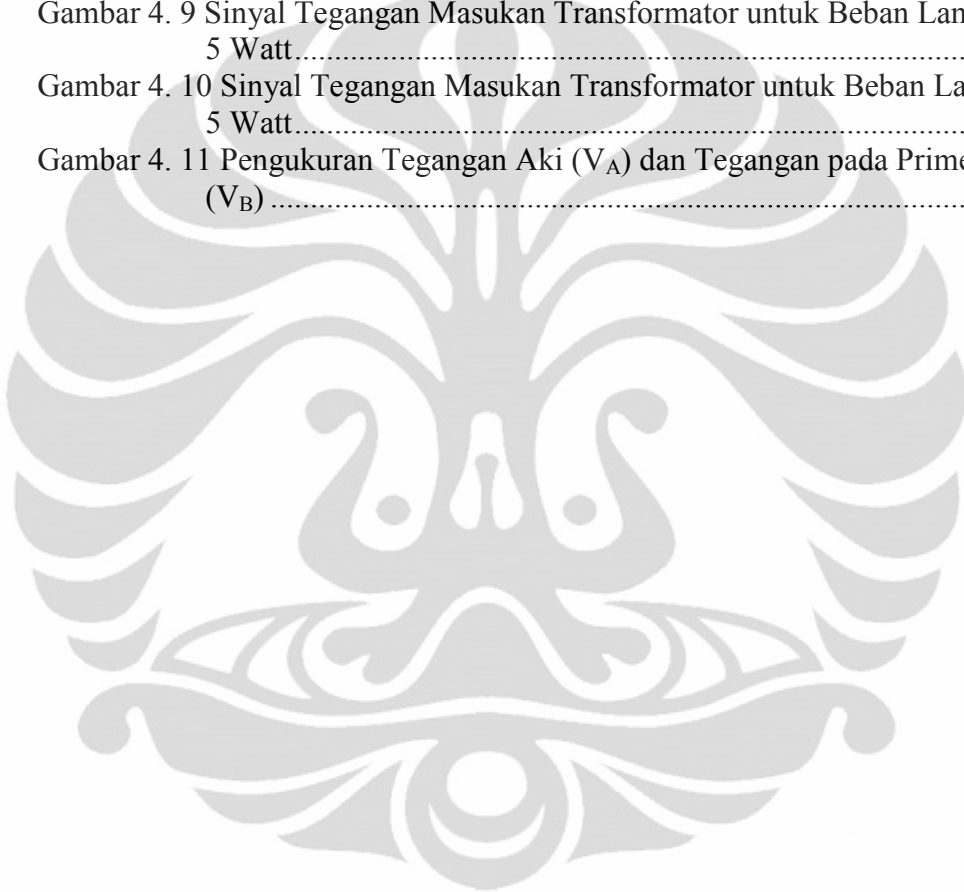
Tabel 1 Kondisi keluaran <i>H-Bridge</i> MOSFET dengan Variasi Masukan[2].....	11
Tabel 2 Rangkaian Inverter dengan Pemberian Beban.....	30
Tabel 3 Tegangan, Arus, dan Daya pada Aki dengan Variasi Beban.....	42
Tabel 4 Tegangan, Arus, dan Daya pada Primer Transformator dengan Variasi Beban .....	42
Tabel 5 Nilai $V_{DS}$ dengan Variasi Beban.....	42
Tabel 6 Tegangan, Arus, dan Daya pada Beban dengan Variasi Beban.....	43
Tabel 7 Tegangan pada Primer Trafo vs Tegangan Beban.....	44



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Blok Diagram Inverter 12 V <sub>DC</sub> menjadi 220 V <sub>AC</sub> 50 Hz dengan Penguat Akhir <i>H-Bridge</i> MOSFET[2].....	4
Gambar 2. 2 Cara Kerja PWM: membandingkan Nilai Tegangan Sinyal Sinusoidal (Sinyal Referensi) dengan Sinyal Segitiga (Sinyal Pembawa) [4].....	6
Gambar 2. 3 Sinyal PWM (warna merah: sinyal segitiga (pembawa), warna biru: sinyal sinusoidal (sinyla referensi), dan warna hijau: sinyal PWM)[4].....	6
Gambar 2. 4 Perbandingan Sinyal Referensi dengan Sinyal Pembawa (merah: Sinyal Sinusoidal (Referensi), hijau: Sinyal Segitiga yang telah ditumpangkan ke Sinyal Kotak(Sinyal Pembawa))[1]. ....	7
Gambar 2. 5 Sinyal 3-level PWM yang belum di Filter[4].....	7
Gambar 2. 6 Rangkaian Osilator Sinusoidal Penggeser Fasa dengan Penyangga Tegangan[5].....	8
Gambar 2. 7 Rangkaian Penguat <i>Non-Inverting</i> [5].....	10
Gambar 2. 8 Rangkaian Sinyal Pembawa (Sinyal Segitiga)[5].....	10
Gambar 2. 9 <i>H-Bridge</i> MOSFET [2].....	11
Gambar 2. 10 <i>N-Channel Enhancement</i> MOSFET [6].....	12
Gambar 2. 11 <i>Switching Time Waveforms</i> [7].....	12
Gambar 2. 12 Filter LC.....	15
Gambar 2. 13 Transformator.....	16
Gambar 3. 1 Rangkaian Tegangan Referensi.....	19
Gambar 3. 2 Rangkaian Simulasi Osilator Sinusoidal Penggeser Fasa dengan Penyangga Tegangan.....	20
Gambar 3. 3 Rangkaian Simulasi Osilator Sinusoidal Penggeser Fasa dengan Penyangga Tegangan (Revisi).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Gambar 3. 4 Hasil Simulasi Rangkaian osilator sinusoidal penggeser fasa dengan penyangga tegangan (Revisi).....	21
Gambar 3. 5 Rangkaian Simulasi Penguat <i>Non-Inveriting</i> .....	22
Gambar 3. 6 Rangkaian Osilator Sinyal Kotak.....	22
Gambar 3. 7 Sinyal sinusoidal sebelum penguatan vs setelah penguatan.....	23
Gambar 3. 8 Sinyal sinusoidal setelah penguatan vs sinyal Kotak.....	23
Gambar 3. 9 Rangkaian Osilator Sinyal Segitiga (Sinyal Pembawa).....	25
Gambar 3. 10 Hasil Simulasi Rangkaian Osilator Sinyal Segitiga (Sinyal Pembawa).....	25
Gambar 3. 11 Rangkaian <i>MOSFET Driver</i> .....	26
Gambar 3. 12 Hasil Simulasi Rangkaian <i>MOSFET Driver</i> .....	26
Gambar 3. 13 Rangkaian <i>H-Bridge</i> MOSFET.....	27
Gambar 3. 14 Hasil Simulai Rangkaian <i>H-Bridge</i> MOSFET.....	28
Gambar 3. 15 Filter LC.....	29
Gambar 3. 16 Sinyal Keluaran Filter.....	29
Gambar 4. 1 Sinyal Tegangan Masukan Transformator untuk Beban Lampu Pijar 5 Watt.....	35

Gambar 4. 2 Sinyal Tegangan Masukan Transformator untuk Beban Lampu Pijar 10 Watt.....	35
Gambar 4. 3 Sinyal Tegangan pada Beban Lampu Pijar 5Watt .....	36
Gambar 4. 4 Sinyal Tegangan pada Beban Lampu Pijar 10 Watt .....	37
Gambar 4. 5 Sinyal Tegangan Masukan Transformator untuk Beban Lampu Hemat Energi 8 Watt. ....	38
Gambar 4. 6 Sinyal Tegangan Masukan Transformator untuk Beban Lampu Hemat Energi 8 Watt. ....	38
Gambar 4. 7 Sinyal Tegangan pada Beban Lampu Hemat Energi 8 Watt .....	39
Gambar 4. 8 Sinyal Tegangan pada Beban Lampu Hemat Energi 20 Watt .....	39
Gambar 4. 9 Sinyal Tegangan Masukan Transformator untuk Beban Lampu Pijar 5 Watt.....	40
Gambar 4. 10 Sinyal Tegangan Masukan Transformator untuk Beban Lampu Pijar 5 Watt.....	40
Gambar 4. 11 Pengukuran Tegangan Aki ( $V_A$ ) dan Tegangan pada Primer Trafo ( $V_B$ ) .....	41



## DAFTAR GRAFIK

Grafik 3. 1 Daya yang Terukur pada Beban (Watt) vs Daya Maksimum Beban (Watt).....	31
--	----



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Penulisan

Dalam kehidupan sehari-hari, peralatan listrik yang digunakan umumnya menggunakan sumber tegangan listrik arus bolak-balik (Alternating Current/AC). Hal ini dikarenakan pembangkit listrik yang ada saat ini umumnya menghasilkan tegangan listrik AC. Namun, beberapa tahun ini, telah dikembangkan beberapa pembangkit listrik yang menghasilkan tegangan listrik arus searah (Direct Current/DC) seperti sel surya.

Sel surya merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan energi matahari berupa foton. Sel surya tersebut menghasilkan listrik berupa listrik arus searah. Pemanfaatan listrik yang dihasilkan sel surya tersebut umumnya disimpan terlebih dahulu pada suatu penyimpan muatan seperti aki. Setelah disimpan didalam aki tersebut, barulah energi listrik tersebut dimanfaatkan untuk kebutuhan sehari-hari. Namun, karena, peralatan listrik yang digunakan umumnya berbasis tegangan AC, energi listrik dari sel surya yang telah disimpan didalam aki tidak dapat digunakan secara langsung. Penggunaan energi listrik dari aki tersebut harus dikonversi terlebih dahulu dari arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC). Alat untuk mengkonversi listrik arus searah menjadi listrik arus bolak-balik tersebut dinamakan rangkaian inverter.

Pada umumnya, rangkaian inverter mengkonversi listrik arus searah menjadi arus bolak-balik yang berbentuk gelombang kotak (*square wave*), gelombang sinusoidal yang tidak sempurna, (*modified sine wave*), dan gelombang sinusoidal murni (*pure sine wave*)<sup>[1]</sup>. Rangkaian inverter yang menghasilkan gelombang kotak (*square wave*) dan gelombang sinusoidal yang tidak sempurna (*modified sine wave*) memiliki beberapa kelemahan antara lain munculnya gelombang harmonik dan efisiensi yang rendah. Gelombang harmonik ini akan menyebabkan panas pada saat inverter digunakan untuk motor listrik. Beberapa kelemahan tersebut

dapat diatasi pada rangkaian inverter yang menghasilkan gelombang sinusoidal murni (*pure sine wave*). Namun, untuk mengkonversi listrik arus searah menjadi listrik arus bolak-balik yang berbentuk gelombang sinusoidal murni, rangkaian inverter yang digunakan membutuhkan rangkaian yang cukup kompleks dan biaya pembuatan yang cukup mahal. Oleh karena itu, penulis mengajukan skripsi mengenai rangkaian inverter untuk daya besar dengan bentuk gelombang yang mendekati dengan gelombang sinusoidal murni. Rangkaian inverter yang dihasilkan diharapkan memiliki biaya pembuatan yang murah dan mengkonversikan daya listrik DC dari sumber listrik berupa aki dengan tegangan  $12 V_{DC}$  menjadi sumber listrik AC dengan tegangan  $220 V_{AC}$  50 Hz 20 Watt.

## 1.2 Tujuan Penulisan

Tujuan penulisan skripsi ini antara lain:

- a. Mensimulasikan rancang bangun rangkaian inverter daya besar inverter  $12 V_{DC}$  menjadi 20 Watt 220 VAC 50Hz.
- b. Mengimplementasikan rancang bangun rangkaian inverter daya besar inverter  $12 V_{DC}$  menjadi 20 Watt 220 VAC 50Hz.

## 1.3 Pembatasan Masalah

Pembahasan skripsi ini difokuskan pada perancangan rangkaian inverter yang menghasilkan listrik dengan gelombang yang mendekati sinusoidal murni dan daya sebesar 20 Watt dengan tegangan 220 VAC.

## 1.4 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini terbagi dalam 5 bab yaitu:

### BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab 1 Pendahuluan ini berisi mengenai latar belakang, tujuan penulisan, pembatasan masalah, dan sistematika penulisan



## BAB 2 TEORI PENUNJANG PENGEMBANGAN INVERTER DENGAN PENGUAT AKHIR *H-BRIDGE* MOSFET

Pada bab ini, pembahasan meliputi konsep dasar secara keseluruhan beserta teori-teori yang mendukung penulisan skripsi ini.

## BAB 3 SIMULASI INVERTER 12 V<sub>DC</sub> ke 220 V<sub>AC</sub> 50Hz DENGAN PENGUAT AKHIR *H-BRIDGE* MOSFET

Pada bab ini, pembahasan difokuskan pada simulasi rangkaian inverter 12V<sub>DC</sub> ke 220V<sub>AC</sub> 50Hz dengan Penguat Akhir *H-BRIDGE* MOSFET, beserta pembebanan rangkaian inverter. Nilai-nilai komponen pada simulasi didasarkan pada perhitungan matematis sesuai dengan teori-teori yang ada.

## BAB 4 FABRIKASI dan ANALISIS HASIL EKSPERIMEN INVERTER 12 V<sub>DC</sub> ke 220 V<sub>AC</sub> 50Hz DENGAN PENGUAT AKHIR *H-BRIDGE* MOSFET

Pada bab ini, pembahasan meliputi implementasi rangkaian.. berdasarkan simulasi dan pembebanan dengan menggunakan lampu pijar dan lampu hemat energi. Setelah implementasi, pembahasan mengenai permasalahan yang terjadi pada saat implementasi juga dibahas pada bab ini.

## BAB 5 PENUTUP

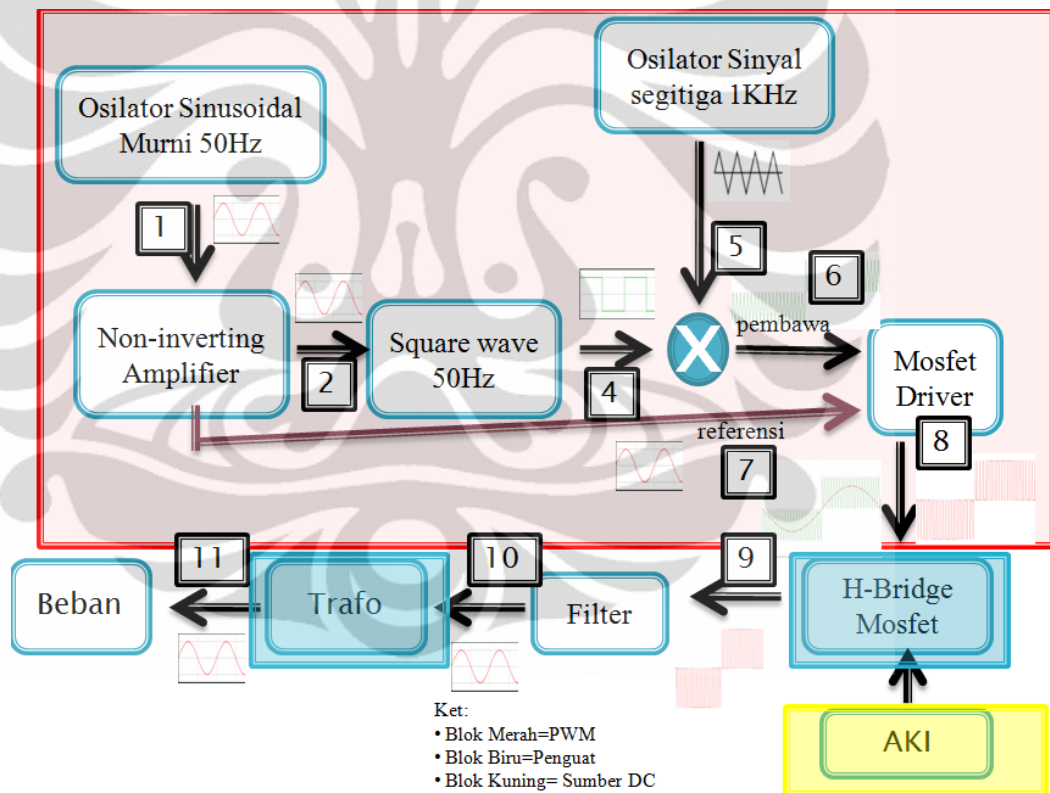
Bab ini berisi tentang kesimpulan penulisan skripsi ini dan saran untuk penelitian selanjutnya.

