



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**DESAIN DAN IMPLEMENTASI PENAIK TEGANGAN  
MENGUNAKAN KOMBINASI KY *CONVERTER* DAN BUCK-  
BOOST *CONVERTER***

Bustanul Arifin  
NRP 2214105015

Dosen Pembimbing  
Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D  
Soedibjo, Ir., M.MT., Dr

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016



*FINAL PROJECT - TE 141599*

***DESIGN AND IMPLEMENTATION STEP-UP CONSTRUCTED  
BY KY CONVERTER AND BUCK-BOOST CONVERTER***

Bustanul Arifin  
NRP 2214105015

*Advisor Lecturer*  
Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D  
Soedibjo, Ir., M.MT., Dr

*ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTEMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2016*

**DESAIN DAN IMPLEMENTASI PENAIK  
TEGANGAN MENGGUNAKAN KOMBINASI KY  
CONVERTER DAN BUCK-BOOST CONVERTER**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

**Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Jurusan Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui,**

**Dosen Pembimbing I**

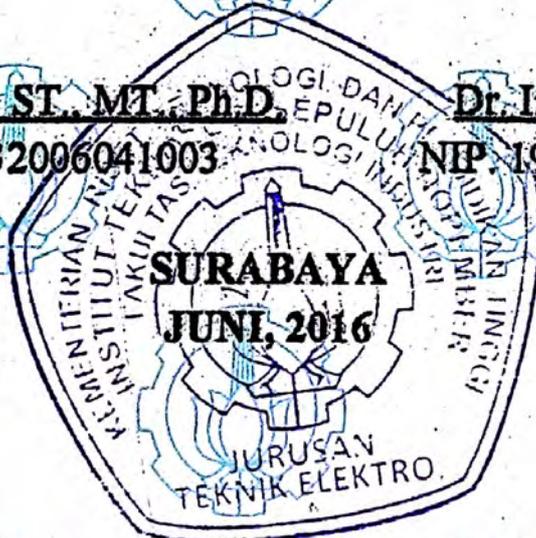
**Dosen Pembimbing II**

**Heri Survoatmojo, ST, MT, Ph.D.**

**Dr. Ir. Soedibio, M.MT**

**NIP. 198006032006041003**

**NIP. 195512071980031004**



# **DESAIN DAN IMPLEMENTASI PENAIK TEGANGAN MENGGUNAKAN KOMBINASI KY CONVERTER DAN BUCK-BOOST CONVERTER**

**Nama** : Bustanul Arifin  
**Pembimbing I** : Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D.  
**Pembimbing II** : Dr. Ir. Soedibjo, M.MT

## **ABSTRAK**

Dewasa ini pengembangan, kebutuhan akan sumber energi terbarukan, dan penggunaan energi terbarukan (*renewable energy*) semakin menjadi hal yang sangat penting. Karena energi terbarukan dapat digunakan sebagai sumber energi yang digunakan untuk membangkitkan sistem pembangkit tersebar dan pembantu energi utama. Salah satu energi yang terbarukan yang digunakan untuk sistem pembangkitan adalah energi dari sinar matahari. Energi sinar matahari dapat dimanfaatkan dengan bantuan sel surya (solar cell/*photovoltaic*). *Photovoltaic* merupakan bahan semikonduktor yang dapat melepas elektron apabila ada rangsangan dari sinar matahari kemudian membentuk arus listrik.

Namun ketika intensitas cahaya matahari yang berubah-ubah mengakibatkan arus DC yang keluar dari solar cell berubah ubah, oleh karena itu dibutuhkannya suatu perangkat teknologi yang mampu menaikkan tegangan jika intensitas cahaya matahari menurun yaitu menggunakan konverter DC-DC. Konverter DC-DC merupakan konverter yang tepat untuk menaikkan tegangan DC yang dikeluarkan panel surya/ *photovoltaic*. Konverter DC-DC yang diusulkan menggunakan kombinasi KY konverter dan buck-boost konverter dengan kendali konverter menggunakan kontrol PI (*Proporsional Integrator*) sehingga saat terjadi penurunan atau kenaikan tegangan sumber maka tegangan keluaran dari sistem tetap terjaga sesuai dengan ratingnya.

**Kata Kunci** : *Photovoltaic*, Kombinasi Konverter KY dan konverter *Buck-Boost*, Konverter DC – DC, Kontrol PI

**DESIGN AND IMPLEMENTATION STEP-UP  
CONSTRUCTED BY KY CONVERTER AND BUCK-  
BOOST CONVERTER**

**Name** : Bustanul Arifin  
**Advisor I** : Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D.  
**Advisor II** : Dr. Ir. Soedibjo, M.MT

**ABSTRACT**

*Today development, the need for renewable energy source ,and renewable energy ( renewable energy ) is getting into a very important matter. Because renewable energy can be used as a source of energy used to excite power plant system spread and a primary energy. One of sustainable energy applied to a system whenever is energy of sunlight .Energy sunlight can be use with the help of solar cells (of solar cell / photovoltaic ). Photovoltaic been an semiconductor can take off electrons if there is stimulation of sunlight then forming an electric current.*

*But when the intensity of light the sun a changeable resulting in the current dc that comes out of of solar cell changed change , hence he needed a device technology capable of raise voltage if the intensity of light the sun declining namely use converter DC to DC. Converter DC to DC is converter that right to raise voltage dc issued solar panels /photovoltaic. Converter DC to DC proposed uses a combination ky converter and buck-boost converter with the reins converter use control pi ( proportional integrator ) so that when the next the decline in or penaikan voltage source so an output voltage of a system stay awake in accordance with his rating.*

**Keywords** : Photovoltaic, Combination KY converter dan Buck-Boost converter, Converter DC – DC, control PI

# DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xi</b>

## **BAB I PENDAHULUAN**

1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan dan Manfaat .....	2
1.4 Batasan masalah .....	2
1.5 Metodologi .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
1.7 Relevansi .....	4

## **BAB II DESAIN DAN IMPLEMENTASI PENAIK TEGANGAN KOMBINASI KY CONVERTER DAN BUCK-BOOST CONVERTER**

2.1 <i>Coupling</i> Sama Dengan Satu .....	7
2.2 <i>Coupling</i> Tidak Sama Dengan Satu .....	8
2.3 Induktor –Kopel.....	10
2.4 Penurunan Rumus Rasio Konversi Tegangan .....	11
2.5 Penurunan Persamaan Parameter Konverter.....	13
2.6 Fotovoltaik.....	19

## **BAB III PERANCANGAN**

3.1 Blok Diagram Sistem Secara Keseluruhan .....	21
3.2 Desain konverter DC-DC kombinasi KY konverter .....	22
3.2.1 Penentuan Rasio Konversi dan <i>Duty Cycle</i> .....	22
3.2.2 Penentuan Besar Beban .....	23
3.2.3 Penentuan Nilai Induktor.....	24
3.2.4 Penentuan Nilai Kapasitor .....	26

3.2.5 Perancangan <i>Couple</i> Induktor .....	29
3.3 Simulasi.....	31
3.4 Implementasi .....	38
<b>BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISIS</b>	
4.1 Pengujian sinyal PWM dan Pensaklaran.....	41
4.2 Pengujian Arus Induktor .....	43
4.3 Pengujian Tegangan Kapasitor.....	46
4.4 Pengujian Rasio Konversi Tegangan.....	48
4.5 Pengujian Efisiensi.....	49
4.6 Pengujian Respon <i>Dutycycle</i> Akibat Perubahan .....	50
4.7 Pengujian dengan Modul Fotovoltaik.....	51
<b>BAB V KESIMPULAN</b>	
5.1 Kesimpulan.....	53
5.2 Saran.....	53
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>55</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>57</b>
<b>RIWAYAT HIDUP PENULIS .....</b>	<b>61</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi Perancangan Konverter DC-DC .....	22
Tabel 3.2 Parameter Hasil Perhitungan.....	29
Tabel 3.3 Kapasitas Komponen Implementasi.....	38

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Rangkaian Konverter Kombinasi KY <i>converter</i> .....	5
Gambar 2.2	Gelombang Mode Pensaklaran Konveter .....	6
Gambar 2.3	Mode Operasi 1( $t_0 - t_1$ ).....	7
Gambar 2.4	Mode Operasi 1( $t_1 - t_2$ ).....	8
Gambar 2.5	Mode 1 Operasi 1( $t_0 - t_1$ ).....	9
Gambar 2.6	Mode 2 Operasi 1( $t_1 - t_2$ ).....	9
Gambar 2.7	Arah Fluks Induktor-Kopel .....	10
Gambar 2.8	Model Rangkaian Equevalen Dari Kopel Induktor .....	14
Gambar 2.9	Kurva I-V dengan perubahan Iradiasi .....	20
Gambar 2.10	Kurva P-V dengan perubahan Iradiasi.....	20
gambar 3.1	Diagram Blok Desain Konverter .....	21
Gambar 3.2	Pengukuran Kebocoran Induktansi.....	30
Gambar 3.3	Rangkaian Simulasi Kombinasi Ky Konverter .....	31
Gambar 3.4	Gelombang Tegangan Mosfet Vds1 Dan Vds2.....	32
Gambar 3.5	Gelombang Tegangan Dan Arus Induktor $L_m+L_k$ .....	33
Gambar 3.6	Gelombang Tegangan Dan Arus Induktor .....	34
Gambar 3.7	Gelombang Tegangan Dan Arus Induktor $L_o$ .....	35
Gambar 3.8	Gelombang Tegangan Dioda.....	36
Gambar 3.9	Gelombang Tegangan Vc1 Dan Vc2.....	37
Gambar 3.10	Implementasi Konverter Kombinasi KY Konverter.....	39
Gambar 4.1	Gelombang PWM saat 50% .....	41
Gambar 4.2	Gelombang PWM dan Kendali Mosfet .....	42
Gambar 4.3	Gelombang Tegangan dan Arus Induktor bagian $L_m+L_{Np}$ .....	43
Gambar 4.4	Gelombang Tegangan Dan Arus Induktor Sekunder $L_{Ns}$ ..	44
Gambar 4.5	Gelombang Tegangan dan Arus $L_o$ .....	45
Gambar 4.6	Gelombang Pensaklaran Pada Dioda.....	46
Gambar 4.7	Tegangan Kapasitor $C_1$ dan $C_2$ .....	47
Gambar 4.8	Tegangan Kapasitor $C_3$ .....	47
Gambar 4.9	Grafik Rasio Konversi Tegangan Terhadap <i>Duty cycle</i> ....	49
Gambar 4.10	Grafik Efisiensi konverter .....	50
Gambar 4.11	Gelombang tegangan keluaran akibat perubahan .....	51
Gambar 4.12	Set Pengujian menggunakan modul PV .....	52

Gambar 4.13 Hasil Pengujian dengan menggunakan modul .....52

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Energi surya merupakan sumber energi terbarukan yang tidak mencemari. Industri panel surya di dunia telah meningkat lebih dari 31 % per tahun lebih bertahan dekade terakhir. Panel surya sebagai sumber terbarukan karena memiliki kelebihan, seperti tidak adanya biaya bahan bakar, sedikit perawatan, tidak ada suara, dan tidak adanya bagian yang bergerak. Namun efisiensi konversi energi aktual modul PV agak rendah dan dipengaruhi oleh kondisi cuaca dan beban yang digunakan[1]-[2].

