

# RANCANG BANGUN KONVERTER DC-DC RESONANSI SERI

SKRIPSI

untuk memenuhi salah satu persyaratan  
mencapai derajat Sarjana S1



**Disusun oleh:**

**Arridha Amrad**

**14524085**

**Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Islam Indonesia  
Yogyakarta  
2018**

# LEMBAR PENGESAHAN

## LEMBAR PENGESAHAN

### RANCANG BANGUN KOVERTER DC-DC RESONANSI SERI



Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik  
pada Program Studi Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Islam Indonesia

Disusun oleh:

Arridha Amrad

14524085

الجامعة الإسلامية  
الاستاذة Arridha Amrad

Yogyakarta, 10 Oktober 2018

Menyetujui,

Pembimbing 1

Firmansyah Nur Budiman, S.T., M.Sc.

NIK: 145240501

# LEMBAR PENGESAHAN

## LEMBAR PENGESAHAN

### SKRIPSI

#### RANCANG BANGUN KONVERTER DC-DC RESONANSI SERI

Dipersiapkan dan disusun oleh:

**Arridha Amrad**

**14524085**

Telah dipertahankan di depan dewan penguji

Pada tanggal: 23 Oktober 2018

Susunan dewan penguji

Ketua Penguji : Firmansyah Nur Budiman, S.T., M.Sc.,

Anggota Penguji 1: Setyawan Wahyu Pratomo, S.T., M.T.,

Anggota Penguji 2: Husein Mubarak, S.T., M.Eng.,

Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan  
untuk memperoleh gelar Sarjana

Tanggal: 23 Oktober 2018

Ketua Program Studi Teknik Elektro



**Yusuf Aziz Amrullah, S.T., M.Sc., Ph.D.**

**045240101**

## PERNYATAAN

## PERNYATAAN

Dengan ini Saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini tidak mengandung karya yang diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan Saya juga tidak mengandung karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.
2. Informasi dan materi Skripsi yang terkait hak milik, hak intelektual, dan paten merupakan milik bersama antara tiga pihak yaitu penulis, dosen pembimbing, dan Universitas Islam Indonesia. Dalam hal penggunaan informasi dan materi Skripsi terkait paten maka akan diskusikan lebih lanjut untuk mendapatkan persetujuan dari ketiga pihak tersebut diatas.

Yogyakarta, 10 Oktober 2018



Arridha Amrad

## KATA PENGANTAR



Puji dan syukur penulis ucapkan atas kehadiran Allah Subhanahu wa ta'ala yang telah melimpahkan kasih dan sayang-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini untuk mendapatkan gelar sarjana teknik pada Fakultas Teknologi Industri (FTI) Program Studi Teknik Elektro di Universitas Islam Indonesia. Shalawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada Baginda Besar Nabi Muhammad SAW. Di dalam pengerjaan tugas akhir ini telah melibatkan banyak pihak yang sangat membantu dalam banyak hal. Oleh karena itu, penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada :

1. **Bapak Yusuf Aziz Amrullah, S.T., M.Sc., Ph.D.** selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Industri, Universitas Islam Indonesia.
2. **Bapak Medilla Kusriyanto, ST., M.Eng.** selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Industri, Universitas Islam Indonesia.
3. **Bapak Firmansyah Nur Budiman, ST., M.Sc.** selaku Dosen Pembimbing tugas akhir yang telah membimbing, memotivasi dan memberikan banyak masukan di tugas akhir ini.
4. **Orang Tua Bapak Amril dan Ibu Ratna Dewita** yang selalu mendoa'kan dan mendukung penulis.
5. **Keluarga** yang selalu memberikan do'a dan memotivasi penulis.
6. **Teman-teman Angkatan 2014 Jurusan Teknik Elektro** yang telah menemani penulis selama menempuh masa-masa perkuliahan.

Yogyakarta, 10 Oktober 2018

Penulis

Arridha Amrad

## ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

AC	<i>Alternating Curent</i>
$C_r$	<i>Resonant Capacitor</i>
DC	<i>Direct Curent</i>
FHA	<i>First Harmonic Analysis</i>
$f_r/\omega_r$	<i>Resonant Frequency</i>
$f_s/\omega_s$	<i>Switching Frequency</i>
IC	<i>Integrated Circuit</i>
$I_{DS}$	<i>Drain to source current</i>
kHz	<i>Kilo Hertz</i>
$L_r$	<i>Resonant Inductor</i>
MHz	<i>Mega Hertz</i>
MOSFET	<i>Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transisor</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
Q	<i>Quality factor</i>
$V_{in}$	<i>Input voltage</i>
$V_{DS}$	<i>Drain to source voltage</i>
$V_{DC}$	<i>DC voltage</i>
$V_{max}$	<i>Maximum voltage</i>
$V_{min}$	<i>Minimum voltage</i>
$V_{TOP}$	<i>Steady state upper voltage</i>
$V_{BASE}$	<i>Steady state lower voltage</i>
UF	<i>Ultra Fast</i>
W	<i>Watt</i>
$X_C$	<i>Capacitor Reactance</i>
$X_L$	<i>Inductor Reactance</i>
ZCS	<i>Zero Current Switching</i>
ZVS	<i>Zero Voltage Switching</i>
$\mu$	<i>mikro</i>
$\omega_n$	<i>Normalized switching frequency</i>

## ABSTRAK

Inovasi di bidang elektronika daya terus dilakukan untuk mendapatkan sebuah desain konverter yang memiliki efisiensi tinggi, ringan, kecil dan murah. Parameter efisiensi konverter sering terkendala oleh kehadiran *switching losses*. Dalam skripsi ini dibuat konverter DC-DC resonansi seri tipe pensaklaran jembatan penuh. Konverter resonansi beroperasi dalam mode *high frequency and soft switching*. Mode tersebut merupakan salah satu metode yang dikembangkan untuk mengatasi kendala rugi-rugi pensaklaran saat *switching* berlangsung. Pengujian performa konverter DC-DC resonansi seri dilakukan dengan variasi tegangan input 20 V – 30 V dan frekuensi *switching* 10 kHz – 100 kHz dengan *quality factor* 1,771. Hasil pengujian menunjukkan bahwa konverter berfungsi sebagai penurun tegangan. Output maksimal konverter bernilai sekitar setengah tegangan inputnya dan dicapai saat frekuensi *switching* 40 kHz dengan efisiensi 50%. Di dalam penelitian ini juga disertakan uji pengaplikasian konverter untuk mensuplai beban-beban listrik. Beban listrik yang diujikan adalah bor listrik dengan spesifikasi operasional pada tegangan 12 V. Hasil pengujian menunjukkan efisiensi konverter saat terhubung ke bor listrik bernilai 43%.

*Kata kunci : konverter, resonansi, switching, quality factor, efisiensi.*

# DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN .....	v
ABSTRAK .....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	x
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	4
2.1 Studi Literatur .....	4
2.2 Tinjauan Teori.....	6
2.2.1 MOSFET.....	6
2.2.2 Inverter Jembatan Penuh.....	7
2.2.3 Penyearah Gelombang Penuh .....	8
2.2.4 Konverter DC-DC Resonansi Seri.....	9
BAB 3 METODOLOGI.....	12
3.1 Perancangan Konverter DC-DC Resonansi Seri .....	12
3.1.1 Perancangan Rangkaian Penguat PWM .....	14

3.1.2 Perancangan Rangkaian Inverter Jembatan Penuh .....	15
3.1.3 Perancangan Jaringan Resonansi .....	15
3.1.4 Perancangan Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh dengan Kapasitor Filter.....	17
3.2 Cara Analisa.....	18
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>19</b>
4.1 Hasil Perancangan Konverter DC-DC Resonansi Seri.....	19
4.2 Output Inverter Jembatan Penuh.....	19
4.3 Output Konverter DC-DC Resonansi Seri.....	20
4.4 Pengujian Konverter saat dihubung ke beban DC .....	27
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>30</b>
5.1 Kesimpulan .....	30
5.2 Saran .....	30
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>31</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>32</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Hubungan $I_{DS}$ dan $V_{GS}$ MOSFET .....	7
Gambar 2.2 Rangkaian Inverter Jembatan Penuh .....	7
Gambar 2.3 Rangkaian penyearah gelombang penuh .....	8
Gambar 2.4 Rangkaian konverter DC-DC resonansi seri .....	9
Gambar 2.5 Hubungan <i>gain</i> , <i>normalized frequency</i> dan <i>quality factor</i> .....	11
Gambar 3.1 Diagram blok konverter DC-DC resonansi seri .....	12
Gambar 3.2 <i>Schematic</i> Konverter DC-DC Resonansi Seri .....	13
Gambar 3.3 Rangkaian penguat PWM.....	14
Gambar 3.4 Inverter jembatan penuh .....	15
Gambar 3.5 Jaringan resonansi .....	16
Gambar 3.6 Rangkaian penyearah gelombang penuh dengan kapasitor filter .....	17
Gambar 4.1 Hasil perancangan konverter DC-DC resonansi seri.....	19
Gambar 4.2 Output inverter jembatan penuh .....	20
Gambar 4.3 Grafik perubahan tegangan output konverter terhadap variasi frekuensi <i>switching</i> .	21
Gambar 4.4 Grafik perubahan arus output konverter terhadap variasi frekuensi <i>switching</i> .....	21
Gambar 4.5 Hasil <i>switching</i> $20V_{DC}$ .....	22
Gambar 4.6 Ouput konverter saat $V_{in}$ 20V.....	22
Gambar 4.7 Hasil <i>switching</i> $25 V_{DC}$ .....	23
Gambar 4.8 Output konverter saat $V_{in}$ $25 V_{DC}$ .....	23
Gambar 4.9 Hasil <i>switching</i> $30V_{DC}$ .....	24
Gambar 4.10 Output konverter saat $V_{in}$ $30 V_{DC}$ .....	25
Gambar 4.11 Hasil <i>switching</i> $24 V_{DC}$ selama pembebanan .....	27
Gambar 4.12 Output konverter sebelum pembebanan .....	28
Gambar 4.13 Output konverter selama pembebanan .....	28

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Parameter perancangan Konverter DC-DC Resonansi Seri.....	13
Tabel 3.2 Daftar Komponen Konverter DC-DC Resonansi Seri .....	17
Tabel 4.1 Pembacaan <i>Power Supply</i> saat $V_{in}$ 20V .....	22
Tabel 4.2 Pembacaan <i>Power Supply</i> saat $V_{in}$ 25V .....	24
Tabel 4.3 Pembacaan <i>Power Supply</i> saat $V_{in}$ 30 V .....	25
Tabel 4.4 Output konverter DC-DC resonansi seri saat $V_{in}$ 20 V .....	26
Tabel 4.5 Output konverter DC-DC resonansi seri saat $V_{in}$ 25 V .....	26
Tabel 4.6 Output konverter DC-DC resonansi seri saat $V_{in}$ 30 V .....	27
Tabel 4.7 Pembacaan <i>Power Supply</i> (sisi input) sebelum dan selama pembebanan.....	28
Tabel 4.8 Perubahan output konverter sebelum dan selama pembebanan.....	29

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Berbagai jenis peralatan elektronik yang dijumpai saat ini dioperasikan oleh sumber tenaga satu arah (DC). Sumber tenaga DC dapat disediakan dalam wujud baterai, aki atau *power supply*. Sumber tersebut harus bekerja dengan baik agar peralatan elektronik dapat beroperasi secara optimal. Oleh karena itu, penyediaan sumber tenaga DC menjadi tantangan tersendiri yang menarik disamping sangat dekat dengan keperluan sehari-hari.

Teknologi penyediaan tenaga DC terus berkembang dari waktu ke waktu. Di awal perkembangannya, teknologi penyediaan tenaga DC menggunakan pipa vakum. Peralatan ini memiliki dimensi yang cukup besar dan berpotensi membahayakan karena bertegangan tinggi. Kemudian terus berkembang hingga ditemukannya teknologi *solid state*. Teknologi *solid state* memiliki ukuran yang lebih kecil dan lebih aman karena penggunaan kapasitas tegangan yang lebih rendah.

Seiring berjalannya waktu, kemajuan teknologi penyediaan tenaga DC semakin berkembang. Teknik pengolahan daya yang semakin baik membuat peralatan yang digunakan memiliki dimensi fisik yang semakin kecil. Awalnya, metode yang digunakan adalah tipe linear. Metode ini bercirikan penggunaan transformer 50/60 Hz sebagai pengolah frekuensi, dilanjutkan ke peroses penyearah, penyaringan (filtering) dan berakhir pada pengatur linier. Penggunaan transformer 50/60 Hz membuat alat penyedia daya DC ini memiliki dimensi yang cukup besar.