## BAB 2

### TEORI PENUNJANG PENGEMBANGAN INVERTER DENGAN PENGUAT AKHIR *H-BRIDGE* MOSFET

#### 2.1 Konsep Dasar Inverter Secara Keseluruhan

Rangkaian inverter merupakan rangkaian yang digunakan untuk mengubah listrik arus searah (DC) menjadi listrik arus bolak-balik (AC). Listrik arus bolak-balik yang dihasilkan diharapkan menghasilkan gelombang sinusoidal murni (*pure sine inverter*). Berikut ini blok diagram dari rangkaian inverter 12 VDC to 220 VAC 20W yang penulis gunakan pada skripsi ini.



Gambar 2. 1 Blok Diagram Inverter 12 V<sub>DC</sub> menjadi 220 V<sub>AC</sub> 50 Hz dengan Penguat Akhir *H-Bridge* MOSFET<sup>[2]</sup>

Pada umumnya, untuk dapat menghasilkan tegangan dan arus listrik AC, rangkaian inverter DC ke AC membutuhkan rangkaian pembangkit (osilator) sinyal sinusoidal dengan frekuensi 50Hz yang selanjutnya dikuatkan oleh rangkaian penguat tegangan dan arus. Rangkaian penguat tersebut digunakan untuk meningkatkan kemampuan tegangan dan arus dari sinyal sinusoidal yang dihasilkan oleh osilator. Selanjutnya, sinyal sinusoidal yang telah diperkuat tersebut digunakan untuk memicu rangkaian penguat akhir. Rangkaian penguat *akhir* tersebut digunakan sebagai penguat arus sehingga dapat dihasilkan sinyal sinusoidal yang berdaya besar.

Pada umumnya, rangkaian inverter konvensional menggunakan struktur rangkaian penguat kelas B. Penguat kelas B adalah penguat yang menggunakan dua buah transistor yang saling komplemen. Masukan dari penguat ini adalah sinyal sinusoidal. Akan tetapi, bila dilihat dari segi efisien yang dihasilkan, penguat kelas B tersebut memiliki kelemahan. Efisiensi dari struktur rangkaian penguat kelas B tersebut berkisar 50%. Dengan efisiensi tersebut, untuk kebutuhan daya besar seperti penggunaan pada beban motor, industri, dan lain sebagainya, rangkaian penguat kelas B tersebut tidak cocok. Efisiensi yang rendah tersebut akan menyebabkan daya yang terbuang akan menyebabkan panas pada beban.

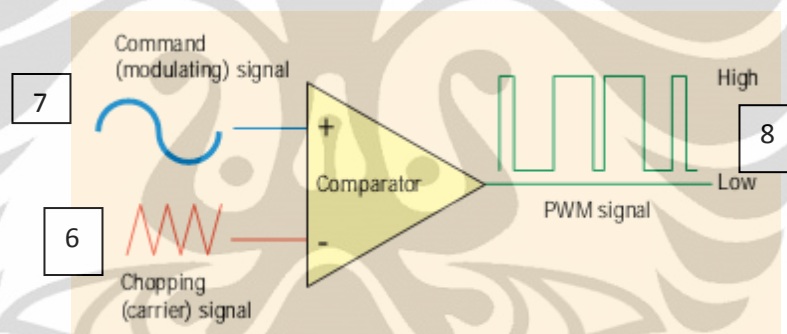
Untuk meningkatkan efisiensi, saat ini telah dikembangkan inverter dengan menggunakan teknik *Pulse Width Modulation* (PWM). Teknik PWM tersebut merupakan suatu teknik yang menggunakan sinyal PWM sebagai sinyal pemicu rangkaian penguat akhir. Penguat akhir tersebut menggunakan rangkaian *H-bridge* MOSFET yang menggunakan metode *switching* sehingga arus yang dihasilkan dapat memungkinkan untuk peningkatan efisiensi. Efisiensi dari rangkaian ini dapat mencapai 90%<sup>[3]</sup>.

Terdapat dua hal yang perlu diperhatikan dalam metode PWM ini yaitu dalam hal cara membangkitkan sinyal PWM dan penggunaan rangkaian penguat akhir tersebut ke beban. Pada tulisan ini, yang akan difokuskan adalah penggunaan penguat akhir ke beban, sedangkan untuk

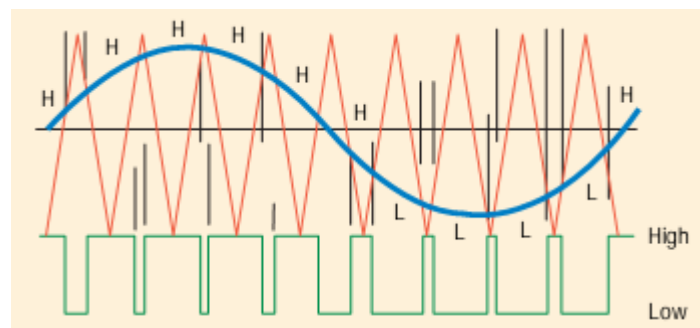
cara pembangkitan sinyal PWM akan dibahas secara singkat untuk mendukung pembahasan penggunaan penguat akhir ke beban.

## 2.2 Pulse Width Modulation (PWM)

*Pulse Width Modulation* (PWM) merupakan suatu metode yang mengubah sinyal analog menjadi sinyal *digital* dengan berbagai variasi *duty cycle*<sup>[4]</sup>. Sinyal *digital* tersebut didapatkan dari hasil perbandingan antara sinyal referensi dan sinyal pembawa. Ketika tegangan sinyal pembawa melebihi tegangan referensi, tegangan keluaran yang dihasilkan adalah tegangan minimum. Ketika tegangan sinyal sinyal pembawa lebih kecil dari tegangan referensi, tegangan keluaran yang dihasilkan adalah tegangan maksimum.

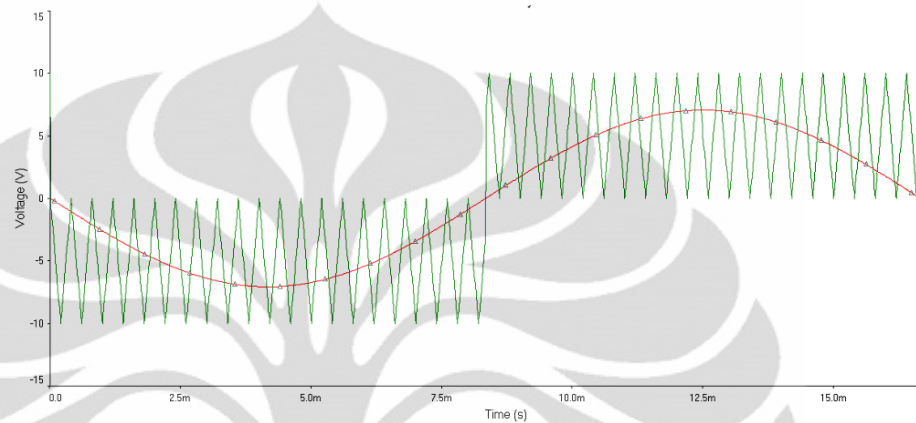


Gambar 2. 2 Cara Kerja PWM: membandingkan Nilai Tegangan Sinyal Sinusoidal (Sinyal Referensi) dengan Sinyal Segitiga (Sinyal Pembawa)<sup>[4]</sup>.

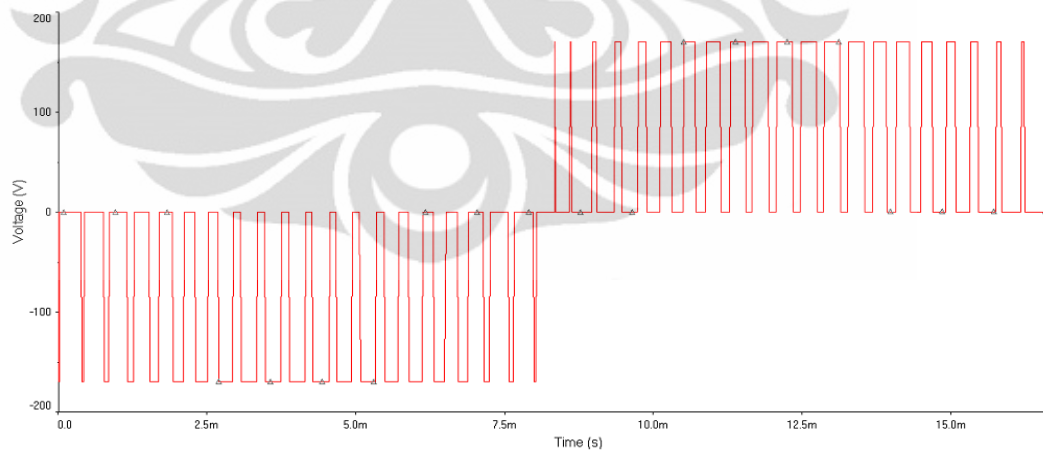


Gambar 2. 3 Sinyal PWM (warna merah: sinyal segitiga (pembawa), warna biru: sinyal sinusoidal (sinyla referensi), dan warna hijau: sinyal PWM)<sup>[4]</sup>.

Sinyal referensi yang digunakan berupa sinyal sinusoidal. Sinyal pembawa yang digunakan dapat berupa sinyal segitiga (*triangle wave*) dengan frekuensi lebih besar dibandingkan dengan sinyal referensi.



Gambar 2. 4 Perbandingan Sinyal Referensi dengan Sinyal Pembawa (merah: Sinyal Sinusoidal (Referensi) pada 3-level PWM, hijau: Sinyal Segitiga yang telah ditumpangkan ke Sinyal Kotak(Sinyal Pembawa))<sup>[1]</sup>.

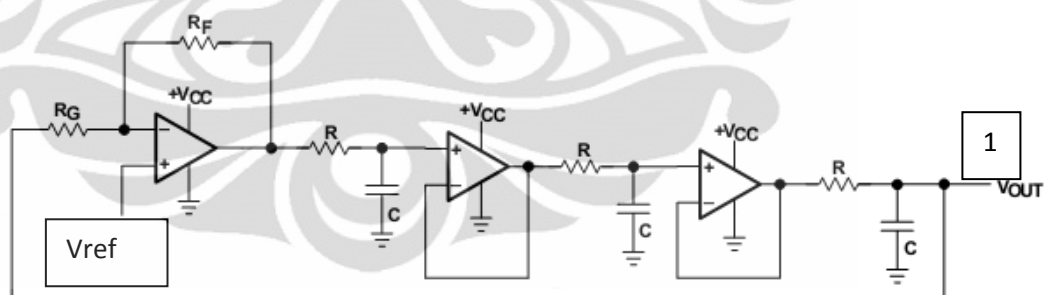


Gambar 2. 5 Sinyal 3-level PWM yang belum di Filter<sup>[4]</sup>.

Pada skripsi ini, sinyal PWM yang digunakan adalah sinyal *3 level-PWM*. Sinyal ini memiliki tiga sinyal keluaran yaitu *High*, *Low*, dan nol. Sinyal segitiga yang digunakan sebagai pembawa ditumpangkan terlebih dahulu pada sinyal kotak (*square wave*) dan selanjutnya dibandingkan dengan sinyal sinusoidal. Sinyal keluaran PWM ini akan digunakan untuk mengendalikan rangkaian penguat akhir *H-Bridge* MOSFET yang digunakan untuk menghasilkan sinyal yang selanjutnya digunakan sebagai keluaran dari rangkaian inverter.

### 2.3 Rangkaian Osilator Sinusoidal dengan menggunakan Penggeser Fasa dan Penyangga Tegangan

Pada umumnya, rangkaian osilator sinusoidal terdiri atas rangkaian penguat dengan komponen eksternal lain sehingga dapat menghasilkan gelombang sinusoidal. Komponen eksternal yang digunakan dapat berupa komponen resistor dan kapasitor (RC) maupun induktor dan kapasitor (LC). Komponen-komponen eksternal tersebut digunakan untuk



Gambar 2. 6 Rangkaian Osilator Sinusoidal Penggeser Fasa dengan Penyangga Tegangan<sup>[5]</sup>.

menentukan frekuensi dari gelombang sinusoidal yang dihasilkan rangkaian osilator tersebut. Pada skripsi ini, rangkaian tersebut digunakan sebagai sinyal referensi untuk rangkaian PWM. Berikut ini rangkaian osilator yang digunakan.

Rangkaian pada gambar diatas merupakan rangkaian osilator yang menghasilkan gelombang sinusoidal dengan menggunakan pergeseran fasa

dan penyangga tegangan. Pada setiap rangkaian filter RC terjadi pergeseran fasa sebesar  $60^0$  sehingga total pergeseran fasa menjadi  $180^0$ .

Nilai komponen RC yang digunakan dapat dicari dengan menggunakan persamaan (2.1) berikut:

$$2 * \pi * fc = \frac{1.732}{R * C} \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan:

$fc$  = frekuensi cut-off (Hz)

$R$  = nilai hambatan resistor (Ohm)

$C$  = nilai kapasitansi kapasitor (Farad)

Penyangga tegangan digunakan pada rangkaian ini bertujuan untuk menjaga kestabilan tegangan keluaran disetiap komponen *op-amp* yang digunakan pada rangkaian ini.

Untuk penguatan tegangan, berdasarkan kriteria Berkhausen yang menyatakan bahwa penguatan (loop gain) yang terjadi pada rangkaian osilator sebesar 1<sup>[5]</sup>.

$$A * \beta = |1| \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

Bila penguatan yang terjadi terlalu kecil, tidak ada keluaran yang dihasilkan rangkaian osilator. Bila penguatan terlalu besar, maka gelombang keluaran rangkaian osilator tidak berbentuk sinusoidal, cenderung berbentuk kotak.

Dari penurunan persamaan (2.2), didapatkan persamaan

$$A * \beta = A * \left(\frac{1}{RCs+1}\right)^3 \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

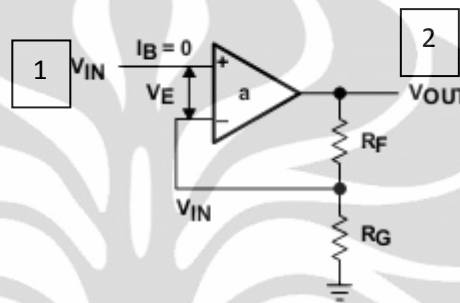
Dari persamaan (2.3), besar nilai  $\beta$  sebesar  $(1/2)^3$ , sehingga nilai A adalah

$$A = \frac{RF}{RG} \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

$$A = 8$$

## 2.4 Rangkaian Penguat *Non-Inverting*

Rangkaian penguat *non-inverting* merupakan rangkaian penguat dengan menggunakan *op-amp* dan menghasilkan sinyal keluaran yang sefasa dengan sinyal masukan atau perbedaan fasa sebesar  $0^\circ$ . Rangkaian ini digunakan untuk memperkuat sinyal keluaran yang dihasilkan oleh rangkaian osilator sinyal sinusoidal. Berikut ini rangkaian penguat *non-inverting*.