Untuk memperoleh keluaran yang efisien diperlukan rangkaian konverter DC-DC. Konverter DC-DC berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan tegangan *Direct Current* (DC), sama halnya dengan trafo yang mengubah tegangan AC tertentu ke tegangan DC yang lebih tinggi atau lebih rendah. Akan tetapi konverter DC-DC mempunyai efisiensi lebih tinggi dibandingkan dengan *power supply* konvensional karena tidak ada peningkatan ataupun pengurangan daya masukan selama pengkonversian bentuk energi listriknya[3].

Ada beberapa macam topologi pada konverter DC-DC, seperti konverter *Boost* dan konverter *buck-boost*, kelemahan tegangan konverter tersebut tidak cukup tinggi. Hingga kini, banyak macam teknik yang digunakan untuk menaikkan tegangan telah disajikan, termasuk beberapa induktor yang terhubung dalam seri dengan kapasitor, induktor dengan perbedaan rasio, superposisi tegangan berdasarkan peralihan kapasitor, transformator tambahan dengan rasio konversi sehingga meningkatkan kompleksitas konverter, dan selain itu juga komponen yang digunakan dalam pembuatan konverter masih banyak [4].

Dari macam teknik peningkatan diatas, sehingga dibutuhkan konverter yang memiliki jumlah komponen yang sedikit dan dapat menghasilkan tegangan keluaran tegangan yang lebih tinggi. Oleh karena itu, kombinasi konverter KY dengan konverter *buck-boost* adalah konverter yang mempunyai jumlah komponen yang sedikit dan

merupakan hasil kombinasi antara konverter KY dengan konverter *buck-boost* yang menambahkan kopel induktor. Konverter ini dapat menghasilkan perubahan tegangan yang lebih tinggi dari pada konverter pada umumnya, riak tegangan yang kecil dan respon waktu transien yang cepat[4].

## 1.2 Perumusan Masalah

Hal yang menjadi permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah

1. Bagaimana menaikkan rasio tegangan pada konverter
2. Bagaimana mengurangi *ripple* tegangan *output*

## 1.3 Tujuan dan Manfaat

Tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini :

1. Mengetahui prinsip kerja DC-DC KY konverter yang dikombinasikan dengan konverter *Buck-Boost*.
2. Merancang sistem konverter DC-DC dengan kontrol PI yang dapat mempertahankan tegangan keluaran sistem tetap terjaga sesuai dengan ratingnya.
3. Mengetahui analisis dan karakteristik konversi tegangan dan efisiensi daya dari konverter DC-DC KY konverter yang dikombinasikan dengan konverter *Buck-Boost*.

## 1.4 Batasan masalah

Untuk menyelesaikan masalah dalam tugas akhir ini, maka perlu diberi batasan-batasan sebagai berikut :

1. Hanya membuat alat konverter DC-DC untuk beban resistif.
2. Kontrol sistem yang digunakan menggunakan PI (*Proportional Integrator*).
3. Sumber tegangan yang digunakan untuk pengujian menggunakan sumber tegangan DC *variable*.
4. Nilai dari komponennya disesuaikan dengan yang paling mendekati komponen yang ada dipasaran.

## **1.5 Metodologi**

Dalam pelaksanaan tugas akhir ini yang berjudul Desain dan Implementasi Penaik Tegangan Menggunakan Kombinasi KY konverter dan konverter *Buck-Boost*, ada beberapa kegiatan yang dapat diuraikan sebagai berikut :

- Studi pustaka : mencari literatur pendukung guna terselesaikannya tugas akhir yang dibuat.
- Perencanaan dan pembuatan alat : agar sistem konverter dapat bekerja dengan baik, sebelum pembuatan rangkaian hal yang dilakukan melakukan perancangan dan simulasi menggunakan software.
- Perencanaan dan Pembuatan *Software* : agar hasil perancangan pembuatan alat dapat bekerja dengan normal, maka perlu perancangan hardware dan perancangan *software*.
- Penyusunan Laporan : Laporan akan dikerjakan menurut dan berdasarkan hasil akhir dari terselesaikannya alat dan tugas akhir.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Pembahasan pada laporan tugas akhir ini terdiri dari lima bab, yaitu pendahuluan, teori penunjang, perencanaan dan pembuatan alat, pengujian dan analisis alat, serta penutup.

### **BAB I PENDAHULUAN**

Membahas tentang latar belakang, permasalahan, maksud dan tujuan, batasan masalah, metodologi, sistematika penulisan.

### **BAB II TEORI PENUNJANG**

Menjelaskan teori penunjang yang dijadikan landasan dan mendukung dalam perencanaan dan pembuatan alat.

### **BAB III PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT**

Membahas perencanaan dan pembuatan perangkat keras yang meliputi rangkaian – rangkaian, dan perangkat lunak yang meliputi program yang akan digunakan untuk menjalankan alat.

## **BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA**

Membahas pengujian dan analisis data terhadap alat yang telah dibuat serta pengujian peralatan pada sistem tersebut.

## **BAB V PENUTUP**

Berisi penutup yang menjelaskan tentang kesimpulan dari pembahasan, perencanaan, pengujian dan analisis berdasarkan data hasil pengujian. Beserta saran untuk pengembangan alat ini lebih lanjut.

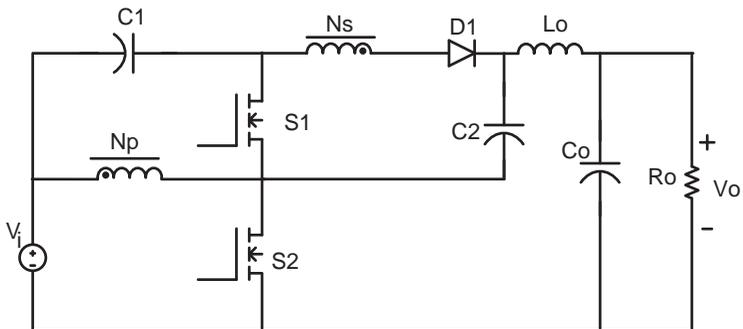
### **1.7 Relevansi**

Hasil yang diperoleh dalam tugas akhir ini diharapkan dapat menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya tentang konverter yang menggunakan kopel induktor.

## BAB II

### DESAIN DAN IMPLEMENTASI PENAIK TEGANGAN KOMBINASI KY CONVERTER DAN BUCK-BOOST CONVERTER

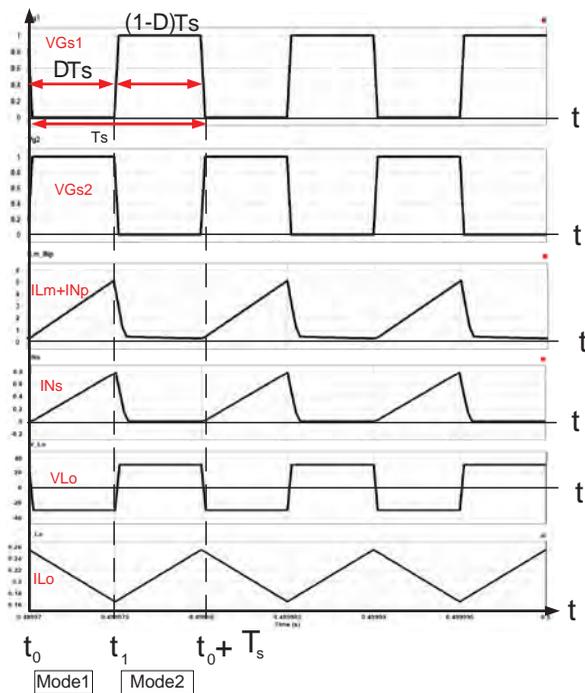
Konverter DC-DC kombinasi KY *converter* dan Buck-boost *converter* adalah konverter yang dapat meningkatkan tegangan masukan DC ke level tegangan keluaran yang lebih tinggi. Konverter ini merupakan pengembangan dari konverter KY[4]. Gambar 2.1 merupakan rangkaian dari kombinasi KY *converter* dan buck-boost *converter*.



**Gambar 2.1** Rangkaian Konverter Kombinasi KY *converter* dan Buck-Boost *converter*

Berikut merupakan penjelasan dari gambar 2.1 tersebut, prinsip kerja suatu konverter dapat dijelaskan melalui mode operasinya. Konverter ini memiliki 2 mode operasi dalam satu periode pensaklaran, seperti ditunjukkan gambar 2.2. Pada konverter ini terdiri dari dua saklar  $S_1$  dan  $S_2$ , satu kopel induktor dengan perbandingan jumlah belitan primer dan jumlah belitan sekunder. Satu *energy transfer* kapasitor  $C_1$ , satu *charger pump* kapasitor  $C_2$ , satu dioda  $D_1$ , satu induktor keluara  $L_o$ , dan satu kapasitor keluaran  $C_o$ . Dalam melakukan analisis, diasumsikan sebagai berikut :

1. Kopel induktor dimodelkan sebagai transformator yang ideal kecuali magnetisasi induktor  $L_m$  yang terhubung secara paralel dengan gulungan primer dan kebocoran induktor  $L_{11}$  yang dihubungkan seri dengan belitan primer. Oleh karena itu kopling koefisien  $k$  di definisikan.
2. Konverter bekerja pada operasi mode arus positif artinya arus yang mengalir melalui magnetisasi induktor  $L_m$  dan induktor keluaran selalu bekerja di daerah positif.
3. Dead time antara dua MOSFET dihilangkan.
4. MOSFET dan dioda diasumsikan komponen ideal
5. Nilai semua kapasitor diasumsikan cukup besar sehingga teganga kapasitor dijaga konstan
6. Besarnya *ripple* pensaklaran diabaikan.

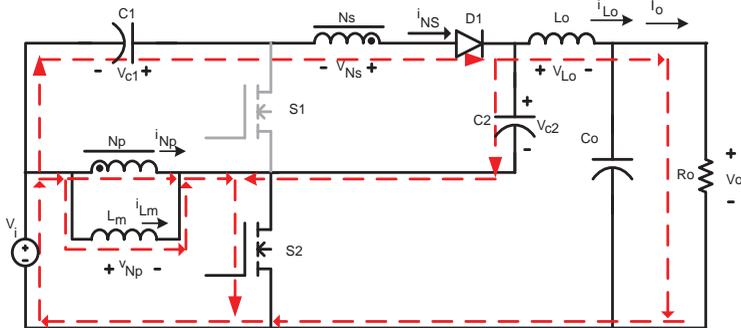


**Gambar 2.2** Gelombang mode pensaklaran konveter

## 2.1 Coupling Sama Dengan Satu

### 2.1.1 Mode 1

Pada saat  $t_0-t_1$ , saklar S1 *on* dan S2 *off* ditunjukkan pada Gambar 2.3. Sumber DC  $V_{in}$  menyalurkan energi ke induktor  $L_{Np}$  dan  $L_m$  kemudian ke S2. Dalam waktu yang bersamaan sumber  $V_{in}$  mengalir ke kapasitor  $C_1$ , Induktor  $L_{Ns}$ , dioda  $D_1$ , dan saklar S2. Pada saat yang sama, sumber  $V_{in}$ , kapasitor  $C_1$ , Induktor  $L_{Ns}$ , dioda  $D_1$  terbung seri untuk menyalurkan energi ke induktor  $L_o$ , kapasitor  $C_o$ , dan beban R. Ketika sumber DC mengalir melalui  $L_m$  maka membuat  $L_m$  menjadi termagnetisasi dan  $L_{Ns}$  menjadi terinduksi. Kapasitor  $C_1$  melepaskan energi ke induktor  $L_{Ns}$  dan Dioda  $D_1$  menjadi bias maju. Pada saat yang sama, kapasitor  $C_2$  melakukan pengisian sehingga tegangan pada  $C_2$  termuati. Dalam waktu yang bersamaan, tegangan melewati  $L_o$  menjadi bermuatan negatif karena  $V_{C2}-V_o$ , kemudian membuat  $L_o$  menjadi termagnetisasi.