Sebuah konverter DC-DC idealnya memiliki efisiensi 100% . Hal ini mengindikasikan bahwa daya keluaran memiliki nilai yang sama terhadap daya outputnya, atau dengan kata lain tidak terjadi *losses power* saat proses konversi berlangsung. Berdasarkan output tegangan keluarannya, konverter DC-DC dibagi menjadi tiga jenis yaitu : penaik tegangan, penurun tegangan, dan penaik/penurun tegangan. Pada umumnya sebuah konverter DC-DC dihubungkan ke beban elektronik. Beban elektronik idealnya memiliki *power factor* bernilai satu. Namun, nyatanya sebuah konverter tidak dapat memiliki efisiensi 100 %.

Mekanisme pensaklaran yang tidak sempurna menjadi faktor utama timbulnya *switching losses* [1] . Komponen yang bekerja sebagai saklar pada konverter selalu *turn on* atau *off* terus menerus pada waktu yang sangat cepat. Saat transisi antara *on* atau *off* tegangan dan arus bernilai *nonzero*. Sebagai akibat naiknya frekuensi *switching*, kondisi transisi ini muncul lebih sering dan rugi daya rata-rata peralatan tersebut semakin besar. Sebaliknya, *high switching frequencies*

sangat diperlukan untuk menurunkan ukuran komponen *filter* dan *transformer* sehingga dapat mengurangi ukuran dan berat sebuah konverter [2].

Rugi-rugi daya yang timbul sebagai akibat transisi *on* atau *off* dapat ditanggulangi menggunakan *resonant switching* [1]. Di dalam *resonant switching circuit*, pensaklaran terjadi saat tegangan dan arus bernilai nol. Hal ini dapat dijadikan sebagai jalan keluar untuk menghindari transisi berkelanjutan dari tegangan dan arus yang dapat menyebabkan *switching losses*. Metode *switching* ini dikenal juga sebagai *soft switching*. Metode *soft switching* akan dijadikan sebagai solusi untuk mengatasi *power losses* yang timbul saat *switching* berlangsung.

Berdasarkan informasi diatas, peneliti berasumsi bahwa keunggulan penerapan *high switching frequency* yang dikombinasikan dengan metode *soft switching* dapat mewujudkan konverter yang berdimensi kecil namun memiliki efisiensi yang tinggi. Oleh karena itu, di dalam penelitian ini peneliti merancang sebuah konverter DC-DC yang menerapkan prinsip *high frequency and soft switching*. Metode ini dapat digunakan untuk mendesain konverter penurun tegangan DC. Konfigurasi konverter resonansi yang dapat digunakan sebagai penurun tegangan adalah konfigurasi resonansi seri. Sehingga, rancang bangun konverter DC-DC resonansi seri ini dapat dipandang sebagai suatu hal yang menarik dan di sisi lain akan menjadi sangat aplikatif mengingat inovasi yang terus dilakukan di dalam pengembangan kelistrikan DC.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana merancang konverter DC-DC resonansi seri?
2. Bagaimanakah performa konverter DC-DC resonansi seri?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah untuk penelitian ini adalah :

1. Tegangan input yang masuk ke konverter bernilai maksimal  $30 V_{DC}$ .
2. Daya output maksimal konverter 20 Watt.
3. Kontrol PWM menggunakan Arduino Uno R3
4. Frekuensi PWM yang diterapkan 10 kHz – 100 kHz.
5. *Duty cycle* masing-masing frekuensi 50%.
6. Beban DC yang dapat dihubung kekonverter tidak lebih dari 20 W dan beroperasi pada tegangan maksimal  $15 V_{DC}$ .

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah :

1. Merancang konverter DC-DC resonansi seri.
2. Menganalisa performa konverter DC-DC resonansi seri.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini adalah :

1. Dapat merancang konverter yang memiliki efisiensi tinggi.
2. Dapat mengetahui karakteristik konverter DC-DC resonansi seri.
3. Dapat memberikan inovasi di dalam perancangan konverter DC-DC resonansi seri.

## BAB 2

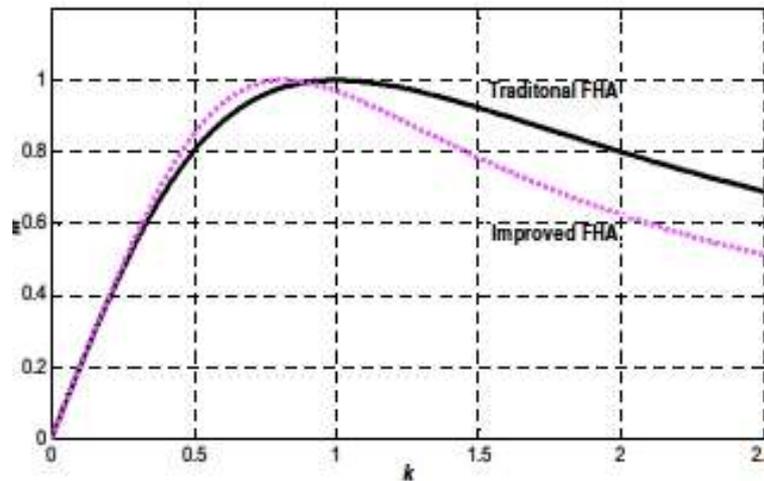
### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Studi Literatur

Penelitian tentang konverter DC-DC resonansi seri telah dilakukan oleh Yasser Nour, Arnold Knott dan Lars Petersen [2]. Penelitian ini memanfaatkan *soft switching half bridge series resonant converter* untuk mewujudkan konverter DC-DC berfrekuensi tinggi. Inverter didesain menggunakan EPC8010 *galium nitride* dan *gate drivernya* adalah LM5113. Pada *resonant tank* dipasang kapasitor keramik 4,7 nF dan induktor tipe *air core* yang bernilai 491 nH. Rangkaian penyearah yang digunakan adalah penyearah setengah gelombang dengan memanfaatkan dioda Schottky. Sisi output konverter dipasang beban yang memiliki resistansi sebesar 50  $\Omega$ . Hasil pengujian konverter menunjukkan bahwa efisiensi tertinggi konverter dicapai saat *switching* 6 MHz yang mampu mengkonversi 57 V<sub>DC</sub> menjadi 34 V<sub>DC</sub> berdaya 23 W. Di samping itu, frekuensi *switching* 8 MHz konverter mengkonversi 57 V<sub>DC</sub> menjadi 24,7 V<sub>DC</sub> berdaya 12 W.

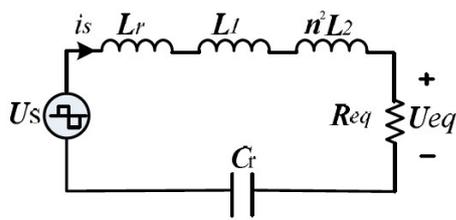
Madhumita Saikia dan Binvy Moly Tom telah melakukan penelitian dengan judul Konverter resonansi seri untuk mengontrol HBLED (*High-Brightness LEDs*) [3]. Konverter resonansi ini difungsikan sebagai pengatur arus bagi *DC bus* dan LED, sehingga dapat mengatur intensitas terangnya LED. Satu unit LED membutuhkan daya 3 W. LED yang digunakan sebanyak 8 unit terhubung seri. Desain konverter resonansi ini menggunakan *full bridge inverter* dengan MOSFET IRF540 sebagai *switch* yang mengkonversi V<sub>DC</sub> menjadi V<sub>AC</sub>. PWM yang mengatur pensaklaran dikendalikan oleh UC3815. Frekuensi *switching* diset pada nilai 100 kHz. Pada sisi jaringan resonansi ditempatkan induktor 51,26  $\mu$ H dan kapasitor 0,1 $\mu$ F dengan demikian frekuensi resonansinya bernilai 58,6 kHz. Topologi penyearah adalah penyearah gelombang penuh menggunakan dioda MUR160. Output konverter dihubungkan ke beban dengan resistansi 9,19  $\Omega$ . Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah saat tegangan input 24 V<sub>DC</sub> konverter memiliki efisiensi diatas 96% dengan daya output bernilai 20 W.

Lin Wu, Jun Wang, Z.Liu dan Shutian Zhang telah melakukan penelitian dengan judul analisa dan desain konverter seri LC dengan mempertimbangkan efek *parasitic component* [4]. Desain *LC series-resonant converter* dalam penelitian ini didasarkan pada dua parameter yaitu, rasio trafo N1/N2 dan *quality factor* Q pada jaringan resonansi. Peneliti beranggapan bahwa *traditional design* yang didasarkan pada metode FHA (*first harmonic analysis*) masih menyimpang karena mengabaikan *parasitic components* seperti induktansi bocor pada trafo frekuensi tinggi. Gambar 2.3 menampilkan perbaikan *quality factor* Q setelah mempertimbangkan induktansi bocor pada trafo.



Gambar 2.3 Perbaikan *quality factor*

Desain konverter resonansi yang dirancang peneliti menggunakan pensaklaran jembatan penuh dengan frekuensi *switching* MOSFET 20 kHz. Pemodelan *LC series-resonant converter* yang sebenarnya menurut penelitian ini ditampilkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Rangkaian *equivalent LC series resonant converter*

Pada bagian jaringan resonansi peneliti menempatkan kapasitor 4,4  $\mu\text{F}$  sehingga membutuhkan 12  $\mu\text{H}$  induktor. Setelah pengujian trafo, total induktansi bocor lilitan primer dan sekunder trafo bernilai 3,4  $\mu\text{H}$ . Sehingga, digunakan induktor bernilai 8,6  $\mu\text{H}$ . Rasio transformer  $N1/N2 = 310/200$ . Hasil penelitian ini mendapatkan bahwa tegangan input 300 - 350  $\text{V}_{\text{DC}}$  berhasil dikonversi menjadi 190 - 210  $\text{V}_{\text{DC}}$  berdaya 3 kW.

Yu Kang Lo, Chung Yi Lin, Min Tsong Hseih dan Chien Yu Lin telah melakukan penelitian yang berjudul Koverter DC-DC resonansi seri jembatan penuh fasa tertukar [5]. Pengendali *duty cycle* fasa tertukar dengan ZVS pada frekuensi *switching* tertinggi ditujukan untuk dapat meregulasi tegangan output pada beban-beban ringan. Peneliti menggunakan *full bridge inverter* dengan kendali PWM menggunakan TI UC3879. Duty cycle modulation dikendalikan oleh  $V_{\text{duty}}$ , tegangan pada pin COMP. Sisi jaringan resonansi ditempati oleh induktor 39  $\mu\text{H}$  dan kapasitor 220 nF sehingga frekuensi resonansinya bernilai 54,3 kHz. Hasil dari pengujian konverter yang didapatkan adalah saat  $V_{\text{in}} = 380 \text{ V}_{\text{DC}}$  dikonversi pada 55,9 kHz memberikan output 48V/42A/2000W dengan efisiensi 94,93%. Setelah itu, saat frekuensi *switching* 100 kHz

memberikan output 48,1V/5A/240W dengan efisiensi 94,72%. Kemudian, saat frekuensi *switching* 74 kHz memberikan output 48V/15A/720W.

Alief Makmuri Hartono, Mochammad Facta dan Yuningtyastuti telah melakukan penelitian yang berjudul Perancangan Konverter DC-DC Resonansi Beban Seri [6]. Penelitian ini mengamati tiga model operasi konverter resonansi seri yang terdiri dari model operasi konduksi diskontinyu ( $\omega_s < \frac{1}{2}\omega_o$ ) model operasi konduksi kontinyu ( $\frac{1}{2}\omega_o < \omega_s < \omega_o$ ) dan mode operasi konduksi kontinyu ( $\omega_s < \omega_o$ ). Pengukuran tegangan output dilakukan dengan empat variasi harga Q, yaitu  $Q = 1,39$ ,  $Q = 0,8$ ,  $Q = 0,55$ , dan  $Q = 0,37$ . Tegangan input yang diujikan kerangkaian bernilai 12 V<sub>DC</sub>. Rangkaian konverter peneliti menggunakan IC 4047 sebagai kendali PWM untuk mengoperasikan dua MOSFET IRFZ44N. Pada bagian jaringan resonansi peneliti menempatkan kapasitor milar 15 nF dan induktor 2,1 mH sehingga frekuensi resonansinya bernilai 28,36 kHz. Sisi penyearah menggunakan topologi *half wave* dengan dioda FR105. Kapasitor jenis elco 2200 $\mu$ F/50V ditempatkan setelah penyearah sebagai kompensator terhadap tegangan *ripple* yang biasa muncul. Hasil yang didapatkan adalah konverter resonansi seri hanya dapat digunakan sebagai penurun tegangan. Tegangan output tertinggi sebesar 10,54 V dicapai saat frekuensi *switching* 30 kHz pada harga  $Q = 0,37$ . Sedangkan tegangan output terendah sebesar 3,18 V didapat saat frekuensi *switching* 5 kHz pada harga  $Q = 1,39$ .