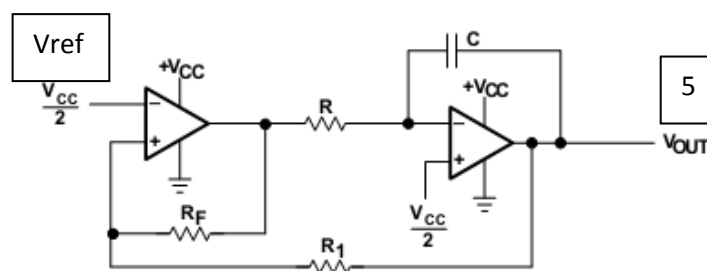
Gambar 2. 7 Rangkaian Penguat *Non-Inverting*<sup>[5]</sup>.

Penguatan yang terjadi pada rangkaian penguat *non-inverting* sesuai persamaan (2.5)

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_F}{R_G}\right) * V_{in} \dots\dots\dots (2.5)$$

## 2.5 Rangkaian Sinyal Pembawa

sinyal pembawa untuk sistem PWM pada skripsi ini menggunakan sinyal segitiga yang berfrekuensi 1 kHz. Sinyal segitiga tersebut dihasilkan oleh rangkaian osilator segitiga berikut ini.



Gambar 2. 8 Rangkaian Sinyal Pembawa (Sinyal Segitiga)<sup>[5]</sup>.



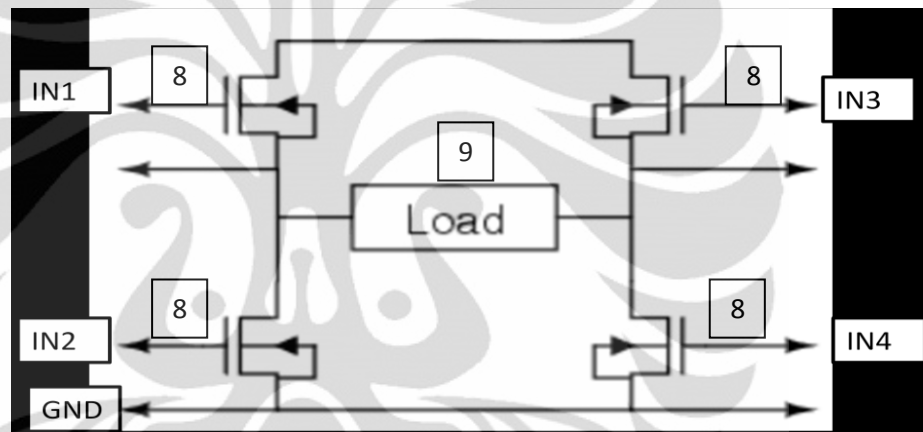
Tegangan keluaran yang dihasilkan adalah

$$V_{out} = \frac{V_{cc}}{2} \pm \frac{V_{cc} \cdot R1}{2 \cdot RF} \dots\dots\dots (2.6)$$

Frekuensi yang dihasilkan rangkaian osilator sinyal segitiga dapat dicari dengan menggunakan persamaan (2.7)

$$f = \frac{1}{4 \cdot R \cdot C} * \frac{RF}{R1} \dots\dots\dots (2.7)$$

**2.6 Rangkaian *H-Bridge* MOSFET**



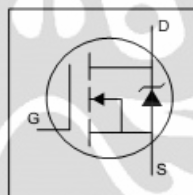
Gambar 2. 9 H-Bridge MOSFET [2].

Rangkaian *H-Bridge* MOSFET merupakan rangkaian berupa empat buah MOSFET yang digunakan sebagai *switch* yang disusun menyerupai huruf H. Keluaran yang dihasilkan rangkaian ini (*load*) dapat berupa tegangan positif, tegangan negatif, dan nol.

Tabel 1 Kondisi keluaran *H-Bridge* MOSFET dengan Variasi Masukan [2]

IN1	IN2	IN3	IN4	Tegangan pada Beban ( <i>Load</i> )
On	Off	Off	On	Positif
Off	On	On	Off	Negatif
On	On	Off	Off	Nol

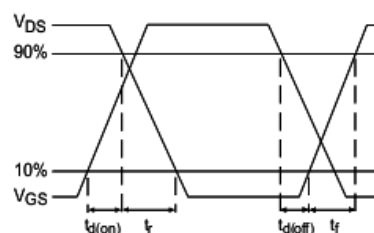
Pada rangkaian *H-Bridge* MOSFET ini, MOSFET yang digunakan adalah MOSFET tipe N-Channel Enhancement. MOSFET tipe N-Channel Enhancement merupakan jenis MOSFET yang memiliki saluran kanal dengan berbahan semikonduktor tipe n dan dalam kondisi awal, saluran tersebut tertutup sehingga tidak ada arus listrik yang mengalir dari drain ke source.. Saluran kanal berfungsi sebagai tempat aliran arus listrik dari drain ke source. Karena saluran kanal menggunakan semikonduktor tipe n, maka  $V_{GS}$  yang digunakan adalah tegangan positif. Karena dalam kondisi awal tidak arus listrik yang mengalir dari drain ke source dan  $V_{GS}$  bernilai positif, MOSFET jenis tersebut mudah untuk dikendalikan dibandingkan dengan jenis MOSFET lain. Ketika tegangan  $V_{GS}$  (IN) bernilai positif, arus listrik akan mengalir dari Drain ke Source. Ketika tegangan  $V_{GS}$  bernilai nol, arus listrik dari Drain ke Source tidak akan mengalir. Tegangan pada IN1 dengann IN2 dan IN3 dengan IN4 harus berbeda fasa sebesar  $180^0$  agar terdapat beda potensial (tegangan) pada beban (*load*).



Gambar 2. 10 N-Channel Enhancement MOSFET <sup>[6]</sup>.

### 2.6.1 *Switching characteristic*

Pada rangkaian *H-bridge*, MOSFET digunakan sebagai *switch*. Oleh karena itu, perlu diketahui karakteristik dari MOSFET yang digunakan sebagai *switch*.



Gambar 2. 11 *Switching Time Waveforms*<sup>[7]</sup>.

**Keterangan:**

- a.  $t_{d(on)}$  (**turn-on delay time**) : waktu yang dibutuhkan  $V_{GS}$  mencapai tegangan *threshold* MOSFET ( $V_{GS(TH)}$ ).
- b.  $t_r$  (**rise time**) : selang waktu setelah  $V_{GS}$  mencapai  $V_{GS(TH)}$  sampai keadaan stabil. Pada selang waktu tersebut, terdapat dua daerah yaitu daerah ketika arus *drain* ( $I_D$ ) meningkat dari nol hingga mencapai nilai arus beban dan daerah ketika tegangan *drain-source* ( $V_{DS}$ ) menurun hingga mencapai *steady-state*.
- c.  $t_{d(off)}$  (**turn-off delay time**): selang waktu yang dibutuhkan  $V_{GS}$  untuk mencapai suatu titik yang menyebabkan arus drain ( $I_D$ ) menjadi saturasi dengan nilai arus sesuai bebannya. Selama seang waktu tersebut, tidak ada perubahan tegangan *drain-source* ( $V_{DS}$ ).
- d.  $t_f$  (**fall time**): selang waktu yang dibutuhkan untuk  $V_{GS}$  mencapai  $V_{GS(TH)}$  setelah  $t_{d(off)}$ . Pada selang waktu tersebut, sama halnya dengan  $t_r$ , terdapat dua daerah yaitu daerah ketika  $V_{DS}$  berubah dari tegangan *steady-state* menjadi tegangan sumber ( $V_{DD}$ ) dan daerah ketika  $I_D$  berubah dari nilai arus sesuai beban menjadi nol.

**2.6.2 Hal-Hal yang Harus Diperhatikan dalam Pemilihan MOSFET**

Hal-hal yang harus diperhatikan dalam pemilihan MOSFET yang akan digunakan sebagai *H-bridge* MOSFET antara lain:

1. *Drain-Source Breakdown Voltage* ( $BV_{DSS}$ )  
 $BV_{DSS}$  merupakan tegangan  $V_{DS}$  maksimum yang dapat diterima MOSFET. Pada saat tegangan  $V_{DS}$  mencapai tegangan *breakdown*, arus *drain* ( $I_D$ ) menjadi sangat besar sehingga merusak MOSFET.
2. Arus *Drain* maksimum ( $I_{DSS}$ ).  
 Adalah nilai maksimum arus yang mengalir dari *drain* ke *source*. Sama halnya dengan  $BV_{DSS}$ , bila nilai tersebut terlampaui, maka MOSFET menjadi rusak.

3. Tegangan *Gate-Source* maksimum ( $V_{GSmaks}$ )  
Adalah nilai maksimum tegangan antara *gate* dan *source*. Nilai  $V_{GSmaks}$  tersebut berlaku untuk kedua polaritas tegangan (positif dan negatif).
4. Tegangan *threshold* MOSFET ( $V_{GS(TH)}$ )  
Tegangan *threshold* ( $V_{GS(TH)}$ ) merupakan tegangan antara *gate* dan *source* disaat arus *drain* mulai dapat mengalir dari *drain* ke *source*.
5. *Power Dissipation*  
Adalah suatu nilai yang menunjukkan daya disipasi maksimum yang dapat diterima MOSFET. Pada umumnya, nilai yang terdapat pada *datasheet* MOSFET, diukur pada suhu 25°C.

## 2.7 Rangkaian MOSFET Driver

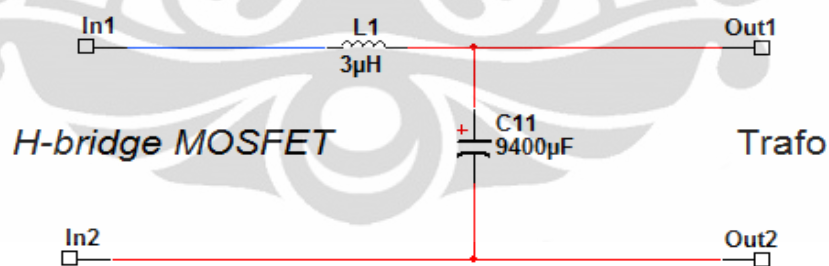
Rangkaian MOSFET *Driver* digunakan untuk mengendalikan rangkaian *H-Bridge* MOSFET. Rangkaian MOSFET *Driver* ini menghasilkan tegangan berupa sinyal kotak dengan tegangan maksimum sebesar 18 Volt dan tegangan minimum sebesar 0 Volt. Karena rangkaian *H-Bridge* MOSFET menggunakan tipe MOSFET jenis N-Channel Enhancement, ketika tegangan keluaran rangkaian MOSFET *driver* ini sebesar 18 Volt, maka arus listrik akan mengalir dari *drain* ke *source* pada MOSFET. Hal tersebut terjadi karena nilai tegangan sebesar 18 Volt telah melampaui tegangan *threshold* MOSFET ( $V_{GS(TH)}$ ). Ketika tegangan minimum sebesar 0 Volt, arus listrik tidak mengalir dari *drain* ke *source* pada MOSFET. Rangkaian MOSFET *driver* ini menggunakan rangkaian op-amp yang berfungsi sebagai komparator.

## 2.8 Filter

Rangkaian Filter digunakan untuk menyaring sinyal dengan frekuensi. Selain itu, rangkaian filter juga digunakan untuk memperhalus gelombang suatu sinyal. Dengan adanya filter ini, sinyal masukan yang berupa gelombang kotak dapat menjadi sinyal keluaran berupa sinyal

sinusoidal. Terdapat beberapa jenis filter antara lain filter aktif dan filter pasif. Filter aktif menggunakan komponen aktif seperti op-amp. Filter ini terdapat beberapa kekurangan antara lain: membutuhkan suplai tegangan sendiri sehingga membutuhkan biaya lain untuk sumber tegangan yang digunakan untuk menyuplai komponen op-amp tersebut. Selain itu, filter jenis ini tidak dapat melewatkan sinyal yang memiliki arus yang besar. Jenis filter yang kedua adalah filter pasif yaitu filter yang menggunakan komponen pasif (Resistor (R), Induktor (L), dan Kapasitor (C)). Filter jenis ini memiliki keunggulan dalam melewatkan sinyal dengan arus yang besar dan tidak membutuhkan suplai tegangan. Dilihat dari nilai frekuensi yang dilewatkan terdapat tiga jenis filter yaitu low pass filter, band pass filter, dan high pass filter. Low pass untuk melewatkan sinyal berfrekuensi dibawah frekuensi cut-off. Band pass filter digunakan untuk melewatkan sinyal diantara frekuensi cut-off yang rendah dengan frekuensi cut-off yang tinggi. High pass filter digunakan untuk melewatkan sinyal diatas frekuensi cut-off.

Pada skripsi ini, penulis menggunakan low pass filter yang menggunakan komponen pasif yaitu induktor (L) dan kapasitor (C).



Gambar 2. 12 Filter LC

Pada filter ini, nilai  $f_c$ ,  $L$ , dan  $C$  yang digunakan dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan(2.8) dan (2.9) berikut ini.

$$f_c = \frac{1}{2 * \pi * \sqrt{L * C}} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$L = \frac{1}{(2 * \pi * f)^2 * C} \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan:

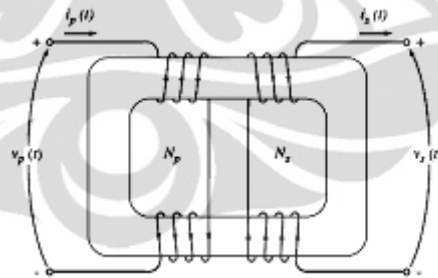
$f_c$  =frekuensi cut-off (Hz)

$L$  = nilai induktansi induktor (H)

$C$  = nilai kapasitansi kapasitor (Farad)

### 2.9 Transformator

Transformator merupakan suatu alat untuk mengubah nilai tegangan dan arus pada arus bolak-balik (AC). Pada idealnya, daya yang dikonversi pada transformator antara bagian primer dan sekunder adalah sama. Persamaan daya tersebut dapat dilihat pada persamaan berikut:



Gambar 2. 13 Transformator<sup>[7]</sup>.

$$P_{in} = P_{out} \dots\dots\dots (2.10)$$

$$V_p * I_p = V_s * I_s \dots\dots\dots (2.11)$$

$$\frac{V_p}{N_p} = \frac{V_s}{N_s} \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan:

$P_{in}$  = daya pada lilitan primer (Watt)

$P_{out}$  = daya pada lilitan sekunder (Watt)

- $V_p$  = tegangan pada lilitan primer (Volt)  
 $V_s$  = tegangan pada lilitan sekunder (Volt)  
 $I_p$  = arus yang mengalir pada lilitan primer (Ampere)  
 $I_s$  = arus yang mengalir pada lilitan sekunder (Ampere)  
 $N_p$  = jumlah lilitan primer  
 $N_s$  = jumlah lilitan sekunder

Namun pada kenyataannya, daya pada bagian sekunder transformator tidak sama dengan daya pada bagian primer transformator. Hal tersebut terjadi karena terdapat rugi-rugi pada transformator<sup>[7]</sup> antara lain

1. Rugi-rugi tembaga

Rugi-rugi ini disebabkan oleh adanya hambatan didalam lilitan kawat tembaga yang menyebabkan timbulnya panas pada lilitan kawat tembaga.