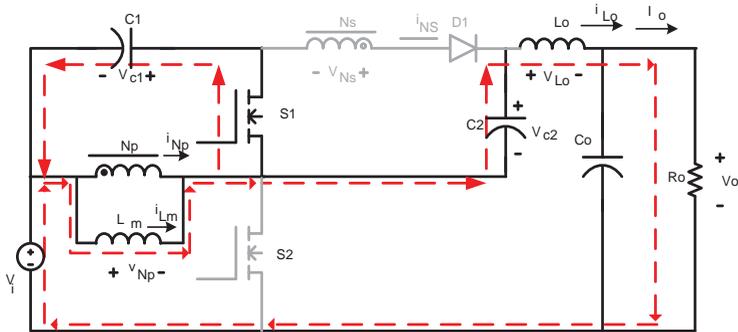


**Gambar 2.3** Mode Operasi 1( $t_0 - t_1$ )

### 2.1.2 Model 2

Pada saat  $t_1-t_2$ , saklar S1 *on* dan S2 *off* ditunjukkan pada Gambar 2.4. Sumber DC  $V_{in}$  menyalurkan energi ke induktor kopel  $L_{Np}$  dan  $L_m$  ke S1 kemudian ke  $C_1$ , sehingga tegangan pada  $C_1$  menjadi  $-V_{c1}$  dan kembali ke  $V_{L_{Np}}$ . Pada saat yang sama tegangan  $V_{in}$ , induktor  $L_m$  dan  $L_{Np}$ , kapasitor  $C_2$  terhubung seri untuk menyalurkan energi ke induktor

$L_o$ , kapasitor  $C_o$ , dan beban  $R$ . Karena tegangan seri melewati  $C_2$  maka membuat dioda  $D_1$  menjadi terbias mundur dan  $V_{L_{N_s}}$  tidak teraliri tegangan, sehingga membuat tegangan pada  $L_o$  menjadi bernilai positif.



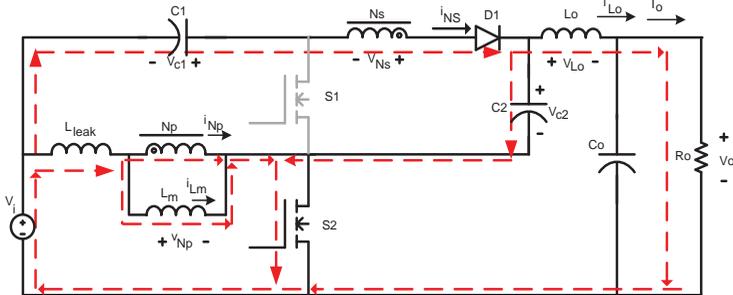
**Gambar 2.4** Mode Operasi  $2(t_1 - t_2)$

## 2.2 Coupling Tidak Sama Dengan Satu

Pada bagian ini kopling koefisien  $k$  adalah tidak sama satu, dengan kata lain kebocoran induktor pada *couple* induktor dimasukkan kedalam perhitungan.

### 2.2.1 Mode 1

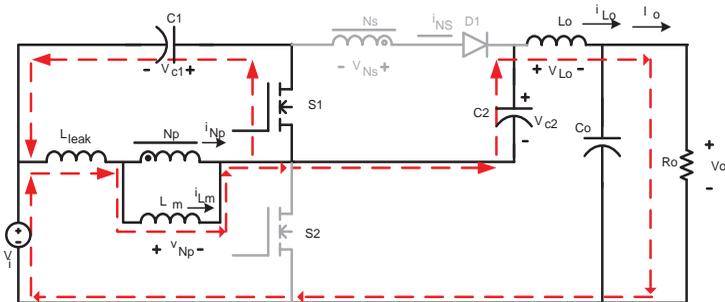
Pada saat  $t_0-t_1$ , saklar  $S_1$  *on* dan  $S_2$  *off* ditunjukkan pada Gambar 2.5. Sumber DC  $V_{in}$  menyalurkan energi ke induktor  $L_{Np}$ ,  $L_{lk}$  dan  $L_m$  kemudian ke  $S_2$ . Dalam waktu yang bersamaan sumber  $V_{in}$  mengalir ke kapasitor  $C_1$ , Induktor  $L_{N_s}$ , dioda  $D_1$ , dan saklar  $S_2$ . Pada saat yang sama, sumber  $V_{in}$ , kapasitor  $C_1$ , Induktor  $L_{N_s}$ , dioda  $D_1$  terbangun seri untuk menyalurkan energi ke induktor  $L_o$ , kapasitor  $C_o$ , dan beban  $R$ . Ketika sumber DC mengalir melalui  $L_m$  dan  $L_{lk}$  maka membuat  $L_m$  dan  $L_{lk}$  menjadi termagnetisasi dan  $L_{N_s}$  menjadi terinduksi. Kapasitor  $C_1$  melepas energi ke induktor  $L_{N_s}$  dan Dioda  $D_1$  menjadi bias maju. Pada saat yang sama, kapasitor  $C_2$  melakukan pengisian sehingga tegangan pada  $C_2$  termuati. Dalam waktu yang bersamaan, tegangan melewati  $L_o$  menjadi bermuatan negatif karena  $V_{C_2}-V_o$ , kemudian membuat  $L_o$  menjadi termagnetisasi.



**Gambar 2.5** Mode Operasi 1 ( $t_0 - t_1$ )

### 2.2.2 Mode 2

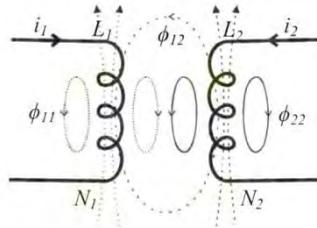
Pada saat  $t_1-t_2$ , saklar  $S_1$  *on* dan  $S_2$  *off* ditunjukkan pada Gambar 2.6. Sumber DC  $V_{in}$  menyalurkan energi ke induktor kopel  $L_{Np}$ ,  $L_{lk}$  dan  $L_m$  ke  $S_1$  kemudian ke  $C_1$ , sehingga tegangan  $L_{lk}$  dan  $L_m$  mengirimkan ke  $C_1$  menjadi  $-V_{C1}$  dan kembali ke  $V_{L_{Np}}$ . Pada saat yang sama tegangan  $V_{in}$ , induktor  $L_m$ ,  $L_{lk}$  dan  $L_{Np}$ , kapasitor  $C_2$  terhubung seri untuk menyalurkan energi ke induktor  $L_o$ , kapasitor  $C_o$ , dan beban  $R$ . Karena tegangan seri melewati  $C_2$  maka membuat dioda  $D_1$  menjadi terbias mundur dan  $V_{L_{Ns}}$  tidak teraliri tegangan, sehingga membuat tegangan pada  $L_o$  menjadi bernilai positif.



**Gambar 2. 6** Mode Operasi 2 ( $t_1 - t_2$ )

### 2.3 Induktor –Kopel

Induktor-kopel adalah dua atau lebih induktor yang dikopel pada satu inti yang sama. Induktor-induktor ini bekerja dengan saling mempengaruhi. Jika salah satu induktor dialiri arus, maka akan terbangkit fluks yang dapat menginduksi induktor lainnya [5]. Gambar 2.7 di bawah ini menunjukkan arah fluks magnet pada induktor-kopel.



**Gambar 2.7** Arah Fluks Induktor-Kopel

Seperti yang terlihat pada gambar di atas, induktor  $L_1$  memiliki dua jenis fluks,  $\phi_{11}$  dan  $\phi_{12}$ . Fluks  $\phi_{11}$  merupakan fluks yang melingkupi induktor  $L_1$  sedangkan  $\phi_{12}$  merupakan bagian dari fluks  $\phi_{11}$  yang terhubung ke induktor  $L_2$ . Fluks  $\phi_{12}$  ini disebut sebagai *mutual flux* atau *leakage flux* dari suatu induktor. Hal ini juga berlaku untuk induktor  $L_2$ .

Berdasarkan persamaan umum terbangkitnya tegangan pada sebuah induktor, hubungan antara fluks  $\phi_{11}$ ,  $\phi_{22}$ , dan  $\phi_{12}$  dengan tegangan pada masing-masing induktor adalah sebagai berikut:

$$V_{L1} = N_1 \frac{d\phi_{11}}{dt} + N_1 \frac{d\phi_{12}}{dt} \quad (2.1)$$

$$V_{L2} = N_2 \frac{d\phi_{21}}{dt} + N_2 \frac{d\phi_{22}}{dt} \quad (2.2)$$

Atau dapat juga ditulis

$$V_{L1} = L_{11} \frac{di_1}{dt} + L_{12} \frac{di_2}{dt} \quad (2.3)$$

$$V_{L2} = L_{21} \frac{di_{21}}{dt} + L_{22} \frac{di_{22}}{dt} \quad (2.4)$$

Dimana  $V_{L1}$ ,  $V_{L2}$ ,  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $i_1$ ,  $i_2$ , masing-masing merupakan tegangan, jumlah lilitan, dan arus pada induktor 1 dan induktor 2.  $\phi_{11}$  dan  $\phi_{22}$  merupakan fluks yang terbangkit pada induktor 1 dan induktor 2.  $\phi_{12}$  merupakan fluks pada induktor 1 akibat induktor 2 dan  $\phi_{21}$  adalah fluks pada induktor 2 akibat induktor 1.  $L_{11}$  dan  $L_{22}$  merupakan induktansi sendiri pada induktor 1 dan induktor 2.  $L_{12}$  dan  $L_{21}$  adalah induktansi bersama induktor-kopel. Karena  $L_{12}$  dan  $L_{21}$  besarnya sama, maka induktansi bersama dapat juga ditulis sebagai  $L_M$  [5].