## 2.2 Tinjauan Teori

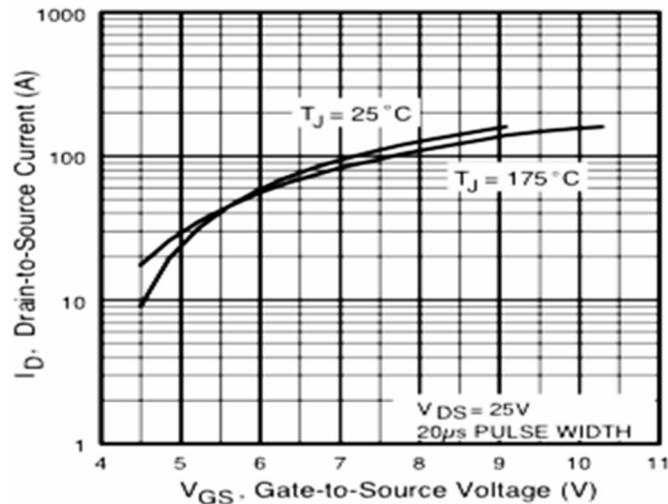
Tinjauan teori ini berisi poin-poin terkait MOSFET, inverter jembatan penuh dan penyearah gelombang penuh karena perancangan konverter DC-DC resonansi seri dilakukan dengan melibatkan poin-poin tersebut.

### 2.2.1 MOSFET

*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor* (MOSFET) merupakan jenis transistor yang bekerja atas kendali tegangan dan membutuhkan arus masukan bernilai kecil [7]. Hal ini memberikan suatu keuntungan karena pemicuan MOSFET tidak membutuhkan daya yang besar. Kemampuannya yang dapat melakukan *switching* dalam waktu yang sangat cepat (orde nanodetik) membuat MOSFET banyak digunakan pada rangkaian konverter frekuensi tinggi berdaya rendah. Pada suatu rangkaian konverter, MOSFET digunakan sebagai *switch*. *Switching* frekuensi tinggi MOSFET dapat terjadi dengan mengkondisikannya dalam “*on triode* atau *saturation region*”.

MOSFET memiliki tiga kaki yang menjadi gerbang terminal yaitu *gate*, *drain* dan *source*. Kondisi saturasi MOSFET terjadi ketika *gate-to-source voltage* lebih besar daripada *threshold*

voltage ( $V_{GS} > V_{Th}$ ) dan disaat yang bersamaan  $V_{DS} > V_{GS} - V_{Th}$ . Arus drain ke source bernilai maksimum, sehingga MOSFET seperti sebuah *switch* tertutup (*Fully on*) [7]. Untuk lebih memahami hubungan  $I_{DS}$  dan  $V_{GS}$  dapat dilihat pada Gambar 2.1.

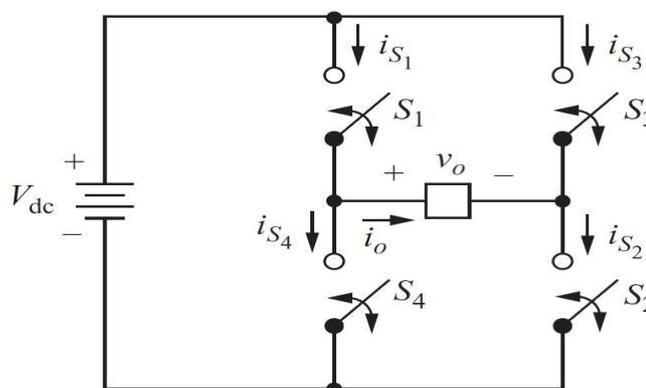


Gambar 2.1 Hubungan  $I_{DS}$  dan  $V_{GS}$  MOSFET

Grafik  $I_{DS}$  dan  $V_{GS}$  pada Gambar 2.1 diambil dari datasheet MOSFET seri IRFZ44N [8]. Gambar 2.1 menunjukkan bahwa  $I_{DS}$  bernilai maksimum pada  $V_{GS} > 9$  V, artinya MOSFET seri IRFZ44N berada pada kondisi saturasi ketika tegangan *gate* MOSFET diatas 9 V.

### 2.2.2 Inverter Jembatan Penuh

Inverter Jembatan Penuh adalah salah satu jenis konverter yang mengubah tegangan DC menjadi AC. Gambar 2.2 menunjukkan sebuah rangkaian inverter jembatan penuh [1]. Pembentukan gelombang AC dari sinyal DC dilakukan melalui sebuah teknik *switching* yang sangat cepat. Sehingga tegangan keluaran setelah *switching* menjadi  $\pm V_{DC}$ . Output  $\pm V_{DC}$  terbentuk karena saklar terhubung ke sisi + beban ketika  $S_1$  dan  $S_2$  menutup, sedangkan saat  $S_3$  dan  $S_4$  tertutup saklar terhubung ke sisi - beban.



Gambar 2.2 Rangkaian Inverter Jembatan Penuh

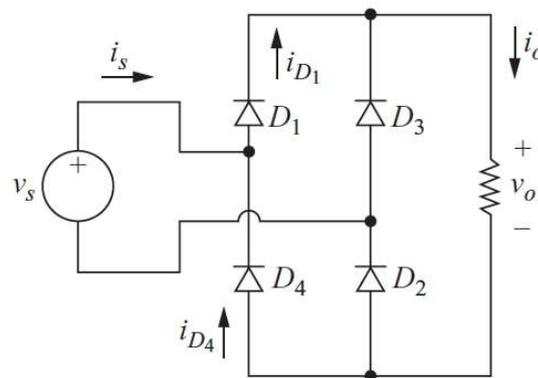
$$v_o = \pm V_{DC}$$

2.1

Teknik pensaklaran super cepat dilakukan oleh MOSFET yang bekerja atas kendali PWM. Pengendalian pensaklaran masing-masing MOSFET harus memiliki koordinasi yang sangat baik dan dalam waktu yang tepat. Karena  $S_1$  dan  $S_4$  dilarang untuk menutup pada waktu yang bersamaan demikian pula dengan  $S_2$  dan  $S_3$ . Jika hal tersebut terjadi dapat menimbulkan *short circuit* yang merusak sumber tegangan DC. Waktu yang diizinkan untuk pensaklaran disebut *blanking time* [7].

### 2.2.3 Penyearah Gelombang Penuh

Penyearah Gelombang Penuh adalah salah satu topologi penyearah yang berfungsi untuk menghasilkan tegangan atau arus DC dari sumber AC. Gambar 2.3 menampilkan susunan rangkaian penyearah gelombang penuh. Jika dibandingkan dengan topologi penyearah setengah gelombang, maka topologi penyearah gelombang penuh ini memiliki beberapa keunggulan. Arus rata-rata dari sumber AC bernilai nol. Hal ini menghindari masalah-masalah terkait dengan *nonzero average source currents*. Keluaran dari penyearah gelombang penuh juga mengandung lebih sedikit *ripple* dibanding penyearah setengah gelombang [1].



Gambar 2.3 Rangkaian penyearah gelombang penuh

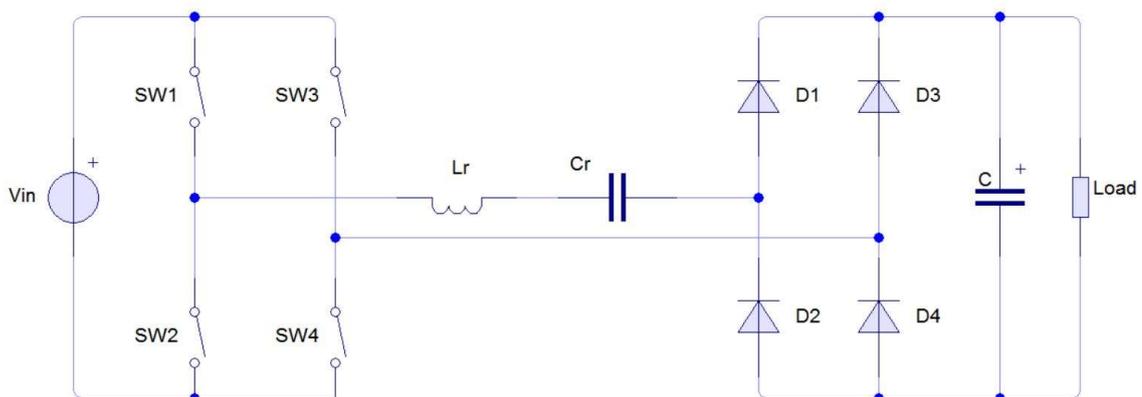
Berikut beberapa hal yang perlu diamati dari karakteristik sebuah penyearah gelombang penuh :

1. Dioda  $D_1$  dan  $D_3$  tidak boleh *on* (forward bias) dalam waktu yang sama begitu juga dengan  $D_2$  dan  $D_4$ . Arus beban dapat menjadi positif atau nol tapi tidak pernah menjadi negatif.
2. Tegangan yang melewati beban adalah  $+v_s$  ketika  $D_1$  dan  $D_2$  *on*. Tegangan yang melewati beban adalah  $-v_s$  ketika  $D_3$  dan  $D_4$  *on*.
3. Tegangan maksimum yang mampu melewati dioda *reversed-biased* adalah tegangan puncak dari sumber AC.
4. Arus rata-rata yang masuk ke penyearah bernilai nol.
5.  $I_{rms}$  dari sumber AC bernilai sama dengan  $I_{rms}$  beban.

## 2.2.4 Konverter DC-DC Resonansi Seri

Pensaklaran frekuensi tinggi adalah salah satu metode untuk mendapatkan sebuah konverter dengan dimensi yang lebih kecil dan ringan [9]. Namun, frekuensi *switching* yang tinggi berbanding lurus dengan dengan rugi-rugi *switching* [6]. Untuk mendapatkan efisiensi terbaik dari saat *switching*, teknik *soft switching* perlu diterapkan saat mengkonversi tegangan input. Konverter resonansi dapat dijadikan jalan dalam pemanfaatan teknik *soft switching* karena perilaku tegangan dan arus yang selalu bertukar saat melewati sebuah *switch*. *Soft switching* dibutuhkan tidak hanya untuk mendapatkan efisiensi yang tinggi namun juga untuk menurunkan *electromagnetic interference* (EMI) levels. Sebuah rangkaian konverter resonansi dapat didesain untuk mensuplai sebesar nilai arus dalam suatu frekuensi *switching*. *Switching frequency* dapat dijadikan sebagai parameter kontrol untuk menentukan arus keluaran konverter [2].

Daya output konverter resonansi bergantung pada jaringan resonansi [2]. Metode yang dapat dilakukan untuk mengendalikan tegangan output konverter resonansi adalah dengan mengontrol frekuensi *switching* pada inverter jembatan penuh. Gambar 2.4 menunjukkan rangkaian konverter DC-DC resonansi seri.



Gambar 2.4 Rangkaian konverter DC-DC resonansi seri

Berdasarkan Gambar 2.4, konverter resonansi bekerja dalam 3 tahap operasi. Tahap pertama adalah mengkonversi input DC menjadi output AC. Tahap kedua adalah jaringan resonansi yang dapat dimodelkan sebagai sebuah tahap konversi AC ke AC. Kombinasi tahap pertama dan kedua menghasilkan sebuah rangkaian inverter yang mengkonversi input DC menjadi output AC yang diinginkan. Tahap ketiga adalah proses penyearahan dimana output inverter dalam bentuk AC diubah kembali menjadi bentuk DC.