2. Rugi-rugi arus eddy dan rugi-rugi hysteresis

Rugi-rugi ini terjadi pada inti besi lunak yang menyebabkan timbulnya panas pada inti besi lunak. Rugi-rugi terjadi akibat perubahan medan magnetic yang ditimbulkan oleh lilitan kawat.

3. Fluks bocor

Kebocoran fluks terjadi akibat inti besi lunak dan lilitan kawat tidak dapat menangkap semua fluks yang timbul sehingga sebagian fluks tidak dapat dikonversi sepenuhnya menjadi arus listrik.

Efisiensi ( $\eta$ ) pada transformator dapat menggunakan persamaan

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} * 100\% \dots\dots\dots (2.13)$$

Terdapat dua jenis transformator yaitu transformator *step-up* dan *step down*.

1. Transformator Step-Up

Transformator step-up merupakan transformator yang berfungsi untuk menaikkan tegangan. Hal ini berarti tegangan sekundernya lebih besar dibandingkan tegangan primer.

2. Transformator Step-Down

Transformator step-down merupakan transformator yang berfungsi untuk menurunkan tegangan. Hal ini berarti tegangan sekundernya lebih kecil dibandingkan tegangan primer.





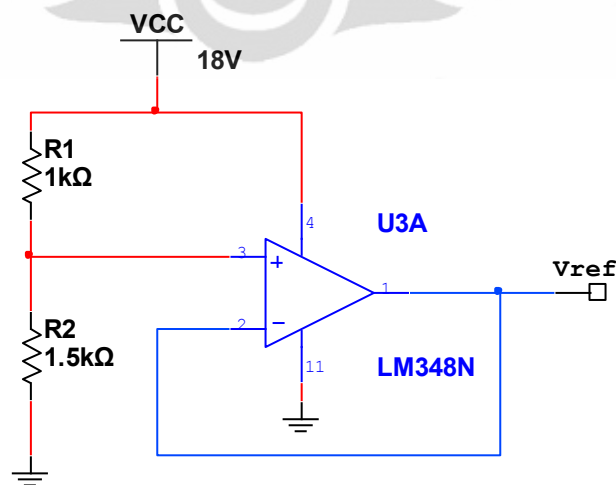
## BAB 3

### SIMULASI INVERTER 12 V<sub>DC</sub> ke 220 V<sub>AC</sub> 50Hz DENGAN PENGUAT AKHIR *H-BRIDGE* MOSFET

Simulasi rangkaian inverter 12 V<sub>DC</sub> ke 220 V<sub>AC</sub> 50Hz dengan penguat akhir *H-bridge* MOSFET menggunakan software *Electronic Workbench National Instrument Multisim 11.0*. Simulasi yang dilakukan meliputi rangkaian osilator penggeser fasa dengan penyangga tegangan, rangkaian penguat non-inverting dan sinyal kotak, rangkaian osilator sinyal segitiga, rangkaian *MOSFET driver*, rangkaian *H-Bridge* MOSFET, filter, dan rangkaian keseluruhan yang telah diberi transformator dan beban lampu pijar dengan variasi daya beban.

#### 3.1 Rangkaian Osilator Sinusoidal Penggeser Fasa dengan Penyangga Tegangan

Rangkaian osilator sinusoidal dengan menggunakan penggeser fasa dan penyangga tegangan menggunakan *op-amp* LM348. Suplai *op-amp* yang digunakan adalah 18 Volt untuk V<sub>cc+</sub> dan 0 Volt untuk V<sub>cc-</sub>. Rangkaian osilator ini menggunakan tegangan referensi sebesar V<sub>cc+</sub>/2 atau sebesar 9 V. Tegangan referensi tersebut didapat dari *voltage divider* 18 Volt. Tegangan referensi ini juga digunakan untuk penguat non-inverting osilator sinusoidal. Tegangan pada V<sub>ref</sub> adalah 9 Volt.

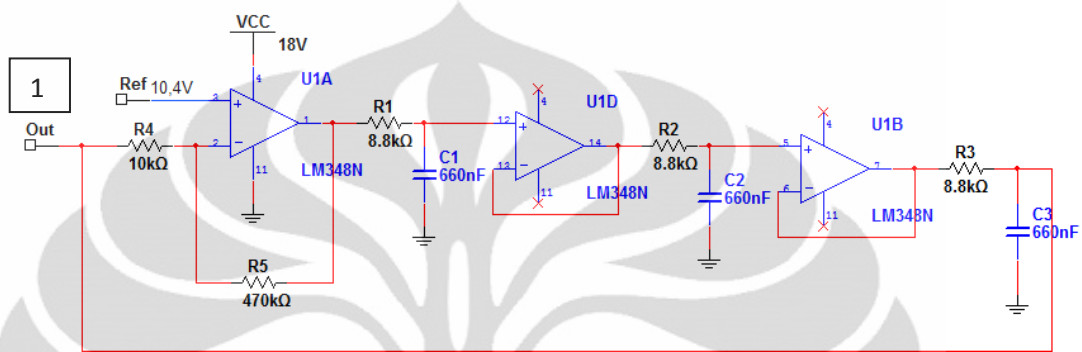


Gambar 3. 1 Rangkaian Tegangan Referensi

$$V_{ref} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} * V_{cc} \dots\dots\dots (3.1)$$

$$V_{ref} = \frac{1.5K\Omega}{1K\Omega + 1.5K\Omega} * 18\text{ Volt}$$

$$V_{ref} = 10.4\text{ Volt}$$



Gambar 3. 2 Rangkaian Simulasi Osilator Sinusoidal Penggeser Fasa dengan Penyangga Tegangan

Bila R3 yang digunakan adalah 10KΩ, maka sesuai dengan persamaan (2.4) resistor untuk penguat yang digunakan adalah 80K. untuk filter RC, bila frekuensi yang digunakan sebesar 50 Hz dan nilai kapasitansi kapasitor yang digunakan sebesar 660nF, maka berdasarkan persamaan (3.2), nilai resistor yang digunakan adalah 8,35KΩ.

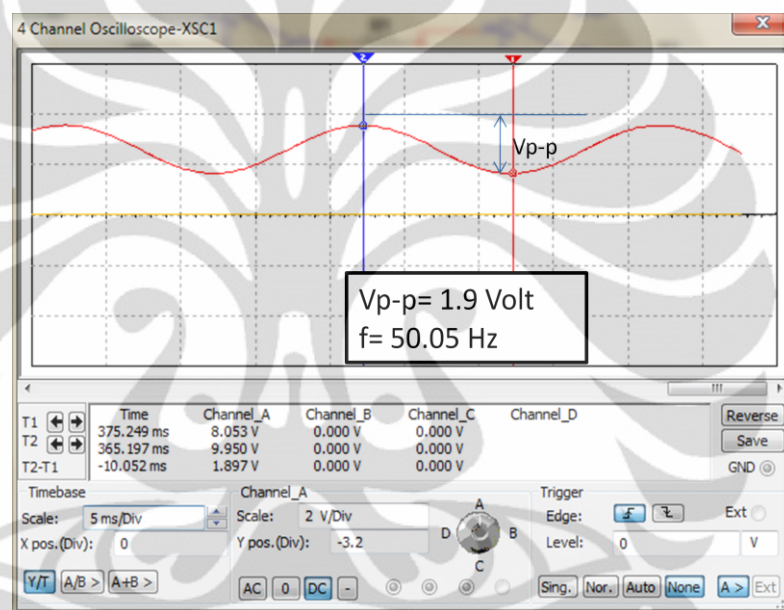
$$R = \frac{1.732}{2 * \pi * f * C} \dots\dots\dots (3.2)$$

$$R = \frac{1,732}{2 * \pi * 50 * 660 * 10^{-9}}$$

$$R = 8,35K\Omega$$

Ketika nilai resistor penguatan dan filter RC berdasarkan perhitungan digunakan, tidak ada sinyal keluaran yang dihasilkan. Untuk mendapatkan sinyal keluaran berupa sinyal sinusoidal yang memiliki frekuensi 50 Hz, nilai resistor penguatan yang digunakan sebesar 470KΩ dan RC filter yang digunakan adalah R=8.8KΩ dan C=660nF. Berikut gambar rangkaian yang telah direvisi

Dari hasil simulasi didapatkan bahwa tegangan yang dihasilkan berupa sinyal sinusoidal dengan tegangan maksimum sebesar dan tegangan minimum sebesar 9.95 Volt dan 8.05 Volt sehingga tegangan peak to peak sebesar 1.9 Volt. Tegangan yang dihasilkan merupakan tegangan DC karena tegangan suplai yang digunakan pada *op-amp* sebesar  $V_{cc+} = 18V$  dan  $V_{cc-} = 0$  Volt. Frekuensi sinyal keluaran yang dihasilkan sebesar 50,05 Hz.

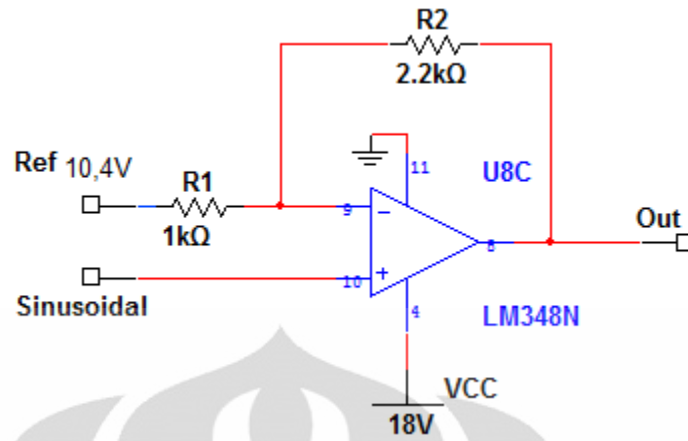


Gambar 3. 3 Hasil Simulasi Rangkaian osilator sinusoidal penggeser fasa dengan penyangga tegangan

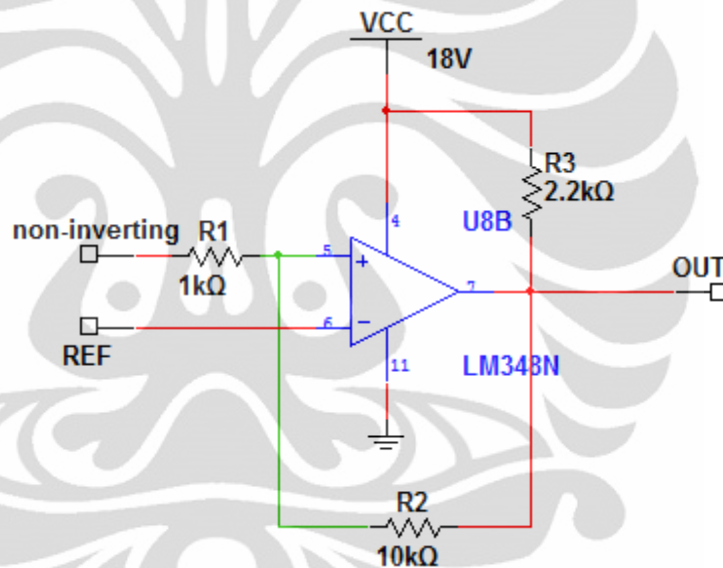
Tegangan yang dihasilkan osilator sinusoidal ini terlalu kecil sehingga tegangan tersebut perlu diperbesar. Penguatan tegangan tersebut dapat menggunakan rangkaian penguat *non-inverting* agar tidak terjadi perbedaan fasa antara sinyal keluaran dengan sinyal masukan.

### 3.2 Rangkaian Penguat *Non-Inverting* dan Osilator Sinyal Kotak

Rangkaian penguat non-inverting dan Sinyal Kotak pada skripsi ini juga menggunakan LM348. Berikut ini rangkaian penguat non-inverting dan Osilator Sinyal Kotak..



Gambar 3.4 Rangkaian Simulasi Penguat *Non-Inverting*



Gambar 3. 5 Rangkaian Osilator Sinyal Kotak

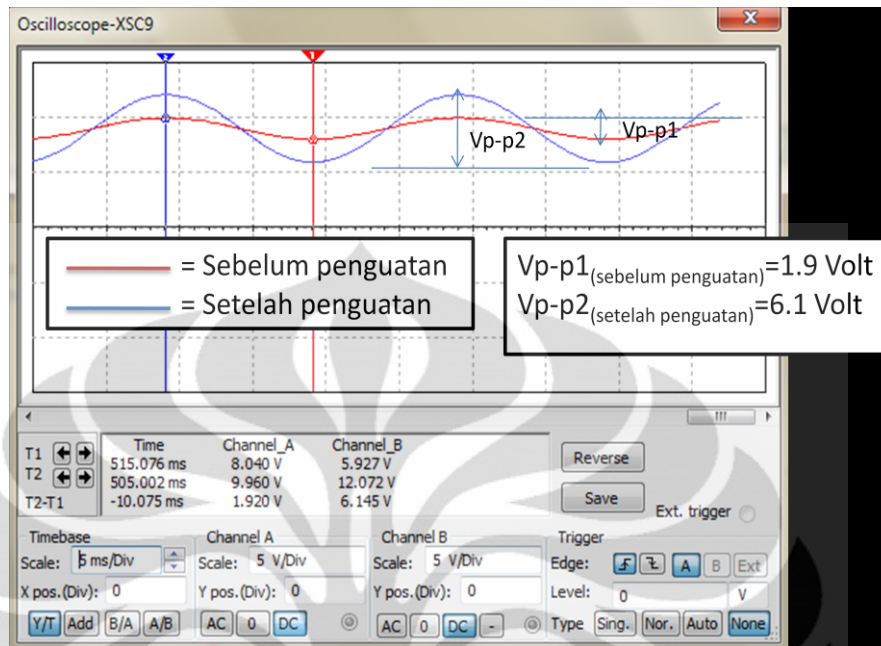
Dengan menggunakan persamaan(), bila nilai R1 dan R2 sebesar 1KΩ dan 2.2KΩ maka penguatan sebesar 3,2 kali.

$$V_{out} = (1 + R_F/R_G) * V_{in} \dots\dots\dots (3.3)$$

$$V_{out} = \left(1 + \frac{2,2K\Omega}{1K\Omega}\right) * V_{in}$$

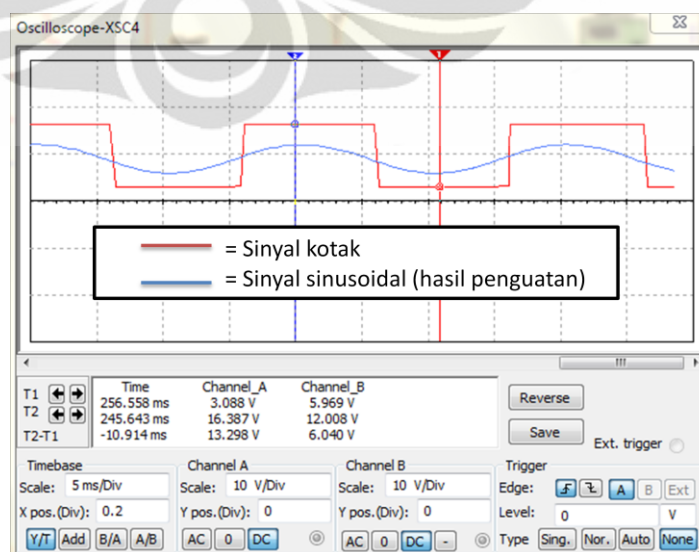
$$V_{out} = 3,2 * V_{in}$$

Frekuensi sinyal pada rangkaian ini sebesar 50,05 Hz.