Induktor-kopel memiliki koefisien kopling,  $k$ . Koefisien kopling ini digunakan untuk mengetahui kerapatan kopling yang menunjukkan kualitas induktor-kopel. Koefisien kopling bernilai antara 0 sampai 1. Hubungan antara koefisien kopling, induktansi sendiri dan induktansi bersama suatu induktor-kopel dirumuskan sebagai berikut[6]:

$$L_M = \left( \frac{N_1}{N_2} \right) \times \sqrt{(L_{11} \times L_{22}) - (L_{leak12} \times L_{22})} \quad (2.5)$$

$$k = \frac{L_m}{L_{lk} + L_m} = \frac{L_m}{L_p} \quad -1 \leq k \leq 1 \quad (2.6)$$

Jika induktor tidak dikopel, maka  $L_M = 0$ , sehingga  $k = 0$ . Jika induktor dikopel dengan sangat rapat, maka semua fluks pada salah satu kumparan mengalir ke kumparan lainnya, dengan kata lain, tidak ada fluks bocor pada induktor-kopel tersebut, pada kondisi ini nilai  $k = 1$ . Artinya, semakin besar nilai koefisien kopling suatu induktor-kopel, semakin baik kualitas induktor-kopel tersebut.

## 2.4 Penurunan Rumus Rasio Konversi Tegangan Konverter

Induktor kopel dimodelkan sebagai transformator ideal dengan induktor magnetisasi  $L_m$  dan induktor bocor  $L_{lk}$  disisi primer, perbandingan belitan ( $N$ ) dan kopling koefisien dari induktor kopel didefinisikan sebagai berikut :

$$N = \frac{N_s}{N_p} \quad (2.7)$$

$$k = \frac{L_m}{L_{lk} + L_m} = \frac{L_m}{L_p} \quad (2.8)$$

Dimana  $n_1$  dan  $n_2$  adalah jumlah belitan primer dan sekunder induktor kopel.

Pada mode I, gambar 2.4 saklar S1 *off* dan S2 *on*, Sumber DC  $V_{in}$  menyalurkan energi ke induktor  $L_{Np}$  dan  $L_m$  kemudian ke S2. Sehingga membuat  $N_p$  terinduksi dan persamaan tegangan yang melewati  $V_{Np}$  dan  $V_{Ns}$  dapat di tulis sebagai berikut :

$$V_{Np} = \frac{L_m}{L_{lk} + L_m} \times V_i = kV_i \quad (2.9)$$

$$V_{Ns} = V_{Np} \times \frac{N_s}{N_p} = kV_i \times \frac{N_s}{N_p} \quad (2.10)$$

Pada saat yang sama tegangan pada kapasitor  $C_2$  dan  $L_o$  dapat di tulis dengan persamaan sebagai berikut :

$$V_{C2} = V_{C2} = V_i + V_{C1} + V_{Ns} = V_i + V_{C1} + kV_i \times \frac{N_s}{N_p} \quad (2.11)$$

$$V_{Lo} = V_{C2} - V_o \quad (2.12)$$

Pada mode II, gambar 2.3 saklar S1 *on* dan S2 *off*, tegangan yang melewati induktor  $L_o$  dan kapasitor  $C_1$  dapat ditulis sebagai berikut :

$$V_{Np} = -kV_{C1} \quad (2.13)$$

$$V_{Lo} = V_i + V_{C1} + V_{C2} - V_o \quad (2.14)$$

Dengan mengaplikasikan prinsip *induktor volt-second balance* pada kedua induktor  $L_m$  dan  $L_{lk}$  pada satu periode pensaklaran didapat persamaan sebagai berikut :

$$\int_0^{DTs} V_{Lm(on)} dt + \int_{DTs}^T V_{Lm(off)} dt = 0 \quad (2.15)$$

$$DT kV_{in} + (1-D)T V_{Lm(off)} = 0 \quad (2.16)$$

$$V_{C1} = \frac{D}{1-D} \times V_i \quad (2.17)$$

Dengan mengaplikasikan prinsip yang sama pada induktor  $L_o$  didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$\int_0^{DTs} V_{Lo(on)} dt + \int_{DTs}^T V_{Lo(off)} dt = 0 \quad (2.18)$$

$$(V_{C2} - V_o) \times D + (V_i + V_{C1} + V_{C2} - V_o) \times (1 - D) = 0 \quad (2.19)$$

Kemudian dilakukan substitusi persamaan (2.11) dan (2.17) ke persamaan (2.19), maka diperoleh

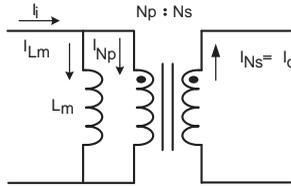
$$M = \frac{V_o}{V_i} = \frac{2-D}{1-D} + k \frac{N_s}{N_p} \quad (2.20)$$

Induktor magnetisasi  $L_m$  memiliki nilai yang jauh lebih besar dibandingkan dengan nilai  $L_{lk}$ , sehingga nilai  $k$  mendekati 1. Dengan menganggap bahwa nilai  $k$  sama dengan 1 (induktor kopel ideal), maka persamaan (2.20) dapat ditulis menjadi :

$$V_o = \left( \frac{2-D}{1-D} + \frac{N_s}{N_p} \right) \times V_i \quad (2.21)$$

## 2.5 Penurunan Persamaan Parameter Konverter

Nilai induktor magnetisasi  $L_m$  dan induktor output  $L_o$  dapat ditentukan dengan menggunakan asumsi yang telah ditentukan, yaitu semua komponen dianggap ideal.



**Gambar 2.8** Model Rangkaian Equevalen Dari Kopel Induktor

Nilai inductor magnetisasi  $L_m$  dan output  $L_o$  dapat ditentukan dengan menggunakan asumsi yang telah ditentukan, yaitu semua komponen dianggap ideal. Dengan asumsi hukum kirchoff dalam rangkaian gambar 2.8, maka

$$I_{in} = I_{Lm} + I_{NP} \quad (2.22)$$

$$I_{Lm} = I_i - I_{NP} \quad (2.23)$$

$$I_{NP} = \frac{N_s}{N_p} \times I_{Ns} \quad (2.24)$$

$$I_o = \frac{V_o}{R_o} \quad (2.25)$$

Dan dengan asumsi besar daya input sama dengan besar daya output, maka

$$P_{in} = P_{out} \quad (2.26)$$

$$V_{in} I_{in} = \frac{V_o^2}{R_o} \quad (2.27)$$

$$I_i = \frac{V_o^2}{R_o \times V_i} \quad (2.28)$$

Dan substitusikan persamaan (2.20) ke dalam persamaan (2.28) diperoleh

$$I_i = \left( \frac{2-D}{1-D} + \frac{N_s}{N_p} \right) \times \frac{V_o}{R_o} \quad (2.29)$$

Substitusi persamaan (2.29) ke persamaan (2.23) diperoleh

$$I_{Lm} = I_i - I_{NPG} \quad (2.30)$$

$$I_{Lm} = \left( \left( \frac{2-D}{1-D} + \frac{N_s}{N_p} \right) \times \frac{V_o}{R} \right) - \left( \frac{N_s}{N_p} \times I_o \right) \quad (2.31)$$

$$I_{Lm} = \left( \left( \frac{2-D}{1-D} + \frac{N_s}{N_p} \right) \times I_o \right) - \left( \frac{N_s}{N_p} \times I_o \right) \quad (2.32)$$

$$I_{Lm} = \frac{2-D}{1-D} \times I_o \quad (2.33)$$

Nilai maksimum dan minimum arus induktor  $L_m$  dapat ditentukan dengan menggunakan nilai rata-rata dan nilai perubahan arusnya, sehingga di peroleh.

$$I_{Lm,max} = I_{Lm} + \frac{\Delta I_{Lm}}{2} \quad (2.34)$$

$$I_{Lm,min} = I_{Lm} - \frac{\Delta I_{Lm}}{2} \quad (2.35)$$

Dimana

$$L = L \frac{di}{dt} \quad (2.36)$$

$$V_L = L \frac{\Delta i}{\Delta t} \quad (2.37)$$

$$\Delta I = \frac{V_L \times \Delta t}{L} \quad (2.38)$$

$$\Delta I_{Lm} = \frac{V_{Lm} \times \Delta t_{on}}{L_m} \quad (2.39)$$

$$\Delta I_{Lm} = \frac{V_{Lm}}{L_m} \times DT_s \quad (2.40)$$

$$\Delta I_{Lm} = \frac{V_i}{L_m} \times DT_s \quad (2.41)$$

Sehingga, setelah dilakukan substitusi persamaan (2.33) dan (2.41) ke persamaan (2.34) dan (2.35), maka diperoleh

$$I_{Lm,max} = \frac{2-D}{1-D} \times I_o + \frac{V_i DT_s}{2L_m} \quad (2.42)$$

$$I_{Lm,min} = \frac{2-D}{1-D} \times I_o - \frac{V_i DT_s}{2L_m} \quad (2.43)$$

Syarat konverter beroperasi secara *Contiunous Conduction Mode (CCM)* adalah arus induktornya harus selalu lebih dari nol. Sehingga, berdasarkan persamaan (2.43), nilai induktor  $L_m$  minimal agar konverter bekerja secara *CCM* adalah

$$0 < I_{Lm,min} \quad (2.44)$$

$$0 < I_{Lm} - \frac{\Delta I_{Lm,min}}{2} \quad (2.45)$$

$$0 < \left( \frac{2-D}{1-D} \times I_o \right) - \left( \frac{V_i DT_s}{2L_m} \right) \quad (2.46)$$

$$L_m > \frac{V_i DT_s}{2 \times I_{Lm}} \quad (2.47)$$

$$L_m > \frac{V_i DT_s}{2 \times \left( \frac{2-D}{1-D} \times I_o \right)} \quad (2.48)$$

Dengan menggunakan prinsip hukum kirchoff, maka nilai induktor magnetisasi  $L_o$  dapat ditentukan dari gambar 2.6 sebagai berikut :

$$I_{Ns} = I_o = I_{Lo} = \frac{V_o}{R_o} \quad (2.49)$$

Sehingga nilai maksimum dan minimum arus induktor  $L_m$  dapat ditentukan dengan menggunakan nilai rata-rata dan nilai perubahan arusnya.

$$I_{Lo,max} = I_{Lo} + \frac{\Delta I_{Lo}}{2} \quad (2.50)$$

$$I_{Lo,min} = I_{Lo} - \frac{\Delta I_{Lo}}{2} \quad (2.51)$$

Dimana

$$L = L \frac{di}{dt} \quad (2.52)$$

$$V_L = L \frac{\Delta i}{\Delta t} \quad (2.53)$$

$$\Delta I = \frac{V_L \times \Delta t}{L} \quad (2.54)$$

$$\Delta I_{Lo} = \frac{V_{Lo} \times \Delta t_{on}}{L_o} \quad (2.55)$$

$$\Delta I_{Lo} = \frac{V_{Lo}}{L_o} \times DT_s \quad (2.56)$$

$$\Delta I_{Lo} = \frac{V_{Lo}}{L_o} \times DT_s \quad (2.57)$$

Dengan substitusikan (2.25), (2.28), (2.29) kedalam persamaan (2.57), maka diperoleh

$$\Delta I_{L_o} = \frac{V_{L_o} D T_s}{L_o} = \frac{(V_i + V_{C_1} + V_{C_2} - V_o) \times (1-D) T_s}{L_o} \quad (2.58)$$