Jaringan resonansi terdiri dari induktor dan kapasitor yang dirangkai seri. Nilai masing-masing reaktansi adalah

$$X_L = \omega_s L_r \quad 2.2$$

$$X_C = \frac{1}{\omega_s C_r} \quad 2.3$$

dimana  $\omega_s$  didapatkan melalui persamaan

$$\omega_s = 2\pi f_s \quad 2.4$$

Frekuensi resonansi  $f_r$  yang muncul pada konverter ditentukan oleh nilai masing-masing induktor dan kapasitor yang terdapat pada jaringan resonansi. Nilai  $f_r$  ditentukan oleh persamaan

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_r C_r}} \quad 2.5$$

*Equivalent resistance* pada rangkaian konverter DC-DC resonansi seri dapat dihitung dengan persamaan

$$R_{eq} = \frac{8}{\pi^2} R_L \quad 2.6$$

*Quality factor* Q didefinisikan sebagai

$$Q = \frac{\omega_r L_r}{R_{eq}} \quad 2.7$$

*Normalized switching frequency*  $\omega_n$  didefinisikan sebagai

$$\omega_n = \frac{f_s}{f_r} \quad 2.8$$

Besarnya perbandingan antara tegangan output dan input (*gain*) konverter dapat diketahui menggunakan persamaan

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{1}{2} \left[ \frac{1}{[1 + Q^2[(\omega_s/\omega_r) - (\omega_r/\omega_s)]^2]} \right] \quad 2.9$$

Hubungan antara  $\omega_n$ , *gain*, dan Q dapat dilihat pada Gambar 2.5.

Idealnya, daya input suatu konverter bernilai sama dengan daya outputnya. Namun, munculnya tegangan jatuh  $V_{CH}$  selama *switching* dapat mempengaruhi daya output konverter [7]. Nilai daya input konverter *step down* dapat ditentukan dari

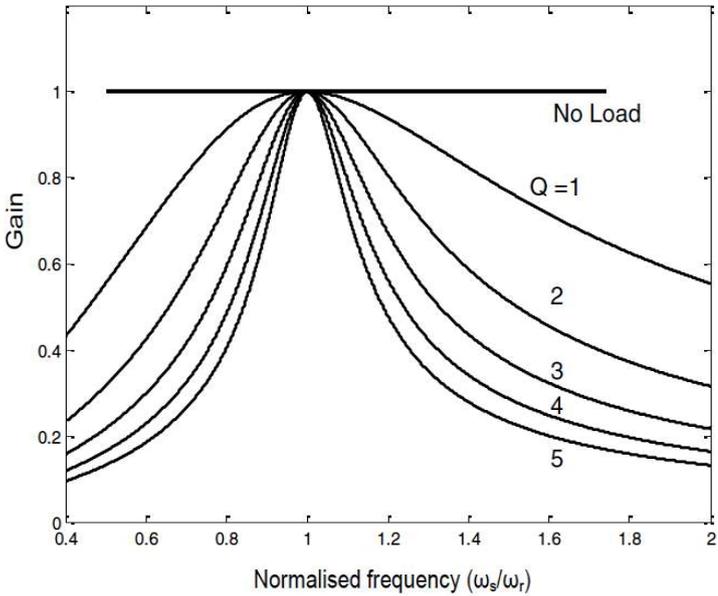
$$P_i = \frac{1}{T} \int_0^{kT} v_o I_o dt = \frac{1}{T} \int_0^{kT} \frac{V_o^2}{R_L} dt = \frac{kV_{in}^2}{R_L} \quad 2.10$$

Sedangkan nilai daya output (hasil *switching*) konverter ditentukan melalui

$$P_o = \frac{1}{T} \int_0^{kT} \frac{V_o^2}{R} dt = \frac{1}{T} \int_0^{kT} \frac{(V_{in} - V_{CH})^2}{R_L} dt = k \frac{(V_{in} - V_{CH})^2}{R_L} \quad 2.11$$

Efisiensi suatu konverter dapat diketahui melalui perbandingan daya output dan daya inputnya. Nilai efisiensi konverter dapat ditentukan dari

$$\eta = \frac{P_0}{P_i} \times 100\% \tag{2.12}$$



Gambar 2.5 Hubungan gain, normalized frequency dan quality factor

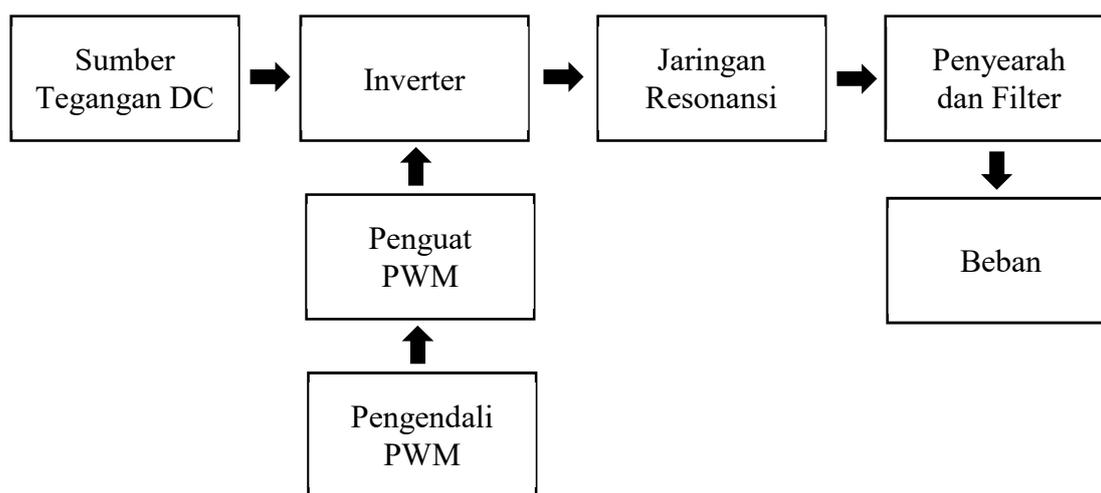
## BAB 3

### METODOLOGI

#### 3.1 Perancangan Konverter DC-DC Resonansi Seri

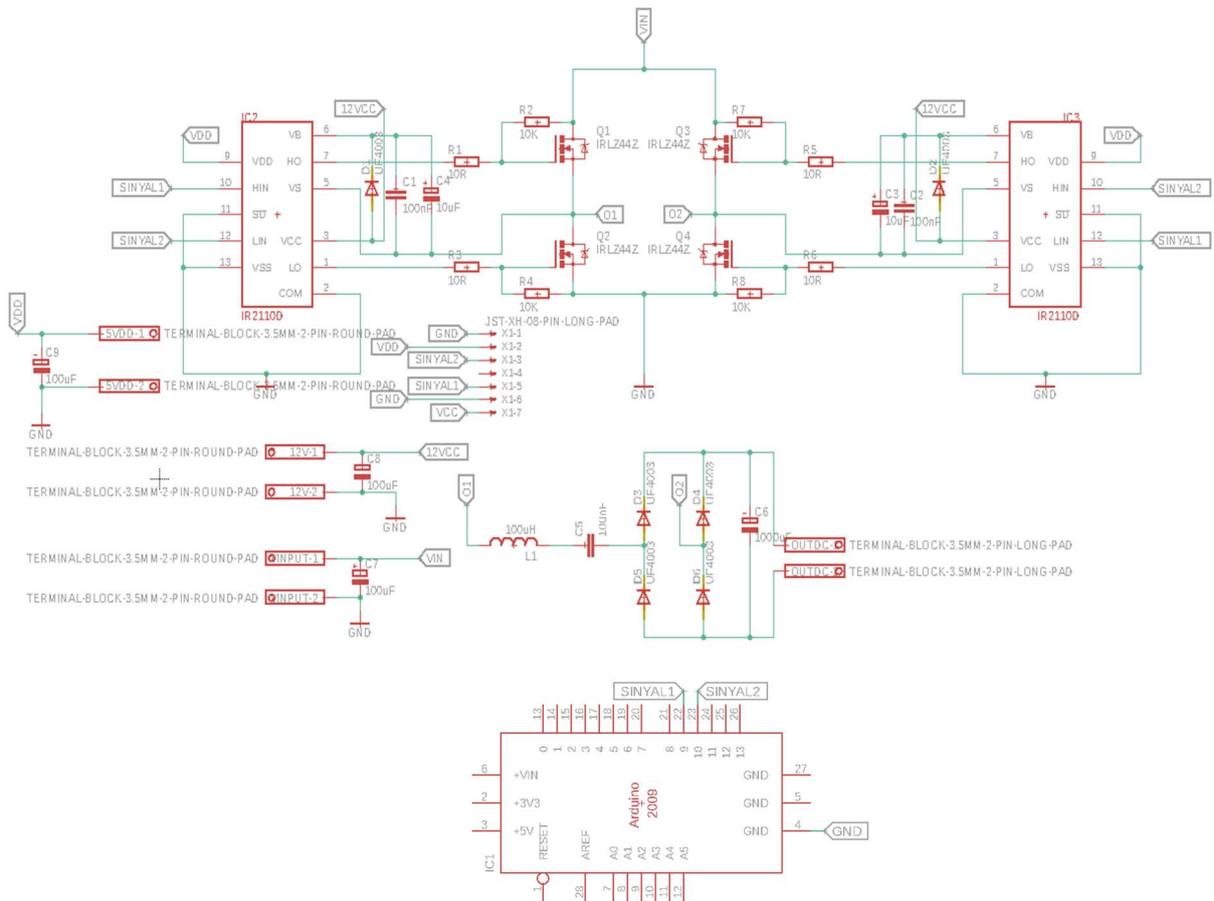
Konverter DC-DC resonansi seri dirancang dengan menggunakan tiga tahap pengoperasian. Pertama, mengkonversi tegangan input DC menjadi AC melalui pensaklaran MOSFET. Kedua, melewati gelombang AC ke sebuah jaringan resonansi. Ketiga, mengkonversi tegangan AC menjadi tegangan DC. Diagram blok kerja konverter DC-DC resonansi seri dapat dilihat pada Gambar 3.1.

Sumber tegangan DC berasal dari *power supply* dengan kapasitas maksimal 30 V. Sumber tegangan DC dilewatkan ke sebuah inverter untuk dikonversi menjadi tegangan AC. PWM yang dikendalikan oleh Arduino diteruskan ke *gate-driver* MOSFET. Hal ini dilakukan untuk memperkuat level PWM Arduino tersebut. Level PWM yang telah diperkuat mampu membuat MOSFET berada pada kondisi saturasinya (MOSFET on), sehingga MOSFET aktif dan dapat bekerja sebagai saklar elektronis. Tegangan AC hasil *switching* MOSFET diteruskan ke jaringan resonansi yang terdiri dari induktor dan kapasitor. Sinyal berfrekuensi ini harus dilewatkan ke sebuah penyearah. Output dari penyearah adalah sinyal DC. Upaya untuk mengurangi *ripple* yang terdapat pada sinyal DC dilakukan dengan melewatkannya ke sebuah kapasitor filter sebelum menuju ke beban.



Gambar 3.1 Diagram blok konverter DC-DC resonansi seri

Desain *schematic* konverter ditunjukkan oleh Gambar 3.2



Gambar 3.2 Schematic Konverter DC-DC Resonansi Seri

Parameter rancangan konverter DC-DC resonansi seri ditampilkan pada Tabel 3.1.