Gambar 3. 6 Sinyal sinusoidal sebelum penguatan vs setelah penguatan

Pada Gambar 3.7, dapat dilihat bahwa besar tegangan  $V_{p-p}$  pada sinyal sinusoidal sebelum penguatan sebesar 1.9 Volt, sedangkan besar tegangan  $V_{p-p}$  pada sinyal setelah penguatan sebesar 6.1 Volt. Hal ini menunjukkan bahwa penguatan yang terjadi pada sinyal sinusoidal sebesar 3,2 kali.



Gambar 3. 7 Sinyal sinusoidal setelah penguatan vs sinyal Kotak

Pada Gambar 3.8, dapat dilihat besar tegangan *peak to peak* ( $V_{p-p}$ ) pada sinyal kotak sebesar 13.3 V. Sinyal ini memiliki tegangan maksimum sebesar 16.4 Volt dan tegangan minimum sebesar 3.1 Volt. Tegangan keluaran sinyal kotak ini terletak pada jangkauan 3.1-16.4 Volt karena tegangan referensi yang digunakan adalah sebesar 10.4 Volt dan suplai op-amp yang digunakan adalah *single-supply* dengan  $V_{cc-}$  diberi tegangan 0 Volt atau sebagai *ground* sehingga tegangan pada sinyal kotak terletak pada daerah tegangan positif.

### 3.3 Rangkaian Penghasil Sinyal Segitiga

Rangkaian penghasil sinyal segitiga yang berfungsi sebagai sinyal pembawa ini menggunakan op-amp LM348 dengan suplai tegangan  $V_{cc+}$  sebesar 18 Volt dan  $V_{cc-}$  sebesar 0 Volt. Tegangan referensi yang digunakan adalah 10.4 Volt.

Dengan menggunakan persamaan (2.7), bila nilai  $R_2$ ,  $R_3$  dan  $C$  sebesar  $2K\Omega$ ,  $1K\Omega$ , dan  $330nF$ , serta frekuensi sebesar 1000 Hz, maka nilai  $R_1$  yang digunakan adalah sebesar  $1515\Omega$ .

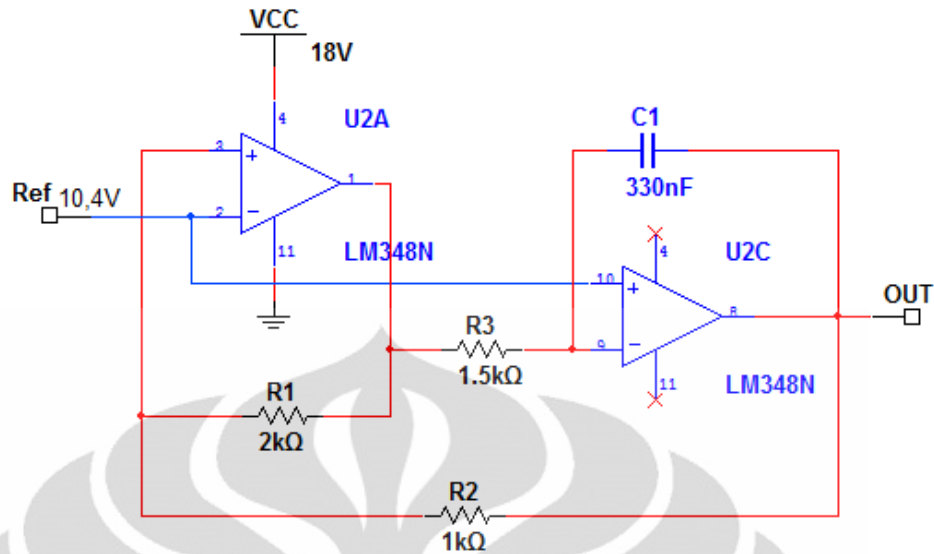
$$f = \frac{1}{4 * R_1 * C} * \frac{R_2}{R_3} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$R_1 = \frac{1}{4 * f * C} * \frac{R_2}{R_3}$$

$$R_1 = \frac{1}{4 * 50Hz * (330 * 10^{-9})F} * \frac{2000\Omega}{1000\Omega}$$

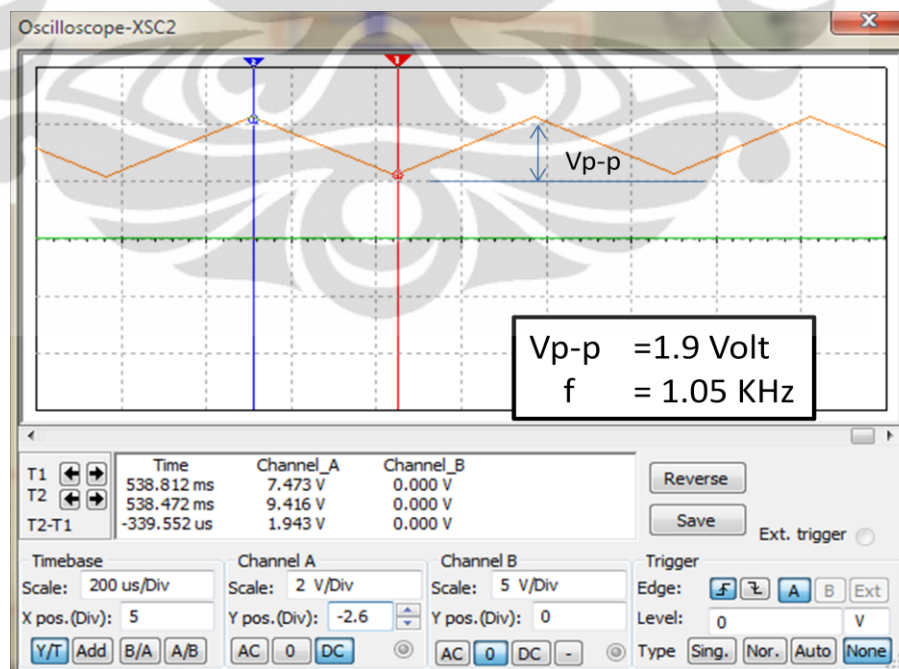
$$R_1 = 1515\Omega$$

Karena nilai  $R_1$  sebesar  $1515\Omega$ , penulis memilih nilai  $R_1$  sebesar  $1,5K\Omega$ .



Gambar 3. 8 Rangkaian Osilator Sinyal Pembawa (Sinyal Segitiga)

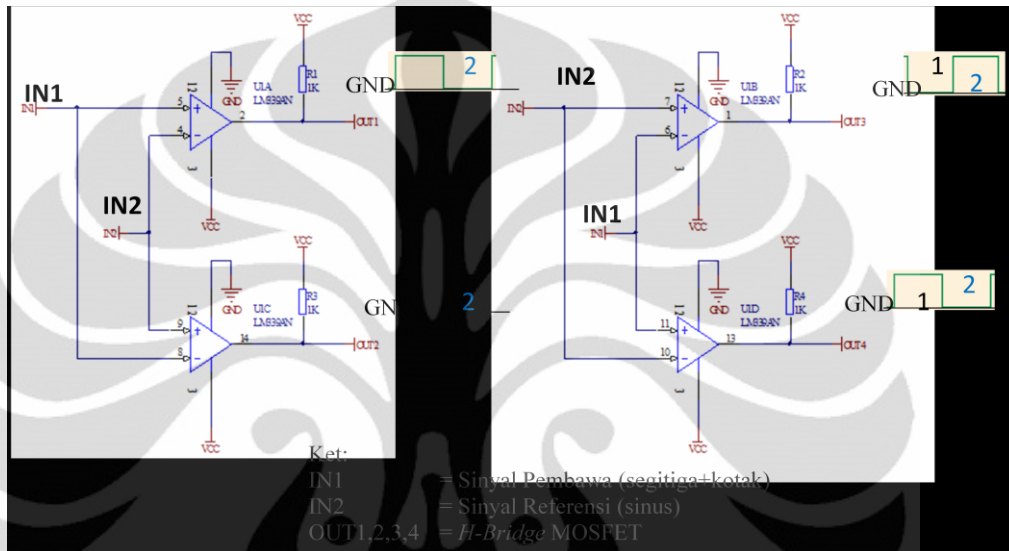
Dari hasil simulasi, didapatkan bahwa sinyal yang dihasilkan berupa sinyal segitiga dengan tegangan  $V_{p-p}$  sebesar 1.9 Volt (tegangan maksimum sebesar 9.5 Volt dan tegangan minimum sebesar 7.5 Volt) dan memiliki frekuensi 1,05 KHz.



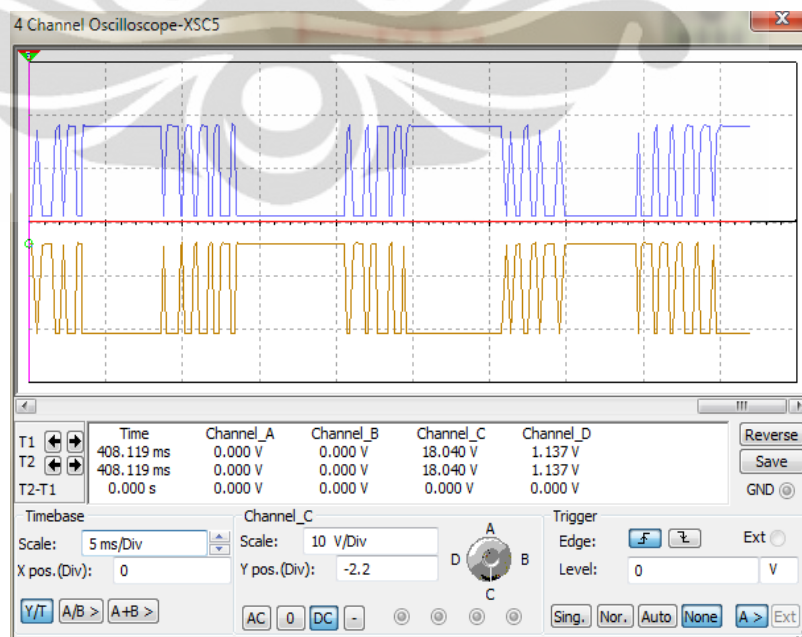
Gambar 3. 9 Hasil Simulasi Rangkaian Osilator Sinyal Segitiga (Sinyal Pembawa)

### 3.4 Rangkaian MOSFET Driver

Rangkaian MOSFET Driver ini menggunakan op-amp LM339. Suplai tegangan yang digunakan untuk  $V_{cc+}$  sebesar 18 Volt dan untuk  $V_{cc-}$  sebesar 0 Volt. Resistor yang digunakan sebesar  $1K\Omega$  untuk mendapat nilai tegangan maksimum 18 Volt dan tegangan minimum sebesar 0 Volt.



Gambar 3. 10 Rangkaian MOSFET Driver



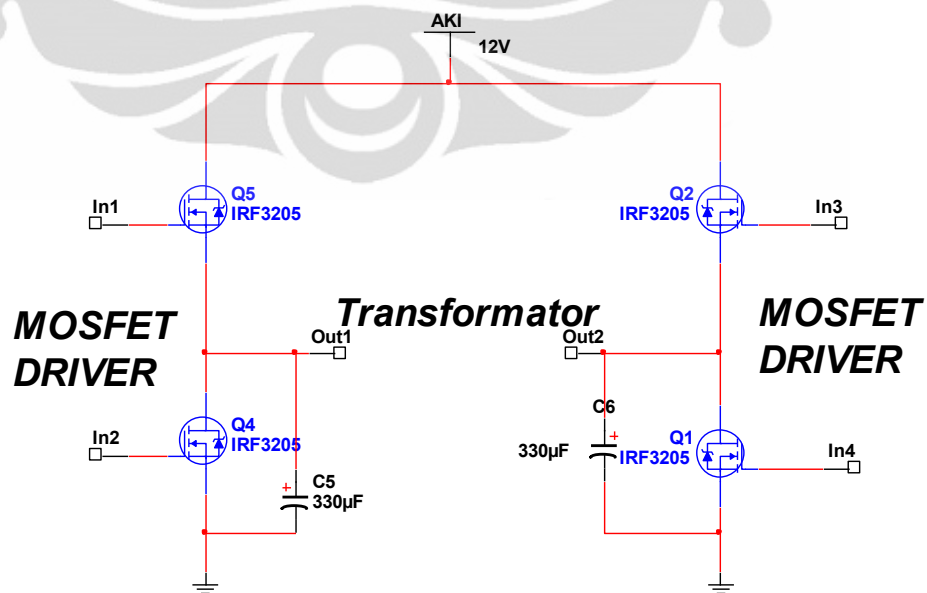
Gambar 3. 11 Hasil Simulasi Rangkaian MOSFET Driver



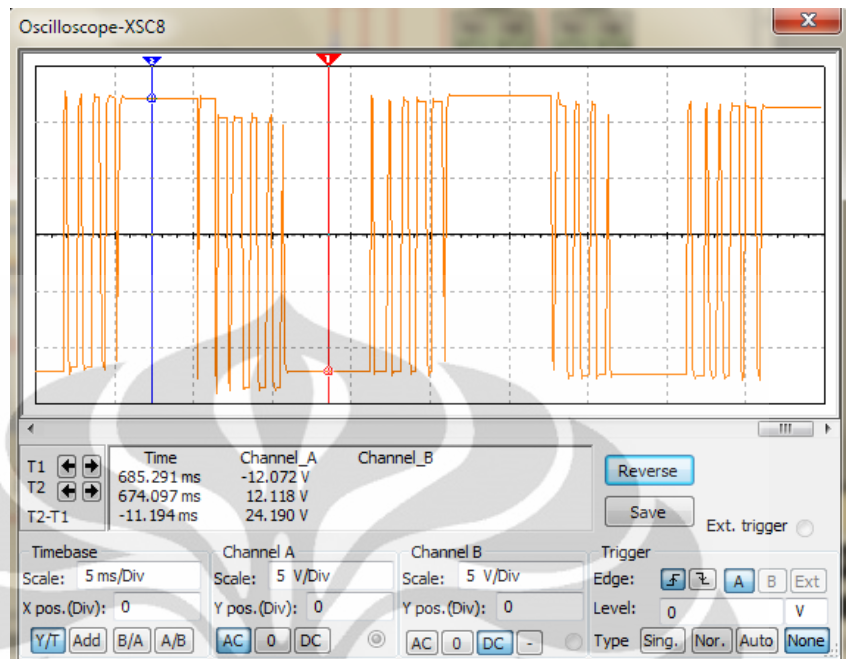
Pada Gambar 3.12, tegangan maksimum yang dihasilkan rangkaian MOSFET *driver* sebesar 18 Volt dan tegangan minimum sebesar 1.1 Volt. Berdasarkan *datasheet* MOSFET IRF 3205,  $V_{GS(Th)}$  atau tegangan threshold MOSFET IRF3205 sebesar 2-4 Volt<sup>[6]</sup>. Hal ini berarti MOSFET akan aktif atau arus dapat mengalir dari *drain* ke *source* saat tegangan keluaran rangkaian MOSFET *driver* sebesar 18 Volt dan akan tidak aktif saat tegangan keluaran rangkaian MOSFET *driver* sebesar 1.1 Volt.