Sehingga, setelah dilakukan substitusi persamaan (2.37) dan (2.57) ke persamaan (2.50) dan (2.51), maka diperoleh

$$I_{L_o, \max} = \frac{V_o}{R_o} + \frac{V_{L_o} D T_s}{2 L_o} \quad (2.59)$$

$$I_{L_o, \min} = \frac{V_o}{R_o} - \frac{V_{L_o} D T_s}{2 L_o} \quad (2.60)$$

Syarat konverter beroperasi secara *Continuous Conduction Mode (CCM)* adalah arus induktornya harus selalu lebih dari nol. Sehingga, berdasarkan persamaan (2.60), nilai induktor  $L_o$  minimal agar konverter bekerja secara *CCM* adalah

$$0 < I_{L_o, \min} \quad (2.61)$$

$$0 < I_{L_o} - \frac{\Delta I_{L_o}}{2} \quad (2.62)$$

$$I_{L_o} > \frac{\Delta I_{L_o}}{2} \quad (2.63)$$

$$2 I_{L_o} > \Delta I_{L_o} \quad (2.64)$$

$$2 I_{L_o} > \frac{V_{L_o} D T_s}{L_o} \quad (2.65)$$

$$L_o > \frac{V_{L_o} D T_s}{2 \times I_{L_o}} \quad (2.66)$$

Sedangkan untuk mendapatkan persamaan pada kapasitor  $C_1$  dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (2.67);

$$C_1 \geq \frac{i_{C1} \times \Delta t}{\Delta V_{C1}} = \frac{(I_{i,rated} - I_{o,rated}) \times (1 - D)T_s}{\Delta V_{C1} \times V_{C1}} \quad (2.67)$$

Kapasitor  $C_2$  dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (2.68);

$$C_1 \geq \frac{i_{C2} \times \Delta t}{\Delta V_{C2}} = \frac{I_{Lo,rated} \times (1 - D)T_s}{\Delta V_{C1} \times V_{C2}} \quad (2.68)$$

Dan kapasitor  $C_3$  dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (2.69) dan (2.70) :

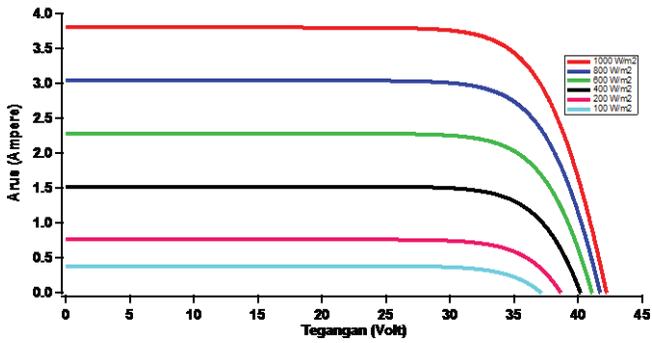
$$ESR \leq \frac{\Delta V_o}{\Delta i_{Lo}} = \frac{\Delta V_o \times V_o}{\Delta i_{Lo}} \quad (2.69)$$

$$C_o \geq \frac{65\mu}{ESR} \quad (2.70)$$

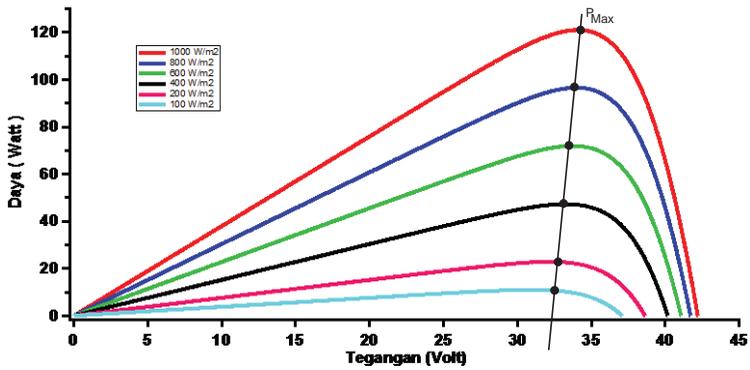
## 2.6 Fotovoltaik

Fotovoltaik atau solar sel adalah pembangkit tenaga listrik yang dapat merubah sinar matahari menjadi sumber tenaga listrik. Solar sel merupakan sumber terbarukan karena memiliki kelebihan, seperti tidak adanya biaya bahan bakar, sedikit perawatan, tidak ada suara, dan tidak adanya bagian yang bergerak. Selain itu hasil dari perubahan sinar matahari dapat langsung dimanfaatkan. Pada penelitian ini menggunakan elsol eS50236-PCM.

Dari gambar 2.9 merupakan grafik arus terhadap tegangan fotovoltaik dengan perubahan iradiasi. Dan gambar 2.10 merupakan grafik daya terhadap tegangan fotovoltaik dengan perubahan iradiasi. Dari kedua gambar tersebut dapat diperoleh daya maksimal yang dapat dihasilkan oleh fotovoltaik. Perolehan daya maksimal fotovoltaik dengan cara menggalikan masing masing arus dan tegangan dari gambar 2.9 sehingga akan diperoleh daya maksimal pada gambar 2.10.



Gambar 2.9 Kurva I-V dengan perubahan iradiasi



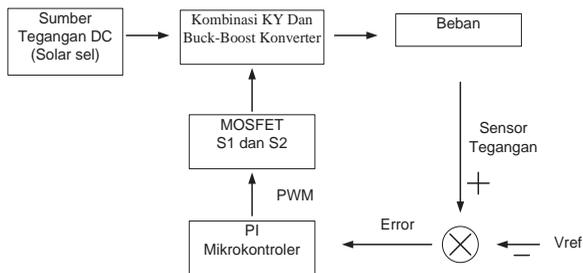
Gambar 2.10 Kurva P-V dengan perubahan Iradiasi

## BAB III PERANCANGAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai proses desain, simulasi dan implementasi kombinasi *KY converter* dan *Buck-boost converter*. Proses perancangan konverter dilakukan dengan menghitung dan menentukan nilai-nilai komponen yang akan digunakan pada implementasi alat. Simulasi dilakukan untuk memastikan bahwa konverter dapat bekerja sesuai yang diharapkan. Hasil dari desain dan simulasi digunakan sebagai dasar implementasi alat.

### 3.1 Blok Diagram Sistem Secara Keseluruhan

Gambar 3.1 menunjukkan diagram blok secara keseluruhan dari implementasi peralatan yang akan dibuat terdiri dari sumber tegangan DC, konverter DC-DC, beban, kendali mosfet, dan PWM



**Gambar 3.1** Diagram Blok Desain Konverter

Dari gambar 3.1, sumber tegangan DC pada rangkaian utama diperoleh dari tegangan keluaran panel surya. Pada implementasi konverter DC-DC menggunakan dua buah solar sel dengan daya masing-masing solar sel yaitu 50 watt yang di seri, tetapi karena daya keluaran dan tegangan keluaran dari solar sel sangat bergantung pada iradiasi sinar matahari maka dalam pengujian juga digunakan sumber tegangan berasal dari *power supply* yang ada di laboratorium.

Pada perancangan konverter DC-DC yang dibuat dirancang untuk menaikkan tegangan dari 30 volt dc menjadi 320v dc yang merupakan tegangan untuk aplikasi inverter agar dapat dikonversikan menjadi  $220V_{rms}$ .

### 3.2 Desain konverter DC-DC kombinasi KY konverter dan Buck-Boost konverter

Pada perancangan konverter dilakukan untuk menentukan parameter rangkain dengan memperhitungkan peralatan di laboratorium dan komponen yang ada di pasaran, sehingga dapat mempermudah dalam pengimplementasian konverter. Tabel 3.1 merupakan parameter-parameter yang digunakan sebagai acuan dalam perancangan konverter DC-DC yang akan dibuat.

**Tabel 3. 1** Spesifikasi perancangan konverter DC-DC

Parameter	Nilai Besaran
Tegangan Masukkan ( $V_{in}$ )	30 – 35 Volt
Tegangan Keluaran ( $V_o$ )	320 Volt
Frekuensi Pensaklaran ( $f_s$ )	100 kHz
Daya Masukkan ( $P_{in}$ )	100 Watt
Daya Keluaran, Max ( $P_{o, max}$ )	100Watt
Daya Keluaran, Min ( $P_{o, min}$ )	10 Watt
Perbandingan Belitan	1 : 6
Riak Tegangan $C_1$ ( $\Delta C_1$ )	1 %
Riak Tegangan $C_2$ ( $\Delta C_2$ )	0.1 %
Riak Tegangan $C_o$ ( $\Delta C_o$ )	0.1 %
Ripple Arus $L_o$ ( $\Delta L_o$ )	20 %

#### 3.2.1 Penentuan Rasio Konversi dan *Duty Cycle*

Berdasarkan hasil penurunan rumus di bab 2 pada persamaan (2.21), besar rasio konversi ( $M$ ) dan *dutycycle* ( $D$ ) yang dibutuhkan konverter untuk menaikkan tegangan masukkan 30 volt dc menjadi 320

volt dc ditentukan dengan kopling koefisien dianggap satu sebagai berikut :

$$M = \frac{V_o}{V_i} = \frac{320}{30} = 10.66$$

$$D = \frac{\left(\frac{V_o}{V_i}\right) - \left(\frac{N_s}{N_p}\right) - 2}{\left(\frac{V_o}{V_i}\right) - \left(\frac{N_s}{N_p}\right) - 1}$$

$$D = \frac{\left(\frac{320}{30}\right) - \left(\frac{6}{1}\right) - 2}{\left(\frac{320}{30}\right) - \left(\frac{6}{1}\right) - 1} = 0.72$$

Pada saat tegangan masukkan maksimum ( $V_{in}= 35$  V), besar rasio konversi dan *dutycycle* konverter adalah

$$M = \frac{V_o}{V_i} = \frac{320}{35} = 9.14$$

$$D = \frac{\left(\frac{320}{35}\right) - \left(\frac{6}{1}\right) - 2}{\left(\frac{320}{35}\right) - \left(\frac{6}{1}\right) - 1} = 0.53$$

Maka nilai  $d$  di pilih 0.72, karena *dutycycle* tegangan 35 volt sudah masuk didalam daerah *dutycycle* 0.72 dari tegangan 30 volt.