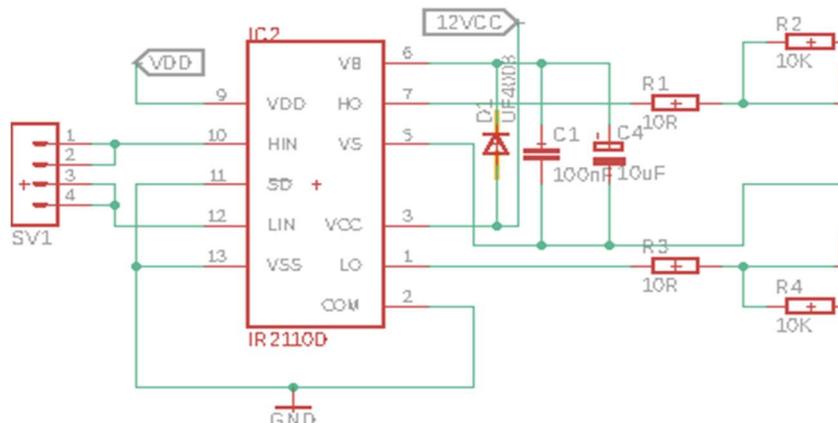
Tabel 3.1 Parameter perancangan Konverter DC-DC Resonansi Seri

Parameter	Nilai
Tegangan Input	20 V <sub>DC</sub> - 30 V <sub>DC</sub>
Arus Input	0,1 A – 0,73 A
Daya Input	2 W – 22 W
Tegangan <i>Gate</i> MOSFET	12 V <sub>DC</sub>
Frekuensi Resonansi	50 kHz
Frekuensi <i>Switching</i>	10 kHz – 100 kHz
<i>Duty Cycle</i>	50 %
Arus Output Maksimal	0,73 A
Tegangan Output Maksimal	15 V <sub>DC</sub>
Daya Output Maksimal	11 W

Berdasarkan parameter yang tercantum di Tabel 3.1, maka dilakukan perancangan melalui tahap-tahap sebagai berikut :

### 3.1.1 Perancangan Rangkaian Penguat PWM

Level PWM yang dibangkitkan Arduino bernilai 5 V<sub>DC</sub>. Level tegangan tersebut tidak mampu membuat MOSFET berada pada kondisi saturasi. Kondisi saturasi adalah kondisi dimana MOSFET *on* sehingga dapat mengalirkan arus dari *drain* ke *source* [7]. Peneliti menggunakan MOSFET seri IRFZ44N. Level tegangan yang diperlukan untuk membuat MOSFET seri IRFZ44N saturasi dapat dilihat pada Gambar 2.1. *Schematic gate driver* MOSFET untuk meningkatkan level PWM dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Rangkaian penguat PWM

Gambar 2.1 menunjukkan bahwa tegangan 5V pada  $V_{GS}$  tidak mampu membuat arus mengalir secara maksimal dari *drain* menuju *source*. Kondisi ideal saturasi MOSFET,  $I_{DS}$  bernilai maksimal dan  $V_{DS}$  mendekati 0. Oleh karena  $I_{DS}$  di 5V tidak maksimal maka dapat dikatakan bahwa MOSFET belum mengalami kondisi saturasi pada level tegangan tersebut. MOSFET mengalami saturasi saat  $V_{GS} \geq 10V$ . Sehingga, pemilihan 12 V<sub>DC</sub> adalah nilai yang tepat, karena batas maksimal  $V_{GS}$  adalah 20 V.

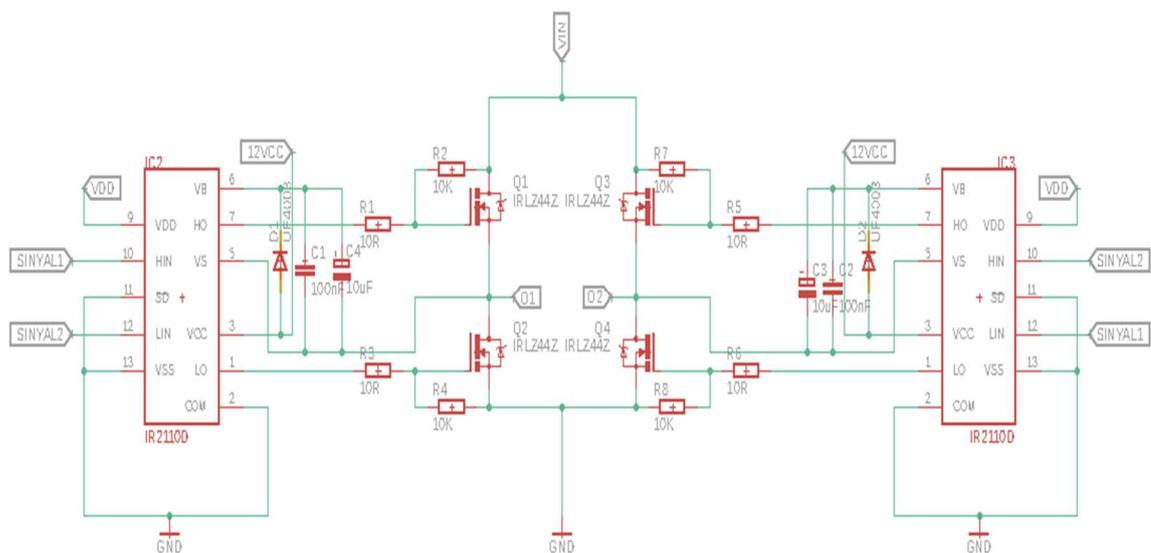
Penguatan PWM dilakukan oleh IR2110. IR2110 merupakan IC gate driver MOSFET yang memiliki 2 pin input (pin 10 dan 12) dan 2 pin output (pin 1 dan 7). Kedua pin tersebut terbagi menjadi *high-side* dan *low-side* dimasing-masing input maupun outputnya. IC ini bekerja dengan 2 sumber tegangan input. VDD pada pin 9 berfungsi sebagai *logic supply* untuk mengaktifkan sisi input IC IR2110, sedangkan tegangan 12 V<sub>DC</sub> yang disalurkan ke pin 3 menjadi sumber tegangan untuk membuka *gate* MOSFET. Pin 3 dihubungkan ke pin 6 melalui dioda UF4007. Hal ini dilakukan untuk mencegah *discharging* saat  $V_B$  berlogika *high*. Pin VB dan VS dihubungkan ke *bootstrap capacitor* C4 dengan sisi positif terhubung ke pin VB. *Bootstrap capacitor* berfungsi untuk *charging gate* saat dibutuhkan. Output IR2110 berada pada pin 1 dan 7. Masing-masing pin tersebut dihubungkan ke resistor 10 $\Omega$  sebagai pembatas arus. Adapun resistor 10K $\Omega$  berperan sebagai

tahanan yang mengisolasi *get-drain* (high MOSFET) atau *gate-source* (low MOSFET) sesaat setelah discharging MOSFET.

### 3.1.2 Perancangan Rangkaian Inverter Jembatan Penuh

Jembatan Penuh merupakan salah satu topologi rangkaian inverter yang menggunakan 4 transistor atau MOSFET sebagai saklar elektronis. *Schematic* rangkaian inverter jembatan penuh dapat dilihat pada Gambar 3.4. Q1, Q2, Q3 dan Q4 adalah representasi dari MOSFET 1, 2, 3 dan 4. Seri MOSFET yang digunakan adalah IRFZ44N. MOSFET ini mampu melakukan *switching* hingga pada level tegangan 55 V dan arus 49 A dengan frekuensi 3 MHz [8].

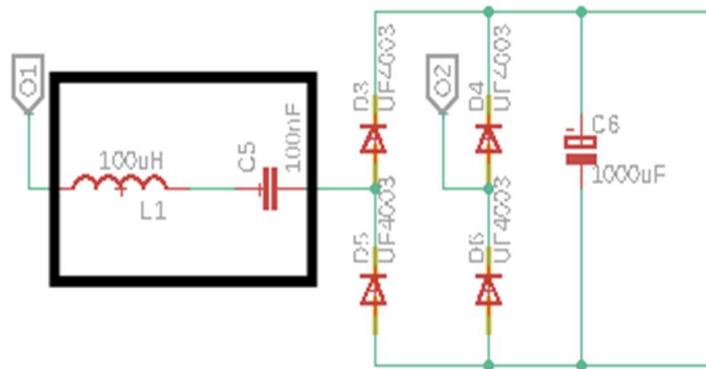
Jika  $T = t_1 + t_2$ , maka saat  $t_1$  MOSFET Q1 dan Q4 akan menutup bersama (*closed switch*). Di waktu yang sama MOSFET Q2 dan Q3 dalam kondisi saklar terbuka. Saat  $t_2$ , MOSFET Q2 dan Q3 akan menutup bersama sedangkan Q1 dan Q4 dalam kondisi saklar terbuka. Sehingga, dalam satu periode waktu akan muncul sebuah gelombang kotak berfrekuensi. Frekuensi gelombang tersebut sama nilainya dengan frekuensi PWM Arduino.



Gambar 3.4 Inverter jembatan penuh

### 3.1.3 Perancangan Jaringan Resonansi

Jaringan resonansi adalah istilah untuk menunjuk komponen-komponen yang mempengaruhi nilai frekuensi resonansi. Komponen-komponen tersebut berupa induktor dan kapasitor. Di dalam perancangan konverter DC-DC resonansi seri ini, peneliti memilih induktor toroid dan kapasitor milar yang kemudian dirangkai seri. Nilai induktor dan kapasitor tersebut disesuaikan dengan frekuensi resonansi yang ingin dicapai. Rangkaian jaringan resonansi dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Jaringan resonansi

Tabel 3.1 menunjukkan bahwa nilai frekuensi resonansi yang diharapkan bernilai 50 kHz. Dengan menggunakan konfigurasi induktor 100  $\mu$ H dan kapasitor 100 nF, maka nilai frekuensi resonansinya adalah (2.5)

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{1.10^{-4} \times 1.10^{-7}}}$$

$$f_r = 50,354 \text{ kHz}$$

Dengan asumsi bahwa peneliti menggunakan frekuensi resonansi sebagai acuan frekuensi *switching* dan output tertinggi dicapai saat  $f_r = f_s$  maka persamaan 2.4 dapat menghitung besarnya  $\omega_r$  yang bernilai

$$\omega_s = \omega_r = 2\pi f_r$$

$$\omega_r = 2(3,14)(50,354.10^3)$$

$$\omega_r = 316223,12$$

Mengingat kemampuan maksimum konverter untuk menyalurkan daya sebesar 20 W seperti yang tertulis pada Tabel 3.1, oleh karena itu peneliti memilih resistor keramik 20W/22RJ sebagai beban uji.

Berdasarkan persamaan 2.6 maka nilai resistansi ekivalen  $R_{Eq}$  adalah

$$R_{eq} = \frac{8}{\pi^2} 22$$

$$R_{eq} = 17,85 \Omega$$

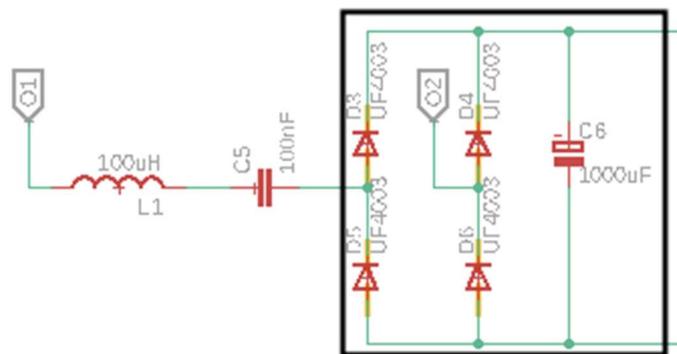
Sehingga *quality factor* konverter rancangan dapat ditentukan dengan persamaan 2.7

$$Q = \frac{(316223,12)(100.10^{-6})}{17,85}$$

$$Q = 1,771$$

### 3.1.4 Perancangan Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh dengan Kapasitor Filter

Penyearah gelombang penuh berfungsi untuk menyearahkan tegangan AC hasil *switching* MOSFET sehingga dapat kembali menjadi tegangan DC. Penyearah ini dirangkai menggunakan 4 dioda. Rangkaian penyearah gelombang penuh dapat dilihat pada Gambar 3.6. Penyearah ini menggunakan dioda seri *Ultra Fast (UF)4007*. Penggunaan dioda UF4007 di latarbelakangi oleh kebutuhan penyearah yang dapat bekerja pada frekuensi tinggi.



Gambar 3.6 Rangkaian penyearah gelombang penuh dengan kapasitor filter

Output dari sebuah penyearah adalah tegangan DC. Idealnya, tegangan DC tidak memiliki frekuensi dan konstan pada satu nilai tertentu. Untuk mendapatkan hasil tersebut maka suatu penyearah dihubungkan ke kapasitor. *Ripple* yang muncul pada tegangan DC hasil penyearah akan dikompensasi oleh kapasitor. Nilai tegangan output konverter dapat diestimasi melalui level penguatan yang dapat dihitung dengan persamaan 2.9. Karena  $\omega_s = \omega_r$  maka persamaan 2.9 dapat ditulis menjadi

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{1}{2} \left[ \frac{1}{[1 + 1.771^2[(1) - (1)]^2]} \right] = \frac{1}{2}$$

Selengkapnya, daftar komponen yang diperlukan di dalam perancangan koverter DC-DC resonansi seri ini dapat dilihat pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Daftar Komponen Konverter DC-DC Resonansi Seri

Komponen	Nilai/Seri
<i>Inductor resonance, Lr</i>	100 $\mu$ H
<i>Capacitor resonance, Cr</i>	100 nF
<i>MOSFET</i>	IRFZ44N
<i>Diode</i>	UF4007
<i>Load, RL</i>	20W/22RJ
<i>PWM controller</i>	Arduino Uno R3

### 3.2 Cara Analisa

Beberapa parameter pengujian konverter adalah sebagai berikut :

1. Output Inverter

Tegangan input  $V_{in}$  dapat dikonversi menjadi tegangan AC bergelombang kotak. Gelombang kotak tersebut memiliki frekuensi dan *duty cycle* yang sama dengan frekuensi PWM. Nilai  $V_{max}$  gelombang AC sama dengan atau mendekati nilai tegangan input ( $V_{max} = V_{in}$ ), sedangkan nilai  $V_{min}$  adalah negatif  $V_{in}$  ( $V_{min} = -V_{in}$ ).