### 3.5 Rangkaian *H-Bridge* MOSFET

Rangkaian *H-Bridge* MOSFET pada skripsi ini menggunakan MOSFET tipe IRF3205 yang memiliki  $V_{DS\ maks}$  sebesar 55 Volt dan  $I_D\ maks$  sebesar 110 Ampere<sup>[6]</sup>. Penggunaan MOSFET jenis ini karena dengan tegangan  $V_{GS}$  sebesar 18V maka arus yang dihasilkan dapat mencapai 100 Ampere dengan kondisi tertentu. Rangkaian ini menggunakan empat buah MOSFET. Dua buah MOSFET memiliki  $V_{GS}$  yang sefasa dan dua buah MOSFET lainnya memiliki fasa yang sama tetapi berbeda  $180^0$  dengan dua MOSFET lainnya. Keluaran dari rangkaian ini diberi kapasitor sebesar  $330\mu F$ . Pemberian kapasitor ini untuk mengurangi lonjakan tegangan dan arus yang terjadi pada beban.



Gambar 3. 12 Rangkaian H-Bridge MOSFET



Gambar 3. 13 Hasil Simulai Rangkaian *H-Bridge* MOSFET

Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa sinyal yang dihasilkan rangkaian *H-Bridge* MOSFET berbentuk kotak tidak sempurna. Untuk menghasilkan sinyal keluaran sinusoidal murni, diperlukan rangkaian filter. Tegangan sinyal keluaran tersebut memiliki jangkauan nilai pada 12 Volt dan -12 Volt.

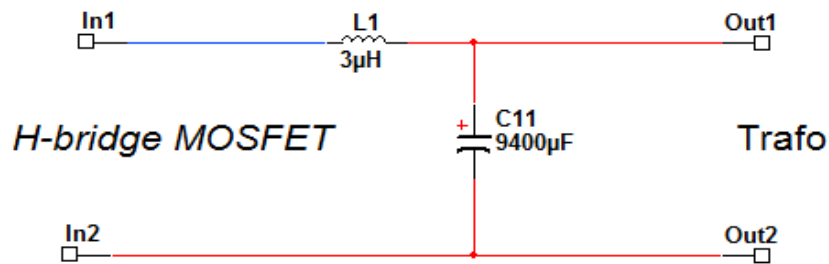
### 3.6 Filter

Berdasarkan persamaan (2.9), dengan frekuensi sebesar 1 KHz dan nilai kapasitor sebesar  $9400\mu\text{F}$ , maka nilai induktor sebesar  $3\mu\text{H}$ .

$$L = \frac{1}{(2\pi f)^2 * C} \dots\dots\dots (2.9)$$

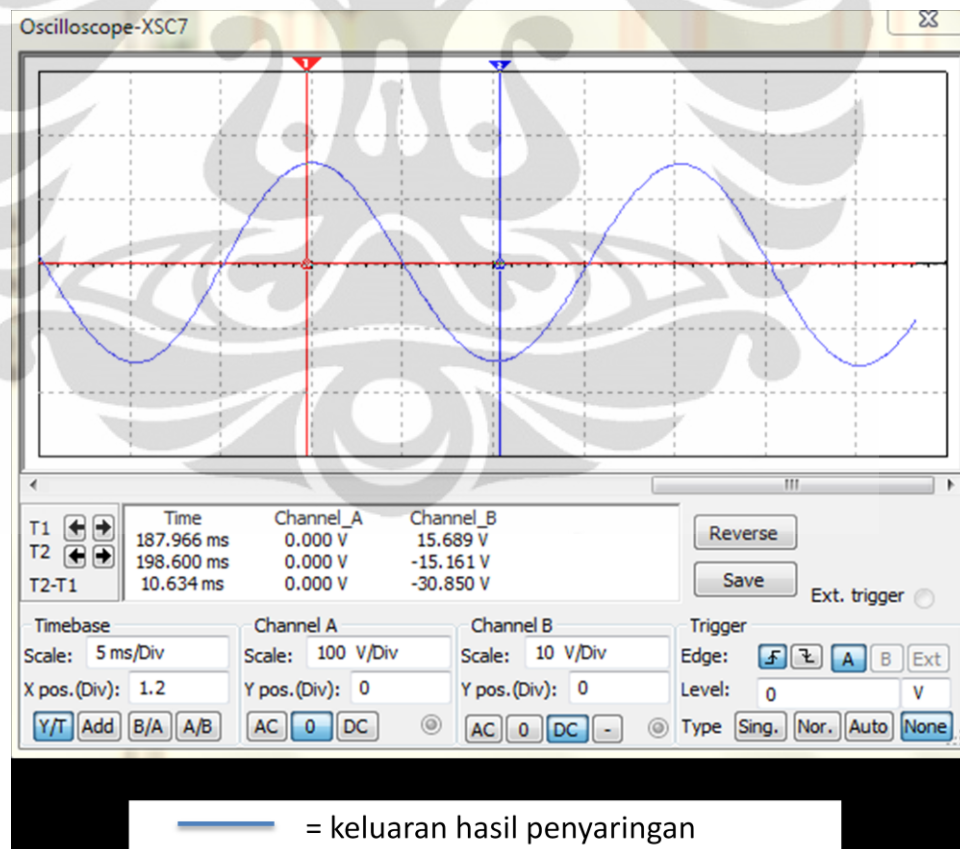
$$L = \frac{1}{(2\pi * 1000\text{Hz})^2 * (9400 * 10^{-9}\text{F})}$$

$$L = 3\mu\text{H}$$



Gambar 3. 14 Filter LC

Dari gambar 3.16, dapat dilihat bahwa tegangan  $V_{p-p}$  pada keluaran filter sebesar 20,361 Volt dengan tegangan positif sebesar 10,144 Volt dan tegangan negative sebesar -10,216 Volt. Frekuensi yang dihasilkan sebesar 50,126 Hz. Hal ini menunjukkan bahwa sinyal kotak yang dihasilkan rangkaian *H-Bridge* MOSFET dapat difilter dengan sempurna oleh kombinasi rangkaian LC tersebut.



Gambar 3. 15 Sinyal Keluaran Filter

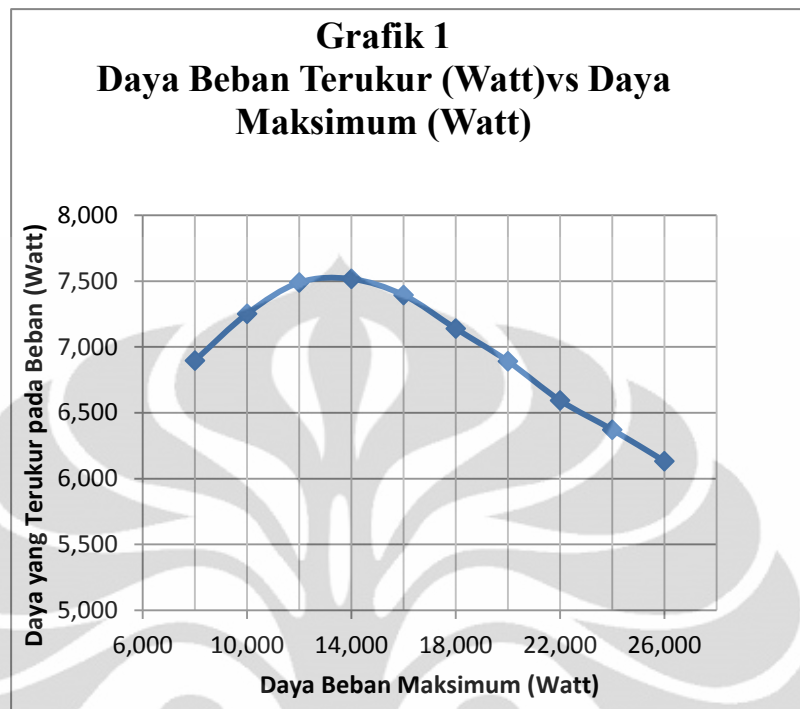
### 3.7 Pemberian Beban

Pemberian beban pada rangkaian ini disimulasikan dengan beban lampu pijar yang menggunakan berbagai variasi daya beban dari 8 Watt sampai 26 Watt dengan selang 2 Watt. Sebelum beban, tegangan sinyal keluaran dari filter dikuatkan terlebih dahulu dengan menggunakan transformator. Rasio tegangan sekunder dengan tegangan primer yang digunakan adalah 18,33. Rasio ini digunakan untuk mensimulasikan tegangan pada transformator yang dipakai yaitu tegangan primer sebesar 12 Volt dan tegangan sekunder sebesar 220 Volt. Berikut ini tabel yang menunjukkan daya pada aki dan daya pada beban.

Tabel 2 Rangkaian Inverter dengan Pemberian Beban

No.	Pload max (Watt)	V aki(V)	I aki(A)	Paki (Watt)	Vout (Vrms)	I out (mA rms)	Pout (Watt)	Efisiensi (%)
1	8	12	2.95	35.39	204.26	33.76	6.90	19.49
2	10	12	2.80	33.61	187.35	38.71	7.25	21.58
3	12	12	2.69	32.22	173.81	43.09	7.49	23.25
4	14	12	2.55	30.61	161.21	46.63	7.52	24.56
5	16	12	2.42	29.08	149.55	49.44	7.39	25.43
6	18	12	2.30	27.56	138.56	51.53	7.14	25.90
7	20	12	2.18	26.18	129.14	53.36	6.89	26.32
8	22	12	2.07	24.83	120.44	54.75	6.59	26.56
9	24	12	2.00	24.00	113.35	56.21	6.37	26.55
10	26	12	1.91	22.92	106.84	57.40	6.13	26.76

Pada Grafik 3.1, dapat dilihat bahwa daya maksimum yang terukur pada beban sebesar 7,5 Watt terjadi pada saat beban memiliki daya sebesar 14 Watt. Hal ini menunjukkan bahwa rangkaian inverter ini dapat menghasilkan daya maksimum sebesar 7,5 Watt.



Grafik 3. 1 Daya yang Terukur pada Beban (Watt) vs Daya Maksimum Beban (Watt)

## BAB 4

### FABRIKASI DAN ANALISIS HASIL EKSPERIMEN RANGKAIAN INVERTER 12 VDC ke 220VAC 20Watt

Setelah rangkaian inverter disimulasikan dengan menggunakan software *Electronic Workbench National Instrument Multisim 11.0*, rangkaian tersebut diimplementasikan dengan memberikan beberapa variasi beban yaitu lampu pijar dan lampu hemat energi.

Pemilihan beban ini bertujuan untuk melihat pembebanan rangkaian inverter dengan beban resistif dan kapasitif. Terdapat beberapa perbedaan komponen saat rangkaian diimplementasikan khususnya rangkaian tegangan referensi dan filter.

#### 4.1 Osilator sinusoidal

Setelah melakukan percobaan dengan rangkaian tegangan referensi hasil simulasi, sinyal osilator sinusoidal yang dihasilkan rangkaian osilator sinusoidal memiliki frekuensi sebesar 51,28 Hz.

$$\begin{aligned} T &= 19,5ms \\ f &= \frac{1}{T} \dots\dots\dots (4.1) \\ f &= \frac{1}{19,5ms} \\ f &= 51,28Hz \end{aligned}$$

Untuk menghasilkan sinyal sinusoidal dengan frekuensi 50Hz, resistor pada filter RC dapat diubah-ubah sehingga menghasilkan sinyal sinusoidal yang memiliki frekuensi 50Hz.

Walaupun frekuensi yang dihasilkan mendekati frekuensi 50 Hz, perubahan yang utama terjadi pada periode antara fasa negatif dan fasa positif sinyal sinusoidal. Terdapat perbedaan periode antara fasa negatif dan fasa positif sinyal sinusoidal. Periode antara fasa negatif dan fasa positif yang seharusnya sama besar atau 50% dari sinyal sinusoidal yang berfrekuensi 50 Hz (periode (T)=20ms). Periode yang dihasilkan

rangkaian hasil simulasi untuk fasa negatif sebesar 10 ms. dan fasa positif sebesar 10 ms.

Bila periode antara fasa negatif dan fasa positif sinyal sinusoidal tidak seimbang, maka dapat menyebabkan sinyal hasil akhir pun tidak seimbang sehingga ketika dibebankan banyak daya yang hilang dan fatalnya dapat menyebabkan kerusakan pada sistem. Kerusakan yang terjadi khususnya ketika dibebankan dengan mesin elektrikal. Berikut ini rangkaian tegangan referensi hasil revisi yang dapat menyebabkan keseimbangan periode antara fasa negative dan fasa positif sinyal sinusoidal yang dihasilkan rangkaian sinyal sinusoidal.

Jadi, nilai tegangan referensi yang baru adalah ...

$$V_{ref} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} * V_{in} \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

$$V_{ref} = \frac{1,5K\Omega}{1K\Omega + 1,5K\Omega} * 18Volt$$

$$V_{ref} = 10.8Volt$$

Periode yang dihasilkan rangkaian hasil simulasi untuk fasa negative sebesar 10.5ms dan fasa positif sebesar 9ms. Dari nilai periode tersebut dapat dihitung duty cycle (D)

$$D = \frac{T_{on}}{T} \quad \dots\dots\dots (4.2)$$

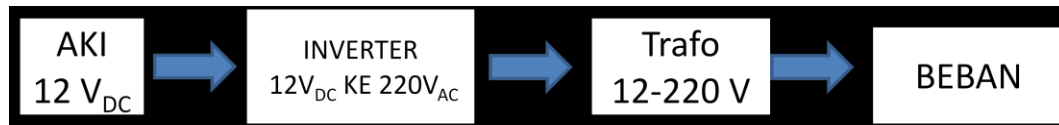
$$D = \frac{9ms}{19,5ms}$$

$$D = 0,46$$

## 4.2 Filter

Pada percobaan yang dilakukan, rangkaian inverter dengan menggunakan filter berdasarkan simulasi, tidak menghasilkan keluaran. Hal tersebut terjadi karena impedansi dari filter yang sangat besar sehingga tegangan jatuh pada filter juga besar.

### 4.3 Pembebanan



Gambar 4. 1 Blok Diagram Inverter saat Pembebanan

Pembebanan rangkaian inverter  $12\text{ V}_{\text{DC}}$  ke  $220\text{ V}_{\text{AC}}$  50Hz dengan penguat akhir *H-bridge* MOSFET dilakukan dengan memberikan beban berupa lampu pijar dan lampu hemat energi. Pembebanan yang dilakukan tanpa menggunakan filter. Sebelum dihubungkan dengan beban, keluaran dari rangkaian *H-Bridge* MOSFET dihubungkan dengan transformator dengan tegangan pada lilitan primer sebesar 0-12 Volt dan tegangan pada lilitan sekunder sebesar 0-220 Volt. Daya lampu pijar yang diberikan adalah 10 Watt, sedangkan daya lampu henergi yang diujicobakan adalah 8 Watt, dan 20 Watt.