### 3.2.2 Penentuan Besar Beban

Sesuai dengan spesifikasi alat yang akan dibuat pada Tabel 3.1, konverter didesain untuk bekerja pada daya keluaran maksimum sebesar 100 watt dengan teggangan keluaran 320V. Berdasarkan persamaan (3.1), besar beban R adalah sebagai berikut :

$$R_{out,max} = \frac{V_{out}^2}{P_{out,max}} = \frac{320^2}{100} = 1024 \Omega \quad (3.1)$$

$$R_{out,max} = \frac{320^2}{100} = 1024 \Omega$$

### 3.2.3 Penentuan Nilai Induktor

#### 3.2.3.1 Penentuan Nilai *Couple* Induktor Magnetisasi

Konverter ini dirancang untuk selalu beroperasi secara CCM (*Continous Conduction Mode*) atau arus couple induktor  $L_m$  selalu beroperasi pada daerah positif. Sehingga perlu diketahui nilai batas minimum arus yang mengalir pada induktor  $L_{lk}$  dan  $L_m$  kontinu. Berdasarkan persamaan (2.47) maka diperoleh nilai sebagai berikut :

$$R_{out,min} = \frac{V_{out,min}^2}{P_{out,min}} \quad (3.2)$$

$$R_{out,min} = \frac{320^2}{10} = 10240 \Omega$$

$$I_{Lm,min} = \frac{2-D}{1-D} \times \frac{V_0}{R_{0,min}} \quad (3.3)$$

$$I_{Lm,min} = \frac{2-0.72}{1-0.72} \times \frac{320}{10240} = 0.143 A$$

Setelah memperoleh nilai arus  $L_m$  minimum, maka nilai  $L_m$  yang diperoleh :

$$L_m \geq \frac{V_i DT_s}{\Delta i_{Lm}} \quad (3.4)$$

$$L_m \geq \frac{V_i DT_s}{2 \times I_{Lm,min}} = \frac{30 \times 0.72 \times 10\mu}{2 \times 0.143} = 755 \mu H$$

Dimana :

- $L_m$  = Induktor
- $V_i$  = Tegangan masukkan

- $D$  = *Dutycycle*  
 $T_s$  = Periode frekuensi  
 $I_{L_m, \min}$  = arus DC minimum pada  $L_m$

### 3.2.3.2 Penentuan Nilai Induktor Keluaran

Pada perancangan untuk menentukan nilai induktor keluaran konverter DC-DC menggunakan persamaan (2.66) dengan *ripple* arus maksimum di tetukan sebesar 20% dari arus yang mengalir, sehingga diperoleh nilai  $L_o$  sebagai berikut :

$$L_o \geq \frac{v_{L_o} \Delta t}{\Delta i_{L_o}} \Omega \quad (3.5)$$

$$L_o \geq \frac{(V_i + V_{C1} + V_{C2} - V_o)(1 - D)T_s}{\Delta i_{L_o}}$$

$$L_o \geq \frac{\left( V_i + V_i \times \frac{D}{1-D} + V_i + V_i \times \frac{D}{1-D} + V_i \times \frac{N_s}{N_p} - V_o \right) (1 - D)T_s}{20\% \times I_{L_o, \text{rated}} \times 2}$$

$$L_o \geq \frac{\left( 30 + 30 \times \frac{0.72}{1-0.72} + 30 + 30 \times \frac{0.72}{1-0.72} + 30 \times 6 - 320 \right) (1 - 0.71)10\mu}{20\% \times 0.3215 \times 2}$$

$$L_o \geq 1.664 \text{ mH}$$

Dimana :

- $L_o$  = Induktor  
 $V_i$  = Tegangan masukan  
 $V_{c1}$  = Tegangan pada  $C_1$   
 $V_{c2}$  = Tegangan pada  $C_2$   
 $D$  = *Dutycycle*  
 $T_s$  = Periode frekuensi  
 $I_{o, \text{rated}}$  = Arus DC output pada  $L_o$   
 $\Delta i_{L_o}$  = Arus *ripple* pada  $L_o$

### 3.2.4 Penentuan Nilai Kapasitor

#### 3.2.4.1 Penentuan Nilai Kapasitor $C_1$

Nilai kapasitor  $C_1$  dihitung menggunakan persamaan (2.67). Dimana *ripple* tegangan ditentukan sebesar 1% dari nilai tegangan puncak ke puncak tegangan kapasitor selama periode pengisian, sehingga diperoleh nilai sebagai berikut :

$$V_{C1} = V_i \times \frac{D}{1-D} \quad (3.6)$$

$$V_{C1} = 30 \times \frac{0.72}{1 - 0.72} = 77.14 \text{ V}$$

Untuk mencari nilai kapasitansi dari  $C_1$ , maka dapat diperoleh:

$$C_1 \geq \frac{i_{C1} \Delta t}{\Delta v_{C1}} \quad (3.7)$$

$$C_1 \geq \frac{(I_{i, rated} - I_{o, rated})(1 - D)T_s}{0.01 \times V_{C1}}$$

$$C_1 \geq \frac{(3.33 - 0.3125)(1 - 0.72)10\mu}{0.01 \times 30}$$

$$C_1 \geq 10.95 \mu F$$

Sehingga dipilih  $C_1 = 22 \mu F / 100V$

Dimana ;

$C_1$  = Kapasitor

$D$  = *Dutycycle*

$T_s$  = Periode frekuensi

$I_{i, rated}$  = Arus masukan maksimal

$I_{o, rated}$  = Arus keluaran maksimal

### 3.2.4.2 Penentuan Nilai Kapasitor C<sub>2</sub>

Nilai kapasitor C<sub>2</sub> dihitung menggunakan persamaan (2.68). Dimana *ripple* tegangan ditentukan sebesar 0.1% dari nilai tegangan pengosongan kapasitor, sehingga diperoleh nilai sebagai berikut :

$$V_{C2} = V_i + V_{C1} + V_i \times \frac{N_s}{N_p} \quad (3.8)$$

$$V_{C2} = V_i + V_i \times \frac{D}{1-D} + V_i \times \frac{N_s}{N_p}$$

$$V_{C2} = 30 + 30 \times \frac{0.72}{1-0.72} + 30 \times \frac{6}{1} = 237.14 \text{ Volt}$$

Untuk mencari nilai kapasitansi dari V<sub>c2</sub>, maka dapat diperoleh:

$$C_2 \geq \frac{i_{C2} \Delta t}{\Delta_{vc2}} \quad (3.9)$$

$$C_2 \geq \frac{I_{o, \text{rated}}(1-D)T_s}{0.01 \times V_{C2}}$$

$$C_2 \geq \frac{0.3125(1-0.72)10\mu}{0.01 \times 237.14}$$

$$C_2 \geq 0.3689\mu F$$

ehingga dipilih C<sub>2</sub> = 10 μF / 250V

Dimana ;

C<sub>2</sub> = Kapasitor

V<sub>i</sub> = Tegangan masukan

D = *Dutycycle*

T<sub>s</sub> = Periode frekuensi

I<sub>o, rated</sub> = Arus keluaran maksimal

### 3.2.4.3 Penentuan Nilai Kapasitor C<sub>3</sub>

Nilai kapasitor filter C<sub>o</sub> digunakan untuk memfilter tegangan riak keluaran sebanyak mungkin dan dihitung menggunakan persamaan (2.69) dan persamaan (2.70). Dimana *ripple* tegangan ditentukan sebesar 0.1% dari nilai tegangan keluarann kapasitor. Oleh karena itu, setara dengan *seri resitance output* kapasitor, sehingga diperoleh nilai sebagai berikut :

$$ESR \leq \frac{\Delta V_o}{\Delta i_{L_o}} \quad (3.10)$$

$$ESR \leq \frac{0.001 \times V_o}{20\% \times I_{L_o, rated} \times 2}$$

$$ESR \leq \frac{0.001 \times 320}{20\% \times 0.3125 \times 2} \approx 2,56 \Omega$$

Oleh karena itu nilai Co dapat diperoleh dari :

$$C_3 \geq \frac{65\mu}{ESR} \quad (3.11)$$

$$C_3 \geq \frac{65\mu}{2,56} \approx 25,39\mu F$$

Sehingga dipilih = 33  $\mu$ F / 450V

Dimana ;

C<sub>o</sub> = Kapasitor

ESR = *Equivalen series resitance*

$\Delta V_o$  = Keluaran *ripple* tegangan

$\Delta i_{L_o}$  = Arus *ripple* pada L<sub>o</sub>

I<sub>o, rated</sub> = Arus keluaran maksimal

Dari hasil perhitungan nilai komponen, maka diperoleh parameter komponen, sebagai berikut :

**Tabel 3.2** Parameter hasil perhitungan

Parameter	Nilai
Magnetisasi Induktor $L_m$	755 $\mu$ H
Output induktor $L_o$	1,664 mH
Kapasitor $C_1$	22 $\mu$ F / 160 V
Kapasitor $C_2$	10 $\mu$ F / 237,14 V
Kapasitor $C_3$	33 $\mu$ F / 450 V

### 3.2.5 Perancangan *Couple* Induktor

Dalam perancangan kopel induktor, langkah yang dilakukan adalah menghitung arus yang akan melalui kopel induktor dihitung melalui (3.12).

$$I_{in} = \frac{P_{in}}{V_{in}} \quad (3.12)$$

$$I_{in} = \frac{100}{30} = 3.33 \text{ A}$$

Dimana :

- $I_{in}$  = Arus masukan (A)
- $P_{in}$  = Daya masukan (W)
- $V_{in}$  = Tegangan masukan (V)

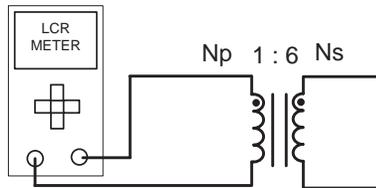
Tahap selanjutnya menentukan kawat email yang akan digunakan, penentuan dilakukan dengan melihat tabel kawat AWG berdasarkan frekuensi atau diatas frekuensi pensaklaran konverter. Pada implementasi ini dipilih kawat dengan frekuensi yaitu 170kHz agar jumlah kawat yang diparalel dapat masuk ke dalam inti *ferrite*. Kemudian kita menentukan berapa banyak paralel kawat email dihitung melalui (3.13) :

$$\text{Paralel kawat email} = \frac{I_{in}}{\text{arus maks kawat email AWG}} \quad (3.13)$$

Sehingga diperoleh

$$\text{Paralel kawat email} = \frac{3.33 \text{ A}}{0.226} = 14,73 \approx 15 \text{ paralel}$$

Selanjutnya dilakukan pengulungan kawat email pada inti ferrite, sesuai dengan perancangan rasio ferrite 1:6 dan dilakukan pengukuran nilai induktansi pada kopel induktor dan kebocoran induktansi menggunakan LCR meter. Pengukuran induktansi bocor dilakukan dengan cara melakukan mengubungkan singkatakan belitan sekunder seperti Gambar 3.2[6].



**Gambar 3.2** Pengukuran kebocoran induktansi

Setelah dilakukan pengulungan dan pengukuran kebocoran induktansi pada kopel induktor tahap selanjutnya melakukan perhitungan nilai induktansi magnetisasi menggunakan persamaan (2.5).

$$\begin{aligned} L_{11} &= 1053,2 \mu\text{H} & N_1 &= 1 \\ L_{22} &= 27730 \mu\text{H} & N_2 &= 6 \\ L_{\text{leak}12} &= 8,036 \mu\text{H} \end{aligned}$$

$$L_m = \frac{N_1}{N_2} \times \sqrt{(L_{11} \times L_{22}) - (L_{\text{leak}12} - L_{22})} \quad (3.14)$$

$$L_m = \frac{1}{6} \times \sqrt{(1053,2\mu\text{H} \times 27730\text{mH}) - (8,036\mu\text{H} - 27730\mu\text{H})}$$

$$L_m = 897,255 \mu\text{H}$$

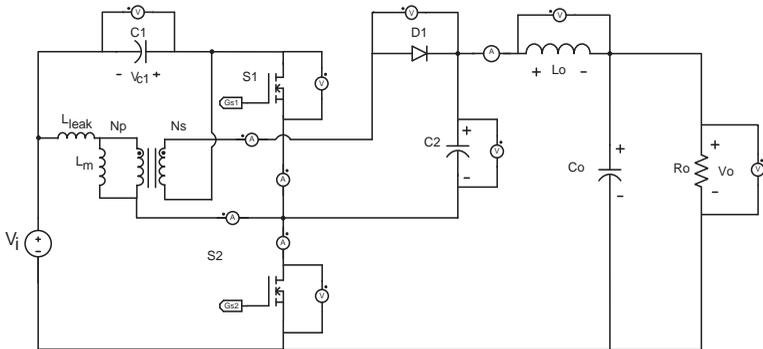
Dimana :

- $L_m$  = Induktansi magnetisasi
- $L_{22}$  = Pengukuran induktansi sisi sekunder
- $L_{11}$  = Pengukuran induktansi sisi primer
- $L_{leak12}$  = Pengukuran induktansi kebocoran sisi primer
- $N_1$  = Perbandingan pada belitan primer
- $N_2$  = Perbandingan pada belitan sekunder

### 3.3 Simulasi

Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak dengan nilai komponen sesuai dengan parameter hasil perhitungan Tabel 3.2. Untuk nilai induktansi  $L_m$  dan induktansi kebocoran  $L_{lk}$  diperoleh dari hasil pengukuran dan perhitungan.