2. Output Konverter

Variasi frekuensi *switching* dapat mempengaruhi tegangan output konverter. *Fixed Value* dari frekuensi resonansi dibandingkan terhadap frekuensi *switching* dalam menentukan output tertinggi konverter. Variasi tegangan input juga dilakukan untuk mengamati *drop voltage* yang terjadi disetiap level  $V_{in}$ . Dengan demikian, daya output konverter dan efisiensi dimasing-masing level tegangan dapat ditentukan menggunakan persamaan 2.11 dan 2.12

3. Efisiensi Konverter terhadap pembebanan

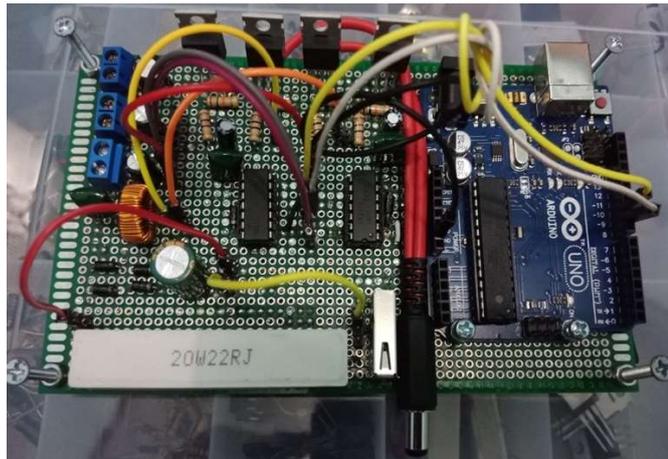
Konverter dihubung ke beban DC tanpa melepas  $R_L$  yang telah terhubung pada konverter. Penghubungan suatu sumber ke beban-beban listrik memicu kenaikan arus dan daya suplai. Kapasitas suplai yang rendah biasanya membuat sumber tersebut sangat reaktif terhadap perubahan beban yang dialaminya. Di samping itu, nilai *gain* konverter DC-DC resonansi seri salah satunya dipengaruhi oleh *quality factor*. Penambahan beban dapat memperbesar nilai *quality factor* tersebut sehingga merubah level *gain*.

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Perancangan Konverter DC-DC Resonansi Seri

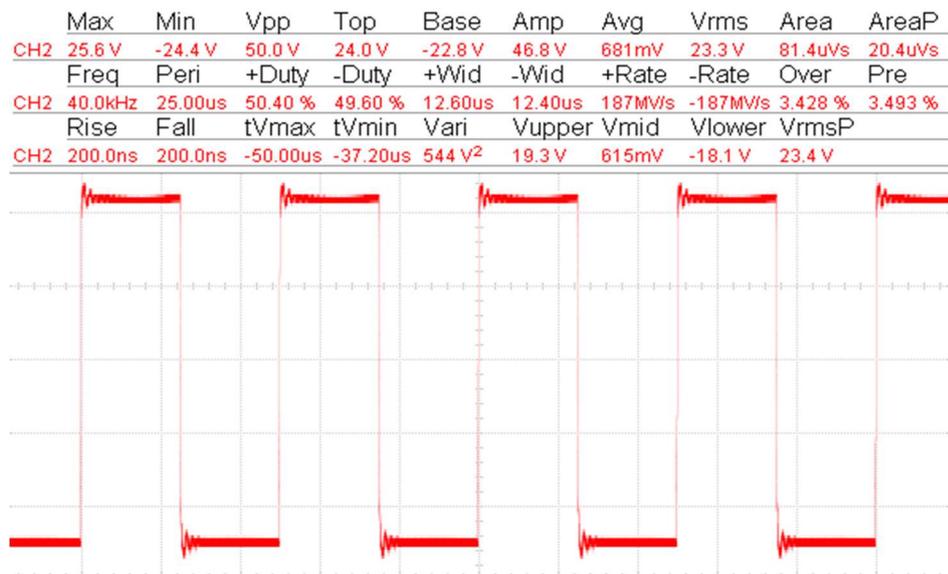
Hasil perancangan Konverter DC-DC resonansi seri dapat dilihat pada Gambar 4.1. Peneliti menempatkan 3 terminal *block* sebagai terminal input untuk tegangan 5 V, 12 V dan  $V_{in}$ . Arduino Uno diprogram untuk menghasilkan PWM 10 kHz – 100 kHz dengan *duty cycle* 50% di masing-masing frekuensi. PWM Arduino terintegrasi pada pin 9 dan 10. Pada sisi inverter peneliti menggunakan konfigurasi inverter jembatan penuh. Pada bagian penyearah peneliti menggunakan konfigurasi penyearah gelombang penuh. Peneliti melengkapi desain konverter dengan *jack* 12 V dan *port* USB yang dapat digunakan untuk menghubungkan beban-beban listrik DC. Arus maksimal yang dapat mengalir konverter bernilai 1 A. Maksimal daya yang dapat dibebankan ke konverter bernilai 20 W.



Gambar 4.1 Hasil perancangan konverter DC-DC resonansi seri

#### 4.2 Output Inverter Jembatan Penuh

Konverter DC-DC resonansi seri bekerja dalam 3 tahap operasi. Tahap pertama kerja konverter adalah mengkonversi tegangan  $V_{in}$  dalam bentuk DC menjadi tegangan AC melalui *switching* MOSFET. Di dalam pengujian ini, tegangan input yang diberikan bernilai 24 V<sub>DC</sub>. Frekuensi PWM bernilai 40 kHz. *Duty cycle* bernilai 50%. Output inverter jembatan penuh dapat dilihat pada Gambar 4.2.

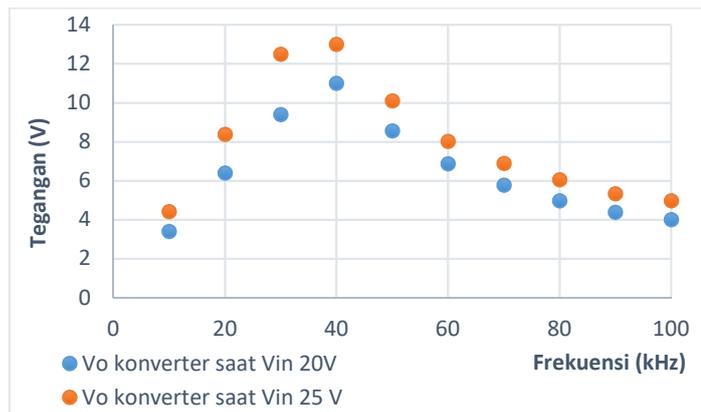


Gambar 4.2 Output inverter jembatan penuh

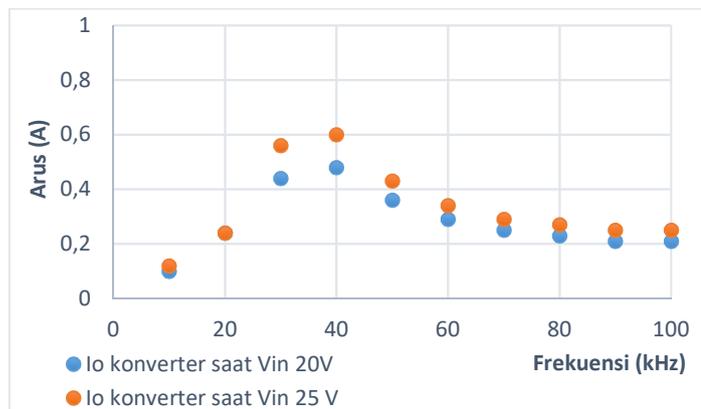
Berdasarkan Gambar 4.2 dapat diketahui bahwa tegangan maksimal  $V_{\max}$  bernilai 26 V sedangkan tegangan minimal  $V_{\min}$  bernilai -24.8 V. Idealnya,  $V_{\max}$  bernilai sama dengan  $V_{\text{in}}$  dan  $V_{\min}$  bernilai sama dengan  $-V_{\text{in}}$ . Namun, terdapat eror sebesar 2 V untuk  $V_{\max}$  dan 0.8 V untuk  $V_{\text{in}}$ . Eror tersebut terjadi karena terdapat osilasi dimasing-masing level  $V_{\max}$  dan  $V_{\text{in}}$ . Setiap gelombang yang berosilasi selalu memiliki *maximum overshoot* dan *undershoot*. Nilai TOP dan Base menyatakan set point saat suatu gelombang *steady state* sesaat setelah mengalami osilasi. Jika  $V_{\text{TOP}}$  adalah batas atas *set point* gelombang maka  $V_{\text{Base}}$  merupakan batas bawah dari *set point* gelombang tersebut. Sehingga, dapat dikatakan bahwa hasil *switching* 24 V menimbulkan overshoot 2 V. Besarnya tegangan jatuh yang muncul saat *switching* adalah 0 V. Hal tersebut diketahui melalui nilai  $V_{\text{TOP}}$  pengukuran osiloskop yang stabil di nilai 24 V yang mana sama dengan tegangan input.

### 4.3 Output Konverter DC-DC Resonansi Seri

Tegangan input yang diujikan ke konverter untuk melihat variasi tegangan output bernilai 20 V dan 25 V. Tegangan output konverter dapat bervariasi dengan mengubahsuaikan frekuensi *switching*-nya. Teoritis, tegangan output maksimum konverter tercapai saat frekuensi *switching* sama dengan frekuensi resonansi yang menghasilkan  $V_{\text{out}} = \frac{1}{2} V_{\text{in}}$ . Perubahan tegangan dan arus output konverter ditampilkan pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4.



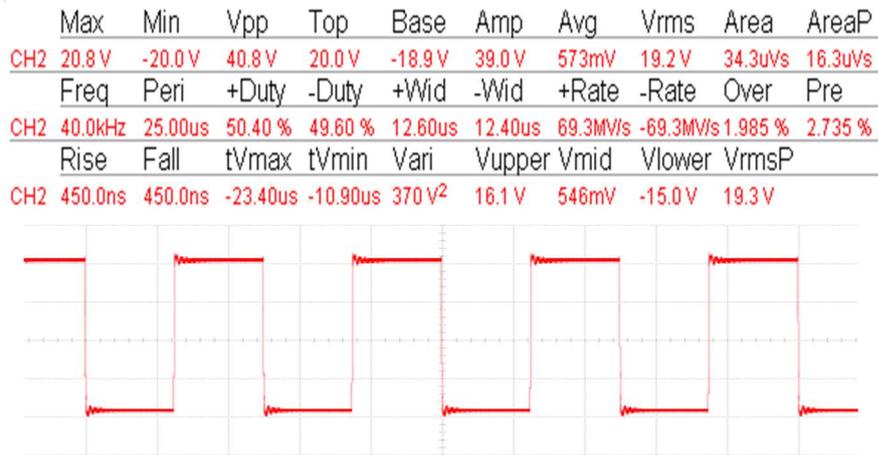
Gambar 4.3 Grafik perubahan tegangan output konverter terhadap variasi frekuensi *switching*



Gambar 4.4 Grafik perubahan arus output konverter terhadap variasi frekuensi *switching*

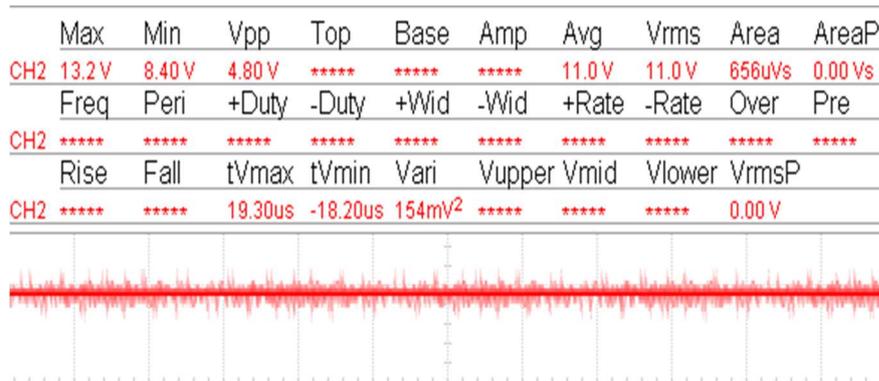
Berdasarkan Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 tegangan dan arus output tertinggi konverter dicapai saat frekuensi *switching* 40 kHz, sedangkan output terendah konverter terjadi saat frekuensi *switching* 10 kHz. Perubahan tegangan output konverter berlangsung linier disetiap level tegangan input di masing-masing frekuensi *switching*. Sementara itu, frekuensi *switching* 50 kHz tidak memberikan ouput konverter yang lebih tinggi dibanding saat 30 kHz dan 40 kHz. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa frekuensi *switching* 40 kHz merupakan frekuensi yang memberikan kinerja maksimum pada konverter.