#### 4.3.1 Bentuk Sinyal pada Beban tanpa menggunakan filter

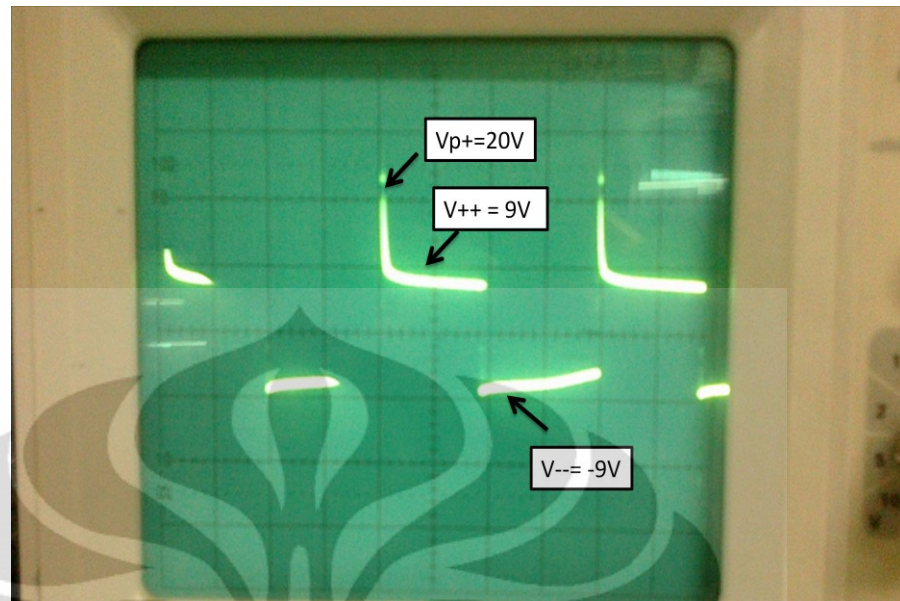
##### 4.3.1.1 Lampu pijar

Lampu pijar yang digunakan untuk membebaskan rangkaian inverter adalah lampu pijar dengan daya sebesar 5 Watt dan 10 Watt. Lampu pijar dipasang pada sekunder transformator pada pin 0 Volt dan 220 Volt, sedangkan primer transformator dihubungkan dengan *H-bridge* MOSFET pada pin 0 Volt dan 12 Volt. Pemasangan tersebut bertujuan untuk meningkatkan tegangan dari keluaran *H-bridge* MOSFET sebesar 5V menjadi 220 V.

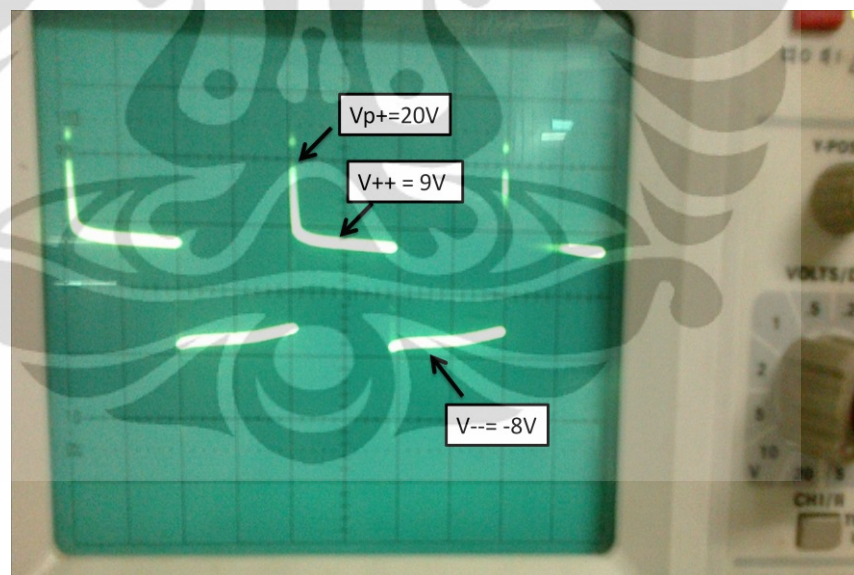
#### 1. Sinyal Tegangan Masukan Transformator untuk Beban Lampu Pijar

Pada gambar 1.1 dan gambar 1.2, dapat dilihat bahwa bentuk sinyal berbentuk kotak dengan tegangan puncak sekitar 20V. sinyal berbentuk kotak tersebut terjadi karena karakteristik dari mosfet yang menghasilkan sinyal berbentuk kotak bila sinyal masukan yang diberikan kepada mosfet berbentuk kotak.





Gambar 4. 2 Sinyal Tegangan Masukan Transformator untuk Beban Lampu Pijar 5 Watt.



Gambar 4. 3 Sinyal Tegangan Masukan Transformator untuk Beban Lampu Pijar 10 Watt.

Tegangan puncak sebesar 20V terjadi karena rangkaian *h-bridge* dihubungkan dengan beban transformator. Transformator tersebut merupakan beban induktif sehingga menyebabkan munculnya arus sesaat ( $\frac{\partial i}{\partial t}$ ). Fenomena tersebut dinamakan *Unclamped Inductive Switching*.

Fenomena tersebut terjadi karena adanya induksi medan magnetic yang terjadi pada transformator (lilitan transformator yang berperan sebagai induktor) yang disebabkan oleh proses *switching* MOSFET. Dengan adanya arus induksi yang terjadi sesaat tersebut dapat menyebabkan munculnya tegangan sesaat yang lebih besar dari tegangan dalam keadaan *steady-state*. [8]

$$V_{spk} = L * \frac{\partial i}{\partial t} + VDD \quad \dots\dots\dots (4.3)$$

Keterangan:

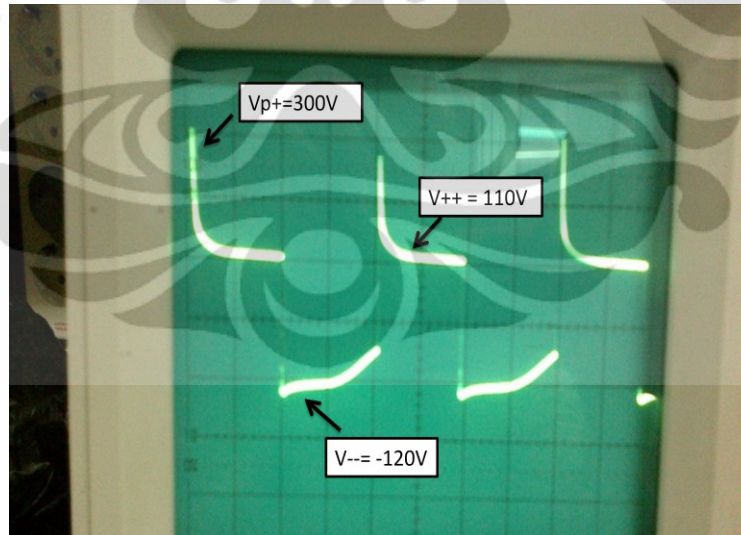
$V_{spk}$  = peak over voltage transient voltage (Volt)

$L$  = induktansi beban (H)

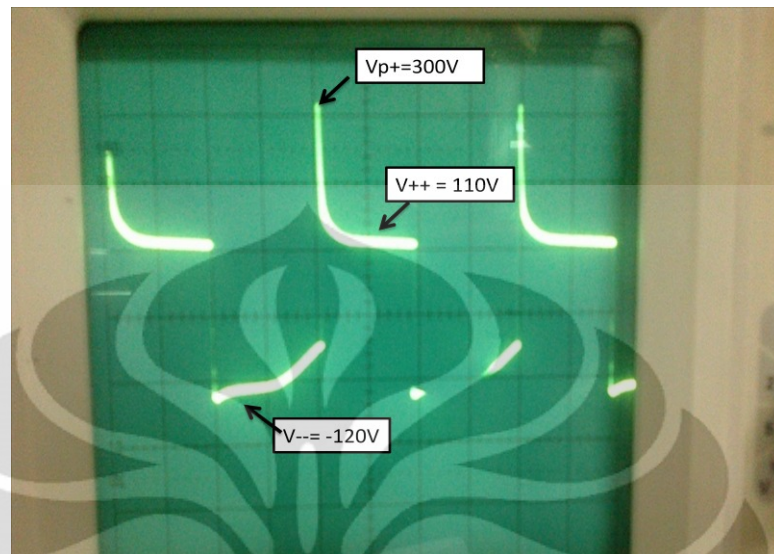
$\frac{\partial i}{\partial t}$  = rate of change of current at turn-off

$VDD$  = tegangan suplai (Volt)

## 2. Sinyal Tegangan Keluaran Transformator/Tegangan pada Beban Lampu Pijar



Gambar 4. 4 Sinyal Tegangan pada Beban Lampu Pijar 5Watt



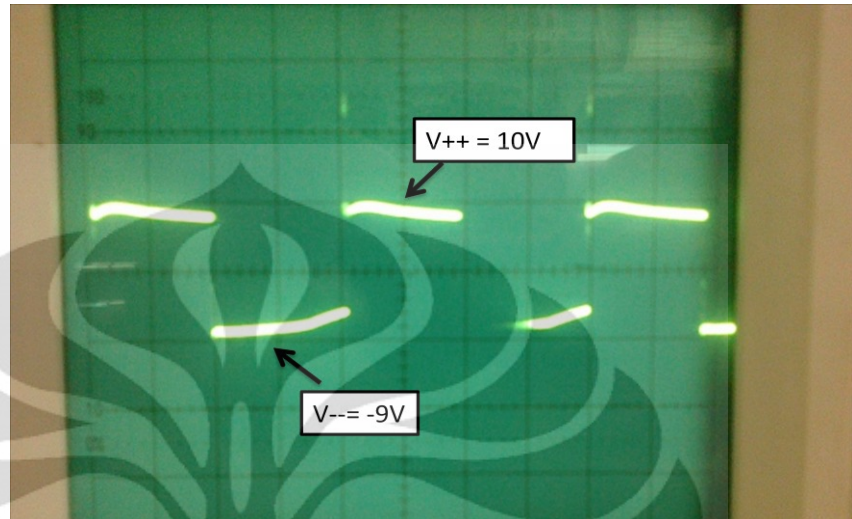
Gambar 4. 5 Sinyal Tegangan pada Beban Lampu Pijar 10 Watt

Gambar 4.3 dan 4.4 memperlihatkan bentuk sinyal yang terukur pada beban lampu pijar. Bentuk gelombang tersebut mengikuti bentuk inpu trafo. baik pada lampu pijar 5W maupun lampu pijar 10W memiliki nilai tegangan yang relatif sama. Tegangan puncak sebesar 300V, tegangan stabil pada siklus positif sebesar 110 V, dan tegangan pada siklus negative sebesar -120V. Tegangan puncak sebesar 300V yang terjadi sesaat tersebut diakibatkan adanya arus induksi pada transformator seperti yang telah djelaskan pada subbab sebelumnya.

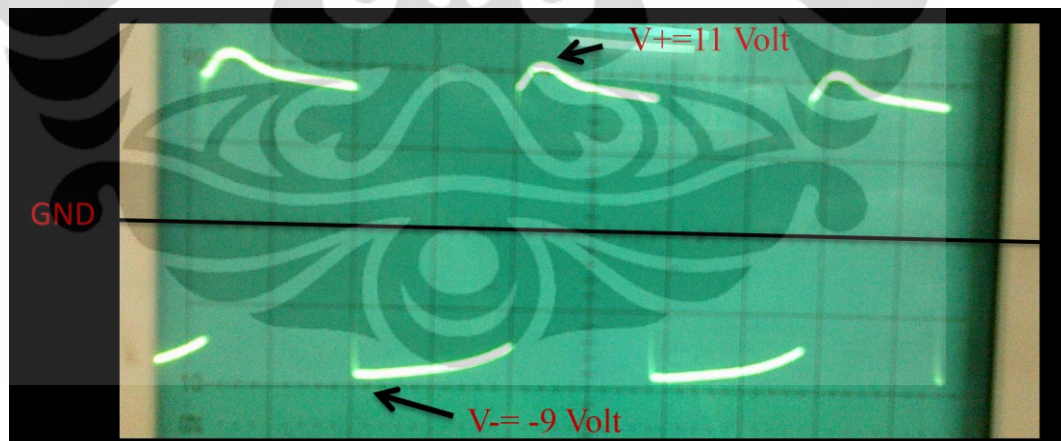
#### 4.3.1.2 Lampu Hemat Energi

Lampu hemat energi yang digunakan untuk membebaskan rangkaian inverter adalah lampu hemat energi dengan daya 8 Watt dan daya 20 Watt. Lampu hemat energi digunakan untuk melihat kondisi rangkaian inverter jika dibebankan pada beban kapasitif.

1. Sinyal Tegangan Masukan Transformator untuk Beban Lampu Hemat Energi



Gambar 4. 6 Sinyal Tegangan Masukan Transformator untuk Beban Lampu Hemat Energi 8 Watt.



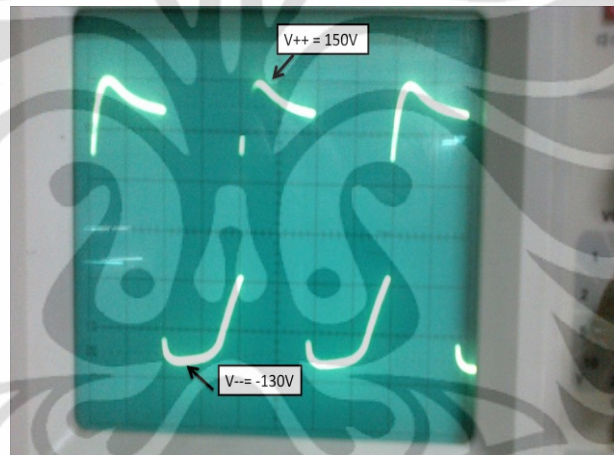
Gambar 4. 7 Sinyal Tegangan Masukan Transformator untuk Beban Lampu Hemat Energi 20 Watt.

Gambar 4.5 dan 4.6 memperlihatkan bentuk sinyal tegangan masukan transformator dengan beban lampu hemat energi. Pada beban lampu hemat energi 8W, besar tegangan siklus positif sebesar 9V dan tegangan siklus negative sebesar -9V. pada beban lampu hemat energi 20 W, besar tegangan siklus positif sebesar 9V dan tegangan siklus negative

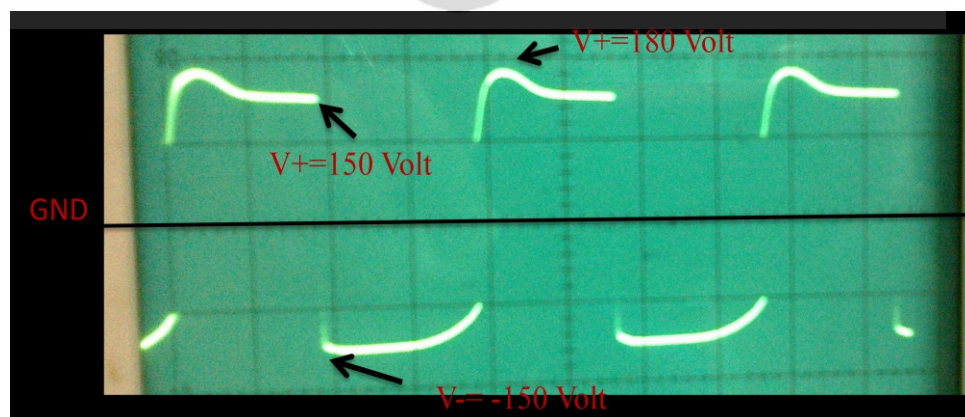
sebesar 9V. besar tegangan ini relative sama dengan tegangan pada keluaran rangkaian *H-bridge* mosfet bila tanpa menggunakan beban.