Gambar 3.3 merupakan rangkaian simulasi yang digunakan untuk mendapatkan bentuk gelombang dari komponen hasil perhitungan agar dapat dibandingkan dengan bentuk gelombang secara teori. Selain itu juga, simulasi digunakan untuk menunjukkan parameter masukan dan keluaran agar dapat dibandingkan dengan hasil perancangan.

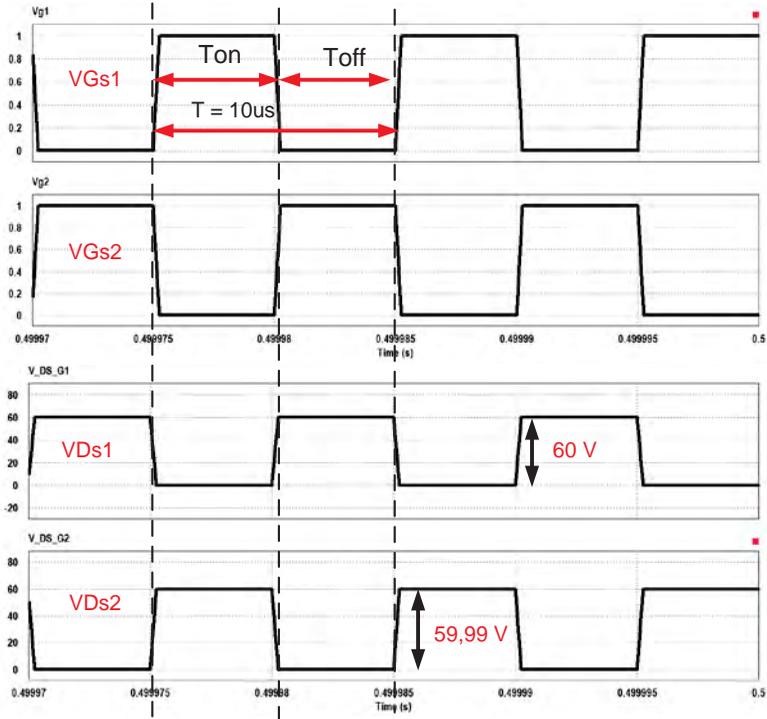


**Gambar 3.3** Rangkaian simulasi kombinasi KY konverter dan Buck-boost konverter

Pada simulasi yang dilakukan, tegangan masukan konverter yaitu sumber DC konstan sebesar 30V, nilai beban yang digunakan 1057 $\Omega$

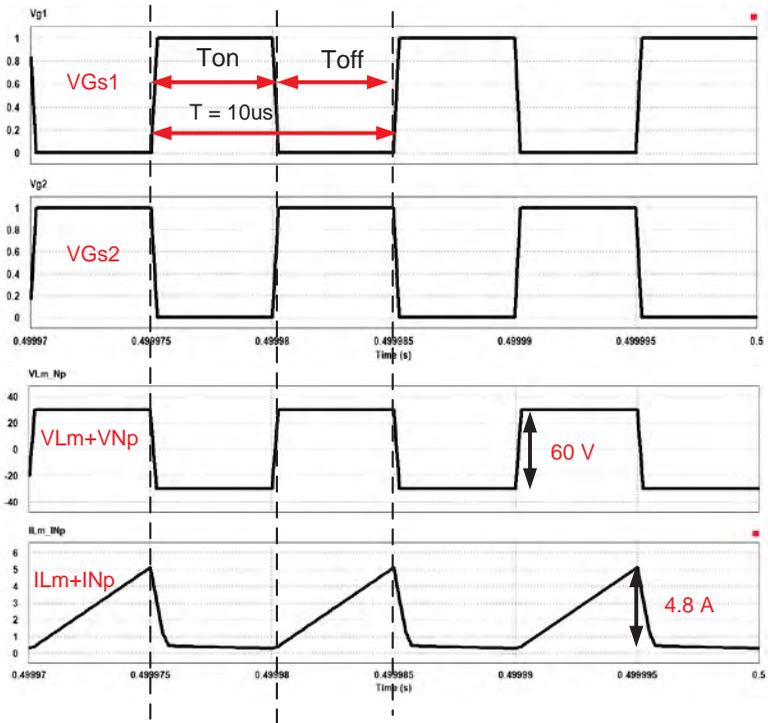
dan *duty cycle* 50%. dengan frekuensi pensaklaran 100kHz. Gambar 3.4 merupakan proses pensaklaran yang terjadi pada masing masing MOSFET.

Dari gambar 3.4 menunjukkan bahwa gelombang tegangan mosfet 1 dan mosfet 2 dapat bekerja sebagaimana mestinya, yaitu ketika sinyal PWM menyala maka tegangan gelombang pada mosfet berkebalikan terhadap gelombang PWM dengan tegangan MOSFET  $V_{ds1} = 60V$  dan tegangan MOSFET  $V_{ds2} = 59,99V$ .



**Gambar 3.4** Gelombang Tegangan Mosfet  $V_{ds1}$  Dan  $V_{ds2}$

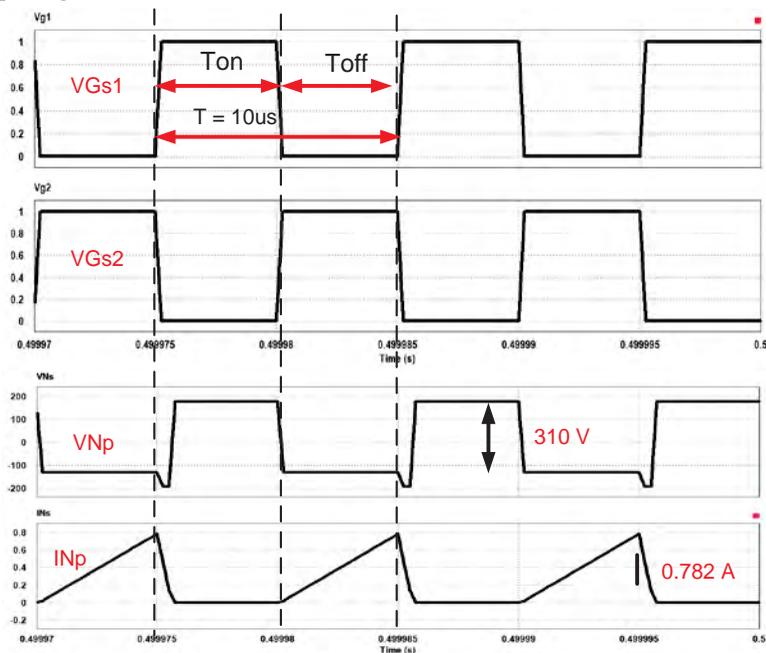
Dari gambar 3.5 menunjukkan bentuk tegangan dan arus induktor pada sisi primer. Besar tegangan pada induktor sisi primer adalah 60V. Sedangkan besar *ripple* arus pada induktor sisi primer adalah 4,8 A.



**Gambar 3.5** Gelombang Tegangan dan Arus Induktor Primer

Dari gambar 3.6 menunjukkan bentuk tegangan dan arus induktor pada sisi sekunder. Besar tegangan pada induktor sisi sekunder adalah 310V. Sedangkan besar *ripple* arus yang mengalir pada induktor sisi sekunder adalah 0.782 A. Hal ini terjadi karena saat saklar mosfet 2 konduksi, tegangan pada induktor  $L_m$  bernilai positif. Induktor  $L_m$

mengalami *charging energy* sehingga arus induktor mengalami peningkatan.

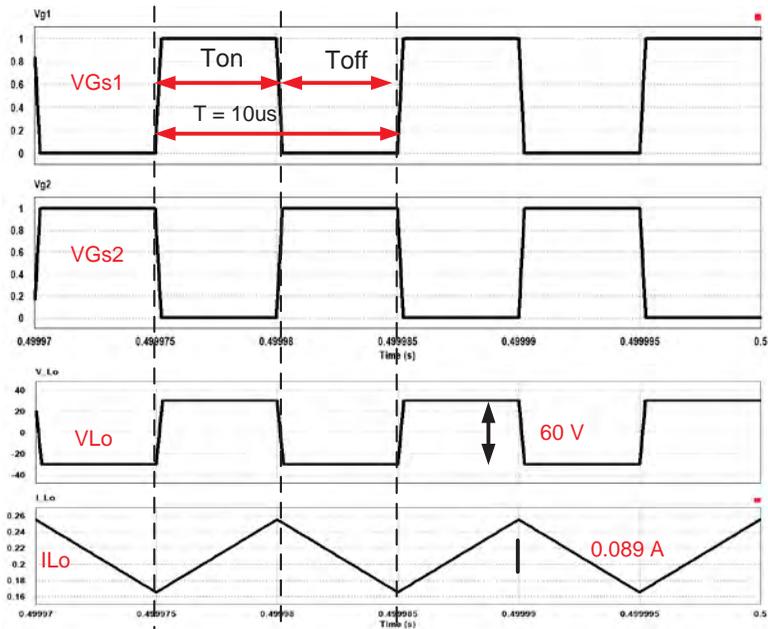


**Gambar 3.6** Gelombang Tegangan Dan Arus Induktor Sekunder

Sedangkan saat saklar mosfet 2 terbuka maka saklar mosfet 1 konduksi maka membuat  $L_m$  *discharging energy*, tetapi karena saklar mosfet 1 konduksi dalam waktu yang singkat setelah mosfet 2 terbuka dan dengan frekuensi pensaklaran yang tinggi sehingga sebelum  $L_m$  *discharging energy*, induktor  $L_m$  terjadi *charging energy* kembali dan membuat nilai arus pada  $L_m$  menjadi lebih dari tetap di atas nilai nol.