Pengujian selanjutnya dilakukan dengan memvariasikan tegangan input konverter di level 20 V, 25 V dan 30 V. Frekuensi *switching* yang digunakan adalah 40 kHz. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi *switching* konverter disetiap perubahan tegangan input yang diberikan. Daya output konverter penurun tegangan (*chopper step-down*) dapat diketahui melalui persamaan 2.11. Persamaan 2.10 dapat digunakan untuk mengetahui daya yang diinputkan ke konverter. Namun, peneliti lebih memilih untuk menjadikan pembacaan *power supply* sebagai acuan nilai daya input konverter. Gambar 4.5 menunjukkan gelombang AC hasil *switching*  $V_{in}$  20 V.



Gambar 4.5 Hasil *switching* 20V<sub>DC</sub>

Output konverter untuk tegangan input 20 V ditunjukkan oleh Gambar 4.6. Tegangan output terukur bernilai 11 V<sub>DC</sub> dengan persentase tegangan *ripple* 43,6%.



Gambar 4.6 Ouput konverter saat V<sub>in</sub> 20V

Pembacaan *power supply* saat V<sub>in</sub> 20 V ditunjukkan oleh Tabel 4.1

Tabel 4.1 Pembacaan *Power Supply* saat V<sub>in</sub> 20V

Parameter	Nilai
Tegangan	20 V
Arus	0,48 A
Daya	9,6 W

Gambar 4.5 menampilkan bahwa tidak terjadi tegangan jatuh saat *switching* berlangsung. Nilai daya P<sub>out</sub> dapat dihitung dengan persamaan 2.11

$$P_o = \frac{1}{T} \int_0^{kT} \frac{V_0^2}{R} dt = \frac{1}{T} \int_0^{kT} \frac{(V_{in} - V_{cH})^2}{R_L} dt = k \frac{(V_{in} - V_{cH})^2}{R_L}$$

$$P_o = 0,5 \frac{(20 - 0)^2}{22}$$

$$P_o = 9,091 \text{ W}$$

Dengan membandingkan daya output terhadap daya input (data *power supply*) maka efisiensi *switching* konverter ketika  $V_{in} = 20 \text{ V}$  dapat dihitung dengan persamaan 2.12

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{9,091}{9,6} \times 100\%$$

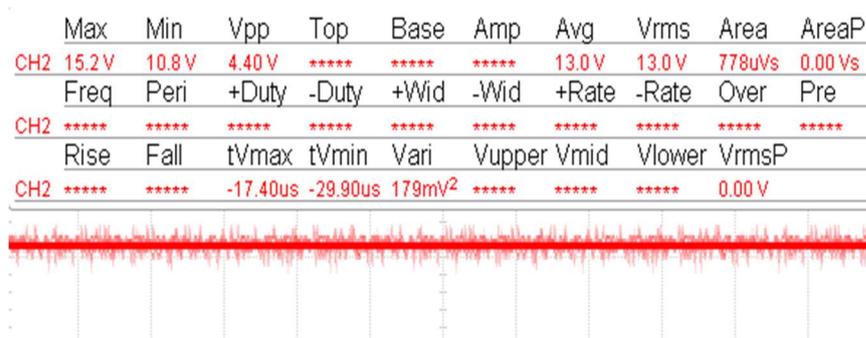
$$\eta = 94,7\%$$

Selanjutnya, adalah pengujian efisiensi konverter saat tegangan input 25 V. Hasil *switching* level tegangan 25 V dapat dilihat pada Gambar 4.7. Gambar 4.7 menampilkan level tegangan saat *switching* berlangsung di 25 V dengan frekuensi 40 kHz. Karena level tegangan input sama dengan level output maka tidak terjadi tegangan jatuh saat *switching* 25 V<sub>DC</sub> berlangsung. Tegangan jatuh saat pensaklaran dapat menurunkan daya output dan efisiensi konverter maka hal tersebut harus dihindarkan.



Gambar 4.7 Hasil *switching* 25 V<sub>DC</sub>

Gambar 4.8 menampilkan output konverter saat *switching* dinilai 25 V<sub>DC</sub>. Tegangan output terukur bernilai 13 V<sub>DC</sub> dengan persentase *ripple* 32%.



Gambar 4.8 Output konverter saat  $V_{in} 25 \text{ V}_{DC}$

Pembacaan *power supply* saat tegangan input bernilai 25 V sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Pembacaan *Power Supply* saat  $V_{in}$  25V

Parameter	Nilai
Tegangan	25 V
Arus	0,63 A
Daya	15,5 W

Gambar 4.7 menampilkan bahwa tidak terjadi tegangan jatuh selama *switching* berlangsung. Hal tersebut diketahui melalui nilai  $V_{top}$  yang ditampilkan osiloskop. Nilai daya  $P_{out}$  dapat dihitung dengan persamaan 2.11

$$P_o = \frac{1}{T} \int_0^{kT} \frac{V_0^2}{R} dt = \frac{1}{T} \int_0^{kT} \frac{(V_{in} - V_{cH})^2}{R_L} dt = k \frac{(V_{in} - V_{cH})^2}{R_L}$$

$$P_o = 0,5 \frac{(25 - 0)^2}{22}$$

$$P_o = 14,2 W$$

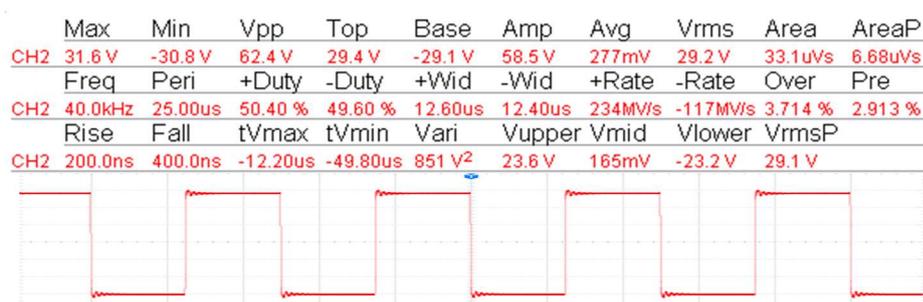
Dengan membandingkan daya output terhadap daya input maka efisiensi konverter ketika  $V_{in} = 25 V$  dapat dihitung dengan persamaan 2.12

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{14,2}{15,5} \times 100\%$$

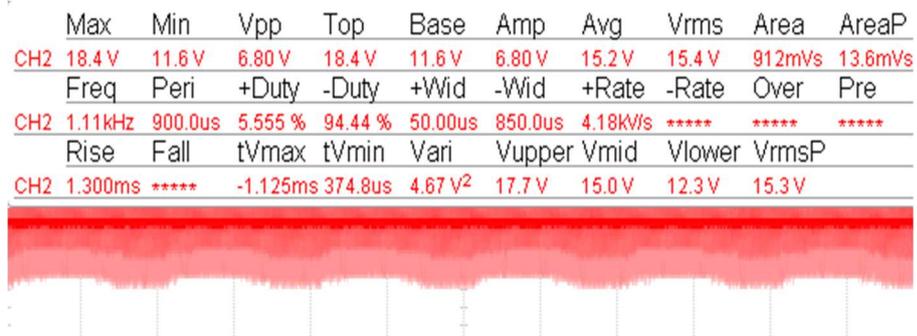
$$\eta = 91,6\%$$

Selanjutnya, pengujian konverter untuk tegangan input 30 V<sub>DC</sub>. Gambar 4.9 menampilkan hasil *switching* 30 V dan menunjukkan bahwa terdapat tegangan jatuh sebesar 0,6 V. Tegangan jatuh yang muncul saat *switching* berlangsung dapat menurunkan daya output dan efisiensi konverter.



Gambar 4.9 Hasil *switching* 30V<sub>DC</sub>

Gambar 4.10 menampilkan tegangan output konverter mengandung frekuensi. Selama proses pengujian berlangsung, peneliti mengamati bahwa nilai frekuensi tersebut selalu berubah-ubah setiap waktu.



Gambar 4.10 Output konverter saat  $V_{in}$  30 V<sub>DC</sub>

Meskipun mengandung frekuensi, pengukuran tegangan DC menggunakan multimeter menampilkan hasil yang sama dengan  $V_{rms}$  pengukuran osiloskop. Tegangan DC tersebut mengandung *ripple* sebesar 44%. Pembacaan power supply saat  $V_{in}$  30 V dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Pembacaan *Power Supply* saat  $V_{in}$  30 V

Parameter	Nilai
Tegangan	30 V
Arus	0,71 A
Daya	21,293 W

Nilai daya output hasil *switching* dapat dihitung dengan persamaan 2.11

$$P_o = \frac{1}{T} \int_0^{kT} \frac{V_0^2}{R} dt = \frac{1}{T} \int_0^{kT} \frac{(V_{in} - V_{cH})^2}{R_L} dt = k \frac{(V_{in} - V_{cH})^2}{R_L}$$

$$P_o = 0,5 \frac{(30 - 0,6)^2}{22}$$

$$P_o = 19,645 \text{ W}$$

Efisiensi konverter ketika  $V_{in} = 30$  V dapat dihitung dengan persamaan 2.12

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{19,645}{21,293} \times 100\%$$

$$\eta = 92,2\%$$

Pengujian konverter pada level tegangan input 20 V, 25 V dan 30 V memberikan efisiensi *switching* diatas 90%. Efisiensi tinggi menandakan bahwa *switching losses* bernilai rendah. Ketika tegangan input bernilai 30 V terjadi aliran daya sebesar 21,3 W. Namun, pada output konverter didapati daya output yang berbeda dibanding daya hasil *switching*. Output konverter dimasing-masing tegangan input 20 V, 25 V dan 30 V dapat dilihat pada Tabel 4.4, Tabel 4.5 dan Tabel 4.6.

Tabel 4.4 Output konverter DC-DC resonansi seri saat  $V_{in}$  20 V

Frekuensi <i>switching</i>	Tegangan Output	Arus Output	Daya Output
10 kHz	3,42 V	0,1 A	0,342 W
20 kHz	6,41 V	0,24 A	1,54 W
30 kHz	9,40 V	0,44 A	4,14 W
40 kHz	10,40 V	0,48 A	5 W
50 kHz	8,56 V	0,36 A	3,08 W
60 kHz	6,88 V	0,29 A	2 W
70 kHz	5,79 V	0,25 A	1,45 W
80 kHz	4,98 V	0,23 A	1,15 W
90 kHz	4,40 V	0,21 A	0,92 W
100 kHz	4,02 V	0,21 A	0,844 W

Tabel 4.5 Output konverter DC-DC resonansi seri saat  $V_{in}$  25 V

Frekuensi <i>switching</i>	Tegangan Output	Arus Output	Daya Output
10 kHz	4,43 V	0,12 A	0,53 W
20 kHz	8,38 V	0,29 A	2,43 W
30 kHz	12,50 V	0,56 A	7 W
40 kHz	13,1 V	0,43 A	5,63 W
50 kHz	10,10 V	0,34 A	3,43 W
60 kHz	8,12 V	0,29 A	2,35 W
70 kHz	6,90 V	0,29 A	2 W
80 kHz	6,06 V	0,27 A	1,64 W
90 kHz	5,34 V	0,25 A	1,34 W
100 kHz	4,98 V	0,25 A	1,25 W