Gambar 4.5 dan 4.6 juga menunjukkan bahwa hampir tidak terjadi tegangan *overshoot* seperti yang terjadi pada saat rangkaian inverter dibebankan dengan lampu pijar. Hal tersebut terjadi karena lampu hemat energi merupakan beban kapasitif yang didalamnya terdapat komponen kapasitor yang dapat mengurangi arus induksi yang terjadi pada transformator.

2. Sinyal Tegangan Keluaran Transformator/Tegangan pada Beban Lampu Hemat Energi



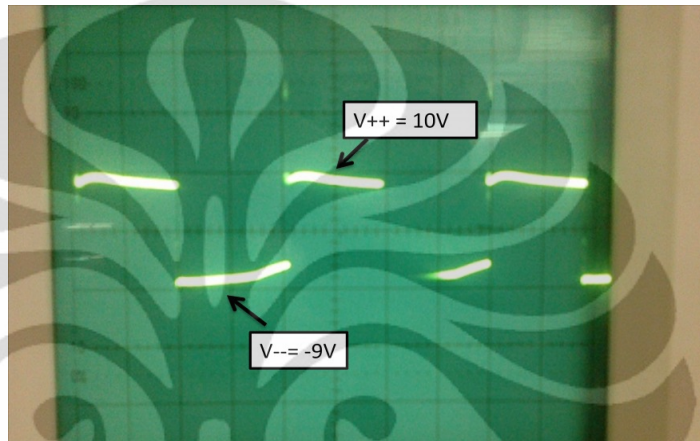
Gambar 4. 8 Sinyal Tegangan pada Beban Lampu Hemat Energi 8 Watt



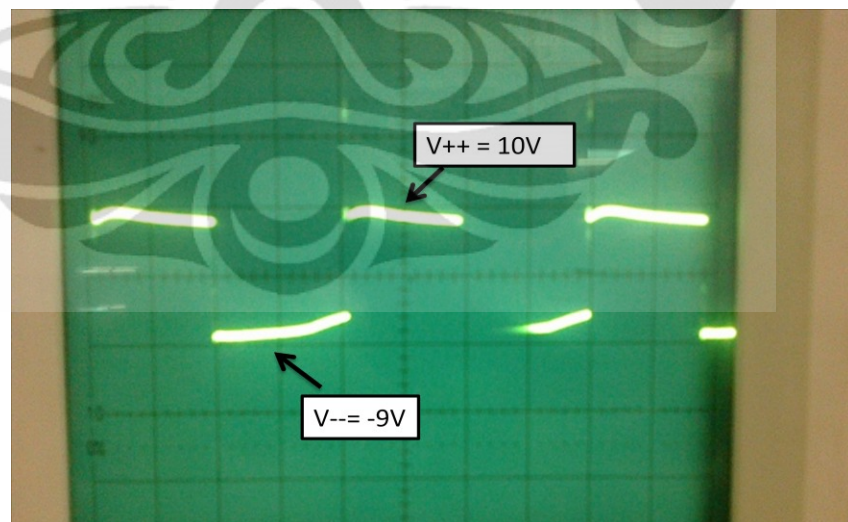
Gambar 4. 9 Sinyal Tegangan pada Beban Lampu Hemat Energi 20 Watt

Gambar 4.7 dan 4.8 menunjukkan bentuk gelombang sinyal tegangan yang terukur pada beban lampu hemat energi. Tegangan yang terukur pada beban lampu hemat energi 8 W sebesar 130 Volt, sedangkan tegangan pada lampu hemat energi 20 W sebesar 150 Volt.

### 3. Lampu Pijar vs Lampu Hemat Energi



Gambar 4. 10 Sinyal Tegangan Masukan Transformator untuk Beban Lampu Pijar 5 Watt

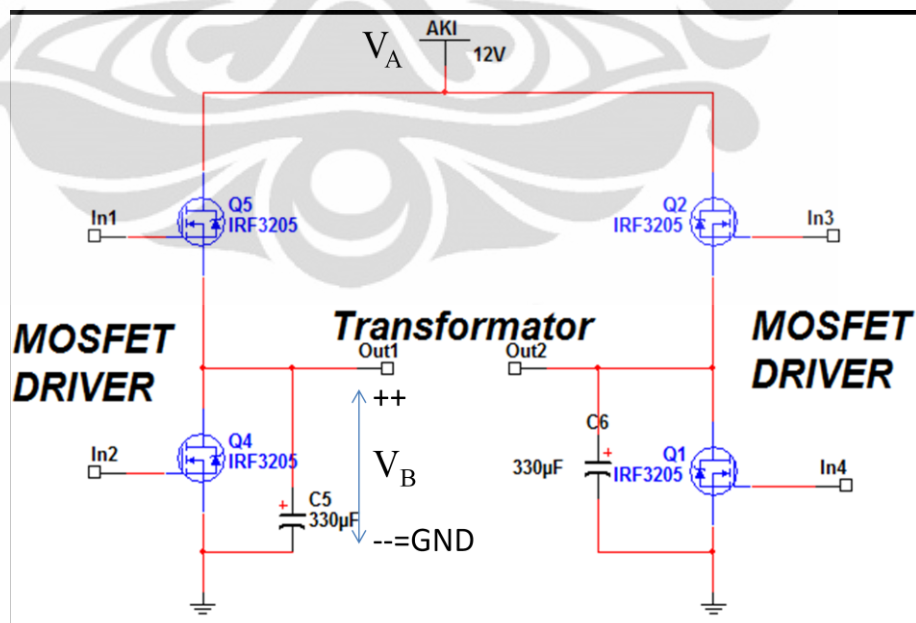


Gambar 4. 11 Sinyal Tegangan Masukan Transformator untuk Beban Lampu Hemat Energi 8 Watt

Gambar 4.9 dan 4.10 memperlihatkan bentuk gelombang sinyal tegangan pada beban lampu pijar dan lampu hemat energi. Bila dibandingkan antara input transformator dengan beban lampu pijar 10W dan dengan beban lampu hemat energi 8W, bentuk sinyal masukan berbeda. Perbedaan tersebut terletak pada tegangan sesaat yang terjadi pada masukan transformator. tegangan puncak yang terjadi sesaat pada lampu pijar terjadi karena arus induksi yang disebabkan oleh lilitan primer transformator. Karena beban lampu pijar merupakan beban resistif, beban tersebut tidak dapat mengurangi efek arus induksi tersebut sehingga muncul tegangan sesaat tersebut.

#### 4.3.2 Daya

Pengukuran tegangan dan arus dilakukan pada aki, primer trafo dan sekunder trafo atau beban. Pada Gambar 4.11,  $V_A$  adalah titik pengukuran untuk tegangan aki dan  $V_B$  adalah titik pengukuran untuk tegangan pada primer transformator. Hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 3 dan tabel 4.



Gambar 4. 12 Pengukuran Tegangan Aki ( $V_A$ ) dan Tegangan pada Primer Trafo ( $V_B$ )

Tabel 3 Tegangan, Arus, dan Daya pada Aki dengan Variasi Beban

No.	Beban	$V_A$ Tegangan Aki (Volt)	Arus aki (Ampere)	Daya aki (Watt)
1	Lampu Pijar 5W	12	2,3	27,6
2	Lampu Pijar 10W	12	2,4	28,8
3	Lampu Hemat Energi 8W	12	1,9	22,8
4	Lampu Hemat Energi 20W	12	2,8	33,6

Tabel 4 Tegangan, Arus, dan Daya pada Primer Transformator dengan Variasi Beban

No.	Beban	$V_B$ Tegangan pada Primer Trafo (Volt)	Arus pada Primer Trafo (Ampere)	Daya pada Primer Trafo (Watt)
1	Lampu pijar 5W	9	2,3	20,7
2	Lampu pijar 10W	9	2,4	21,6
3	Lampu Hemat Energi 8W	9	1,9	17,1
4	Lampu Hemat Energi 20W	9	2,8	25,2

Berdasarkan Gambar 4.11,  $V_A$  sama dengan tegangan pada *drain* MOSFET, sedangkan  $V_B$  sama dengan tegangan pada *source* MOSFET. Dari nilai  $V_A$  dan  $V_B$ , nilai  $V_{DS}$  MOSFET dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (5.4)

$$V_{DS} = V_A - V_B \dots\dots\dots (4.4)$$

Tabel 5 Nilai  $V_{DS}$  dengan Variasi Beban

No.	Beban	$V_A$	$V_B$	$V_{DS}$
1	Lampu Pijar 5W	12	9	3
2	Lampu Pijar 10W	12	9	3
3	Lampu Hemat Energi 8W	12	9	3
4	Lampu Hemat Energi 20W	12	9	3

Berdasarkan Tabel 5, dapat dikatakan bahwa semakin besar beban yang dibebankan pada rangkaian inverter, maka semakin kecil  $V_{DS}$  pada



MOSFET. Hal tersebut berarti daya yang hilang pada MOSFET pun semakin berkurang sehingga MOSFET tidak menjadi panas.

Bila dibandingkan antara  $V_{DS}$  dengan arus yang mengalir pada MOSFET, semakin besar arus yang mengalir pada MOSFET, maka semakin kecil  $V_{DS}$ . Hal tersebut terjadi karena resistansi internal pada MOSFET semakin kecil sehingga  $V_{DS}$  pun semakin kecil.

Tabel 6 Tegangan, Arus, dan Daya pada Beban dengan Variasi Beban

No.	Beban	Tegangan Beban (Volt)	Arus beban (Ampere)	Daya Beban (Watt)
1	Lampu pijar 5W	110	0,042	4,62
2	Lampu pijar 10W	100	0,042	4,2
3	Lampu Hemat Energi 8W	130	0,03	3,9
4	Lampu Hemat Energi 20W	150	0,06	9

Tabel 7 Efisiensi

No.	Beban	Daya Aki (Watt)	Daya pada keluaran H-Bridge MOSFET (Watt)	Efisiensi ( $\eta$ )
1	Lampu pijar 5W	27,60	20,7	75,00
2	Lampu pijar 10W	28,80	21,6	75,00
3	Lampu Hemat Energi 8W	22,80	17,1	75,00
4	Lampu Hemat Energi 20W	33,60	25,2	75,00

Pada Tabel 7, dapat dilihat bahwa efisiensi keluaran *H-Bridge* MOSFET dapat mencapai 75%. Efisiensi tersebut melebihi efisiensi pada inverter dengan menggunakan penguat kelas B yaitu sebesar 50%<sup>[3]</sup>. Namun, berdasarkan teori, seharusnya efisiensi penguat H-Bridge MOSFET dapat mencapai 90%. Perbedaan nilai efisiensi tersebut terjadi karena adanya power losses pada MOSFET.

Pada percobaan rangkaian inverter saat pembebanan, pin bagian primer trafo yang digunakan adalah 0-12 Volt, sedangkan pin bagian sekunder trafo yang digunakan adalah 0-220V. Jadi, rasio tegangan antara sekunder dengan primer trafo adalah 18.33. Berdasarkan Tabel 4 dan

Tabel 6, dapat dibandingkan tegangan pada primer trafo dengan tegangan pada sekunder trafo atau beban.

Tabel 8 Tegangan pada Primer Trafo vs Tegangan Beban

No.	Beban	$V_B$ Tegangan pada Primer Trafo (Volt)	Tegangan Beban (Volt)	$V_{\text{sekunder}}/V_{\text{primer}}$
1	Lampu pijar 5W	9	110	12,22
2	Lampu pijar 10W	9	100	11,11
3	Lampu Hemat Energi 8W	9	130	14,44
4	Lampu Hemat Energi 20W	9	150	16,67

Berdasarkan Tabel 8, rasio tegangan sekunder dengan tegangan primer pada percobaan tidak sesuai dengan teori. Hal tersebut terjadi dikarenakan adanya daya disipasi pada transformator sehingga daya yang ditransfer transformator hanya sebagian. Daya disipasi tersebut dikonversi menjadi panas pada transformator.

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan dari tulisan ini antara lain:

1. Dengan menggunakan penguat akhir *H-Bridge* MOSFET pada inverter 12 VDC ke 220 VAC 50 Hz ini, didapatkan efisiensi lebih dari 50%. Efisiensi tersebut lebih besar dibandingkan efisiensi penguat akhir kelas B pada inverter tradisional yang memiliki efisiensi maksimum sebesar 50%.
2. Dengan menggunakan *Pulse Width-Modulation* (PWM) sebagai pemabangkit sinyal bergelombang, penggunaan penguat akhir *H-Bridge* MOSFET tersebut diharapkan lebih efisien. Selain itu, proses penyaringan komponen harmonik dapat lebih baik.
3. Struktur filter belum berhasil di uji coba dalam skripsi ini. Namun, dengan menggunakan struktur filter yang diajukan pada subbab 3.6, karakteristik keluaran diharapkan dapat mendekati gelombang sinusoidal.
4. Dalam skripsi ini, rangkaian inverter 12 V<sub>DC</sub> ke 220 V<sub>AC</sub> 50Hz dengan penguat *H-Bridge* MOSFET telah berhasil difabrikasi dan inverter tersebut dapat menyalakan lampu hemat energi hingga daya 20 Watt dengan tegangan sebesar 150 V dan arus sebesar 60mA.

#### **5.2 Penelitian Selanjutnya**

Bagan filter merupakan bagan yang sangat penting untuk meningkatkan efisiensi inverter karena energi yang terbawa oleh komponen harmonik tinggi dapat ditekan atau dikurangi. Untuk beban mekanik seperti motor, pengurangan komponen harmonik ini sangatlah penting sehingga penggunaan filter sangat diperlukan.

## DAFTAR REFERENSI

- [1] Crowley, Ian F. dan Ho Fong Leung. *PWM Techniques: A Pure Sine Wave Inverter*. 2010-2011 Worcester Polytechnic Institute Major Qualifying Project. 2011.
- [2] Doucet, Jim, Dan Eggleston, dan Jeremy Shaw. *DC/AC Pure Sine Wave Inverter*. Worcester Polytechnic Institute. 2007.
- [3] Honda, Jun dan Jonathan Adams. *Application Note AN-1071” Class D Audio Amplifier Basics”*. <http://www.irf.com/technical-info/appnotes/an-1071.pdf>, diakses pada tanggal 25 Desember 2011 jam 15.00 WIB.
- [4] *Pulse-width modulation*. <http://fab.cba.mit.edu/classes/MIT/961.04/topics/pwm.pdf>, diakses pada tanggal 11 Desember 2011 jam 11.05 WIB
- [5] Mancini, Ron. *Op-Amps For Everyone*. Texas Instrument. 2001.
- [6] International Rectifier. *IRF3205 HEXFET Power MOSFET*. California, USA. 2001
- [7] Chapman, Stephen J. *ELECTRIC MACHINERY FUNDAMENTALS FOURTH EDITION*. McGraw-Hill, USA. 2005
- [8] K.S.Oh. *AN9010 MOSFET Basics*. <http://www.fairchildsemi.com/an/AN/AN-9010.pdf>, diakses pada tanggal 23 Desember 2011 jam 16.02 WIB
- [9] *Unclamped Inductive Switching (UIS) Test and Rating Methodology*. <http://www.greatwallsemi.com/AppNotes/UIS.pdf>, diakses pada tanggal 26 Desember 2011 jam 15.00 WIB.