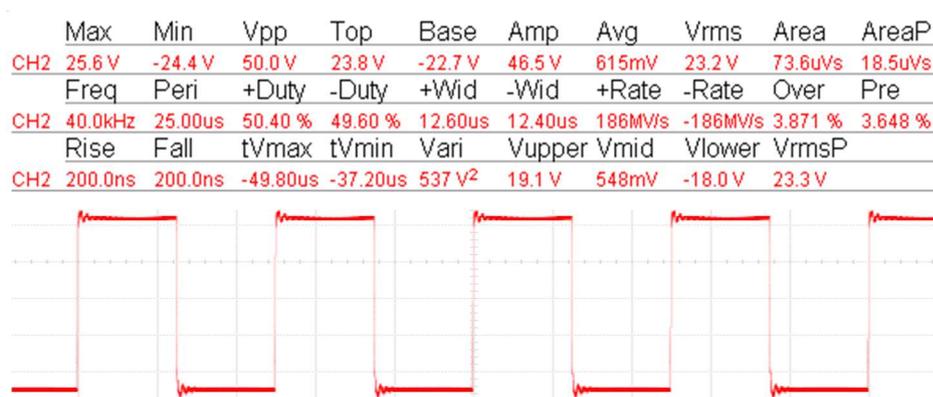
Tabel 4.6 Output konverter DC-DC resonansi seri saat  $V_{in}$  30 V

Frekuensi <i>switching</i>	Tegangan Output	Arus Output	Daya Output
10 kHz	8,43 V	0,32 A	2,70 W
20 kHz	10,27 V	0,59 A	6,06 W
30 kHz	13,30 V	0,66 A	8,78 W
40 kHz	15 V	0,73 A	11 W
50 kHz	13,13 V	0,61 A	8 W
60 kHz	12,24 V	0,49 A	6 W
70 kHz	11,35 V	0,44	5 W
80 kHz	10,87 V	0,37 A	4,02 W
90 kHz	9,56 V	0,30 A	2,87 W
100 kHz	9,32 V	0,30 A	2,8 W

Berdasarkan Tabel 4.4, Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 maka output tertinggi konverter dimasing-masing tegangan input didapat saat frekuensi *switching* 40 kHz. Namun, jika dibandingkan daya output hasil *switching* terhadap daya keluaran konverter maka konverter ini hanya memberikan output sebesar setengah dari daya hasil *switching*. Dengan kata lain, output akhir konverter memiliki efisiensi 50%.

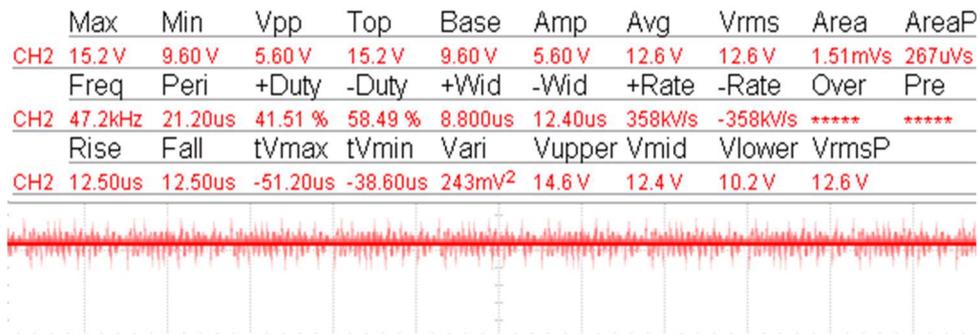
#### 4.4 Pengujian Konverter saat dihubung ke beban DC

Pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan bor listrik ke konverter tanpa melepas resistor keramik. Spesifikasi bor listrik bekerja pada tegangan 12 V<sub>DC</sub>. Gambar 4.2 memperlihatkan kondisi gelombang 24 V<sub>AC</sub> sebelum dihubung ke bor listrik dan Gambar 4.11 selama dihubung ke bor listrik.

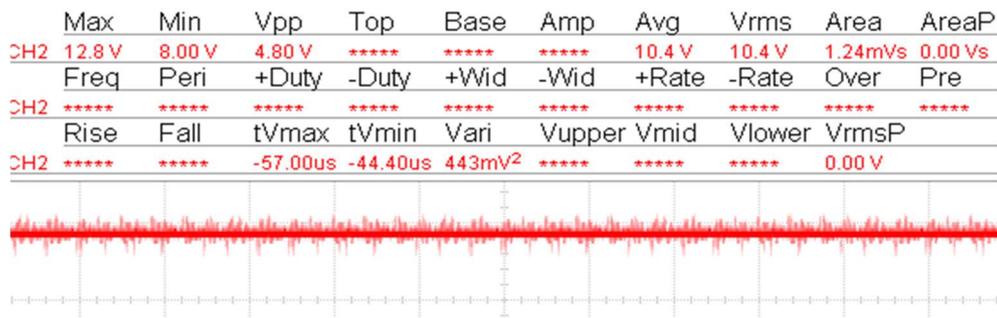


Gambar 4.11 Hasil *switching* 24 V<sub>DC</sub> selama pembebanan

Gambar 4.11 memperlihatkan bahwa selama pembebanan konverter terjadi *drop voltage* sebesar 0.2 V. Gambar 4.12 dan Gambar 4.13 menampilkan perbedaan kondisi tegangan output konverter tanpa pembebanan dan selama pembebanan.



Gambar 4.12 Output konverter sebelum pembebanan



Gambar 4.13 Output konverter selama pembebanan

Penghubungan beban motor yang beroperasi pada tegangan 12 V (bor listrik) menurunkan tegangan output konverter dari 12,6 V menjadi 10,4 V. Suplai tegangan DC yang diberikan *power supply* ditunjukkan oleh Tabel 4.7

Tabel 4.7 Pembacaan *Power Supply* (sisi input) sebelum dan selama pembebanan

Sebelum pembebanan		Selama pembebanan	
Parameter	Nilai	Parameter	Nilai
Tegangan	24 V	Tegangan	24 V
Arus	0,6 A	Arus	0,64 A
Daya	14,4 W	Daya	15,354 W

Tabel 4.7 menampilkan bahwa terjadi peningkatan arus dan daya yang diinputkan ke rangkaian. Penambahan beban kekonverter direspon dengan naiknya arus yang diberikan *power supply* dan turunnya tegangan output konverter sebesar 2,2 V. Sementara itu, hasil *switching* 24 V

hanya mengalami penurunan tegangan 0,2 V. Perubahan daya dan efisiensi *switching* ditunjukkan oleh Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Perubahan output konverter sebelum dan selama pembebanan

Sebelum pembebanan	Selama pembebanan
$P_o = 0,5 \frac{(24 - 0)^2}{22}$ $P_o = 13,091$	$P_o = 0,5 \frac{(24 - 0,2)^2}{22}$ $P_o = 12,87 \text{ W}$
$\eta = \frac{13,091}{14,4} \times 100\%$ $\eta = 91\%$	$\eta = \frac{12,87}{15,354} \times 100\%$ $\eta = 83,8\%$

Saat pengujian ini berlangsung didapati perubahan efisiensi *switching* konverter dari 91% menjadi 83,8%. Selama pengujian ini terjadi penurunan tegangan output konverter dan kenaikan arus output konverter. Tegangan output konverter berubah menjadi 10,4 V sedangkan arus output konverter 0,64 A. Maka saat pengujian ini berlangsung konverter memiliki daya output yang bernilai 6,66 W. Jika dibandingkan dengan daya input 15,354 W maka efisiensi konverter menjadi 43%.

Hasil perhitungan yang tercantum pada Tabel 4.8 menunjukkan bahwa penambahan beban ke konverter DC-DC resonansi seri menurunkan efisiensi konverter tersebut. Tegangan output turun 2,2 V atau level *gain* turun dari 0,525 menjadi 0,433. *Gain* konverter DC-DC resonansi seri dipengaruhi oleh *quality factor* dan *normalized frequency*( $\omega_n$ ). Penambahan beban tidak mempengaruhi frekuensi *switching* atau frekuensi resonansi, sehingga  $\omega_n$ (*normalized frequency*) bernilai tetap. Namun, penambahan beban mempengaruhi *quality factor* Q. Berdasarkan persamaan 2.7, parameter Q dipengaruhi oleh besarnya nilai  $R_{eq}$ . Oleh karena resistor keramik dan bor listrik dirangkai secara paralel, maka nilai  $R_{eq}$  turun. Turunnya  $R_{eq}$ , membuat nilai Q membesar. Bentuk kurva Q dapat dilihat pada Gambar 2.5. Semakin besarnya nilai Q maka kurva *quality factor* semakin lancip. Sehingga, untuk setiap nilai  $\omega_n$  (kecuali  $\omega_n = 1$ ) akan mengalami penurunan *gain*. Dalam hal ini level *gain* turun dari 0,525 menjadi 0,433. Sehingga, tegangan output konverter mengalami penurunan.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Konverter DC-DC resonansi seri dirancang dengan melalui 3 tahap operasi. Pertama, mengkonversi tegangan DC menjadi AC. Kedua, tegangan AC yang berfrekuensi dibandingkan dengan frekuensi resonansi. Ketiga, merubah tegangan AC menjadi tegangan DC.

Konverter DC-DC resonansi seri berfungsi sebagai penurun tegangan. Output konverter DC-DC resonansi seri dapat diatur dengan mengubahsuaikan frekuensi *switching*. Berdasarkan hasil pengujian, efisiensi *switching* konverter DC-DC resonansi seri lebih dari 90%. Output akhir konverter memberikan daya yang bernilai setengah daya output hasil *switching*. Sehingga, efisiensi maksimal konverter yang didapat bernilai 50%. Penambahan beban ke konverter menurunkan tegangan output konverter sehingga efisiensi konverter turun menjadi 43%.

#### **5.2 Saran**

Saran yang dapat peneliti tulis untuk pengembangan lebih lanjut adalah output konverter mengandung *ripple* yang cukup besar. Peneliti berasumsi bahwa hal tersebut dapat diatasi dengan meningkatkan level *frekuensi switching* atau melalui perbaikan filter.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. W. Hart, *Power Electronics*. New York: McGraw-Hill, 2011.
- [2] Y. Nour, A. Knott, and L. P. Petersen, "High frequency soft switching half bridge series-resonant DC-DC converter utilizing gallium nitride FETs," *2017 19th Eur. Conf. Power Electron. Appl. EPE 2017 ECCE Eur.*, vol. 2017–Janua, 2017.
- [3] M. Saikia and B. M. Tom, "LC series resonant converter based high power HBLED lamp driver with ZVS," *2016 IEEE Annu. India Conf. INDICON 2016*, 2017.
- [4] L. Wu, J. Wang, Z. Liu, and S. Zhang, "Analysis and design of LC series converter considering effect of parasitic components," *Proc. - 2012 Int. Conf. Comput. Distrib. Control Intell. Environ. Monit. CDCIEM 2012*, no. 4, pp. 126–130, 2012.
- [5] Y. Lo, C. Lin, M. Hsieh, and C. Lin, "Converters for Wide Load Variations," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 58, no. 6, pp. 2572–2575, 2011.
- [6] A. M. Hartono and M. Facta, "PERANCANGAN KONVERTER DC-DC RESONANSI BEBAN SERI," *TRANSIENT*, vol. 3, no. 4, pp. 587–594, 2014.
- [7] M. H. Rashid, *Power Electronics Handbook*, Third. Pensacola: Elsevier.Inc, 2011.
- [8] International Rectifier, "Irfz44N," pp. 1–8, 2001.
- [9] D. J. Perreault *et al.*, "Opportunities and Challenges in Very High Frequency Power Conversion," *2009 TwentyFourth Annu. IEEE Appl. Power Electron. Conf. Expo.*, vol. 1926, pp. 1–14, 2009.

## LAMPIRAN

### List Program PWM Arduino

```
#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
unsigned long frequency = 40000 ;
void setup()
{
  pinMode(9, 1);
  pinMode(10,1);\
  DFG(frequency);
  Serial.begin(57600);
}
void loop() {
}
void DFG (unsigned long tempfreq){
  cli();//disable interrupts
  TCCR1A = 0;
  TCCR1B = 0;
  TCNT1 = 0;
  TCCR1A |= _BV(COM1A0) + _BV(COM1B0);
  TCCR1B |= _BV(WGM12);
  TCCR1C = _BV(FOC1A);
  if(tempfreq > 122 && tempfreq < 1000001){
    OCR1A = (8000000/tempfreq)-1;
    TCCR1B |= _BV(CS10);
  }
  else if(tempfreq<=122 && tempfreq >15){
    OCR1A = (1000000/tempfreq)-1;
    TCCR1B |= _BV(CS11);
  }
  else if (tempfreq <= 15 && tempfreq > 4){
    OCR1A = (125000/tempfreq)-1;
    TCCR1B |= _BV(CS10)+_BV(CS11);
  }
}
```