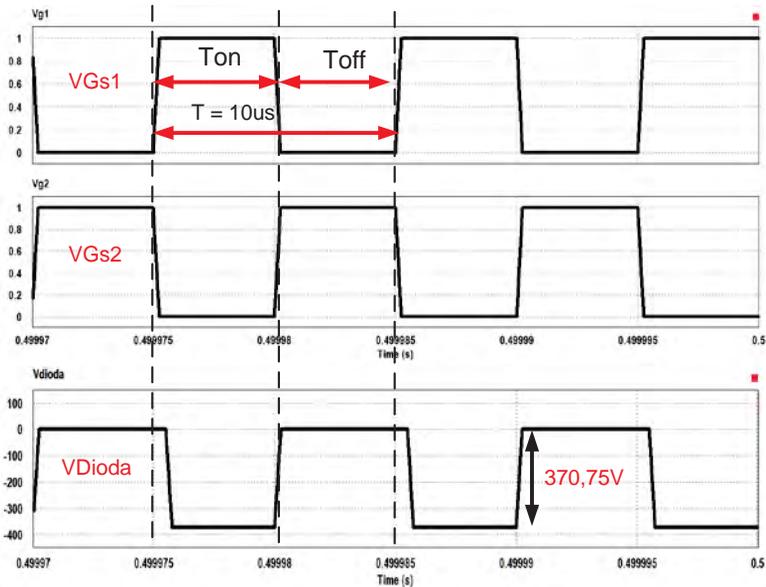
Dari gambar 3.7 menunjukkan bentuk gelombang arus dan tegangan pada induktor  $L_o$ . Besar tegangan pada induktor  $L_o$  adalah 60V. Sedangkan besar *ripple* arus induktor  $L_o$  adalah 0,089 A. Dari gambar 3.7 dapat dijelaskan gambar 2.2, ketika tegangan  $V_{gs1}$  *off* dan

$V_{gs2}$  on maka kapasitor  $V_{c2}$  akan melakukan pengisian sehingga tegangan pada  $C_2$  termuati, karena kapasitor terhubung paralel terhadap induktor  $L_o$  maka tegangan  $V_{c2}-V_o$  dan menjadikan induktor  $L_o$  bermuatan negative sehingga membuat induktor  $L_o$  mengalami *discharging energy* sehingga arus induktor mengalami pengosongan.



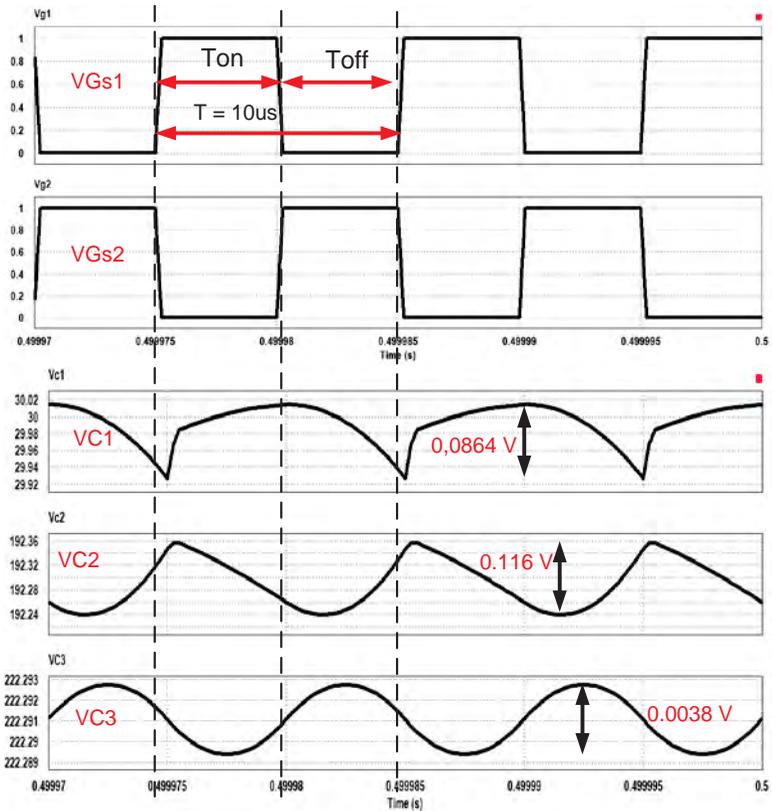
**Gambar 3.7** Gelombang Tegangan Dan Arus Induktor  $L_o$

Saat tegangan  $V_{gs1}$  on dan  $V_{gs2}$  off dijelaskan gambar 2.3, maka kapasitor  $V_{c2}$  menyalurkan tegangan ke induktor  $L_o$  karena kapasitor terhubung seri terhadap induktor  $L_o$  sehingga menjadi bermuatan positif dan membuat induktor  $L_o$  mengalami *charging energy* sehingga arus induktor mengalami peningkatan.



**Gambar 3.8** Gelombang Tegangan Dioda

Gambar 3.8 merupakan gelombang tegangan pada dioda yang bekerja pada saat mode bias maju dan bias mundur. Saat bias maju bekerja diode dapat dijelaskan pada gambar 2.4 yaitu terjadi saat mosfet 2 tertutup membuat diode terhubung seri dengan tegangan sumber, kapasitor  $C_1$ , dan induktor  $L_{Ns}$  maka diode akan mengalikan tegangan ke beban sehingga tegangan pada diode menjadi nol. Dan bias mundur dapat dijelaskan 2.4 yaitu terjadi saat mosfet 1 tertutup dan mosfet 2 terbuka sehingga membuat induktor primer  $L_{Np}$  terhubung seri dengan kapasitor  $C_2$  dan membuat diode bekerja untuk menahan tegangan sebesar tegangan yang melewati kapasitor  $C_2$ . Oleh karena itu pada simulasi 3.8 dioda menahan tegangan mundur sebesar  $370,75\text{V}$  dari rangkaian kapasitor  $C_2$  yang terhubung seri dengan induktor  $L_{Np}$ .



**Gambar 3.9** Gelombang Tegangan  $V_{c1}$  Dan  $V_{c2}$

Dari gambar 3.9 menunjukkan gelombang tegangan pada kapasitor  $C_1$ ,  $C_2$ , dan  $C_3$ . Pada kapasitor  $C_1$  terjadi pengisian, hal ini terjadi karena mosfet 1 menutup dan mosfet terbuka maka kapasitor  $C_1$  akan mengalami pengisian tegangan, dan saat mosfet 1 terbuka mosfet 2 tertutup maka  $C_1$  mulai mengalami pengosongan dalam waktu yang singkat sehingga membuat ripple tegangan pada kapasitor  $C_1$  menjadi kecil. Pada kapasitor  $C_2$  terjadi pengisian dan pengosongan, hal ini terjadi karena saat mosfet 1 terbuka mosfet 2 tertutup kapasitor  $C_2$  mengalami pengosongan tegangan, dan saat mosfet 1 tertutup maka  $C_2$

mengalami pengisian tegangan. Sedangkan besar *ripple* tegangan pada  $V_{C1}$ ,  $V_{C2}$ , dan  $V_{C3}$  adalah 0,00864V, 0,116V, dan 0,0038V.

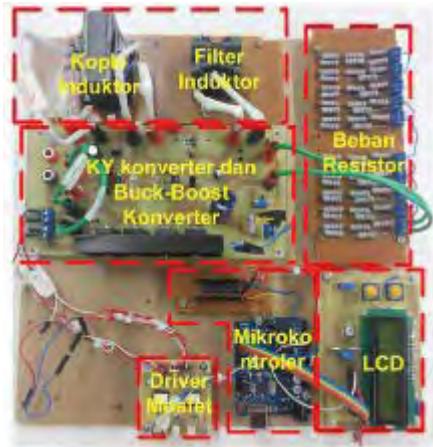
### 3.4 Implementasi

Implementasi dilakukan untuk mengetahui kinerja dari konverter DC-DC kombinasi konverter KY dengan konverter Buck-Boost berdasarkan desain dan simulasi yang telah dilakukan yaitu dengan daya 100 watt pada rentang tegangan masukkan 30 volt sampai 35 volt dengan frekuensi pensaklaran 100 kHz.

**Tabel 3.3** Kapasitas Komponen Implementasi

Komponen	Nilai Besaran	Unit
Trafo Frekuensi tinggi		
Magnetisasi Induktor $L_m$	897,255 $\mu$ H	1
Kebocoran Induktor $L_{lkg}$	8,036 $\mu$ H	
Output induktor $L_o$	1.664 mH	1
Kapasitor $C_1$	22 $\mu$ F /160v	1
Charger kapasitor $C_2$	10 $\mu$ F /250v	1
Ouput kapasitor $C_3$	33 $\mu$ F /450v	1
Saklar $S_1$ dan $S_2$	IRFP460 20A/500V	2
Diode MUR1560	600V/ 15A/ Ultra <i>fast recovery</i>	1
Kendali Pensaklaran	Mikrokontroler Arduino Uno	1
FOD3182	200kHz	2

Berdasarkan nilai komponen pada Tabel 3.3, hasil implementasi dari konverter dapat ditunjukkan pada Gambar 3.10.



**Gambar 3.10** Implementasi konverter kombinasi konverter KY dan Buck-Boost konverter

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

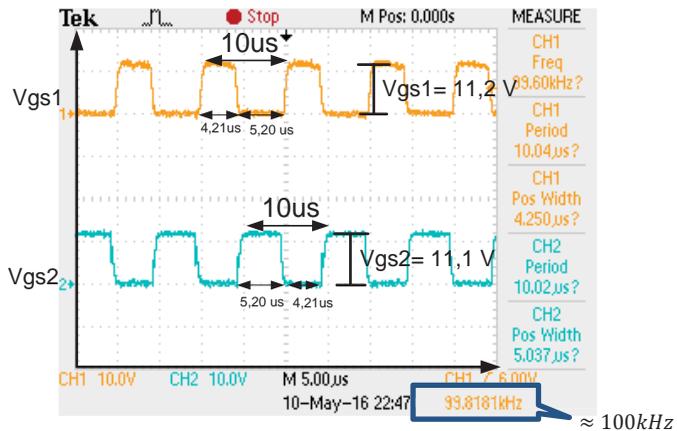
## BAB IV

### PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pada bab ini akan dibahas mengenai pengujian dan analisis data hasil perancangan dan implementasi kombinasi KY konverter dan Buck-Boost konverter. Pengujian dilakukan diantaranya adalah pengujian sinyal PWM dan pensaklaran, pengujian rasio konversi tegangan, efisiensi, dan bentuk gelombang komponen konverter. Serta pengujian respon kerja dari penggunaan kontrol *duty cycle* untuk membuat tegangan keluaran tetap konstan.

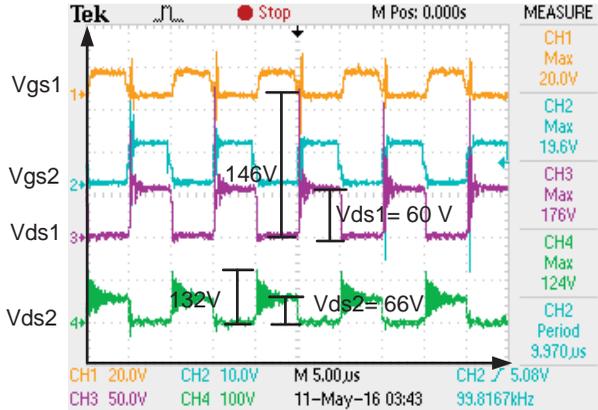
#### 4.1 Pengujian sinyal PWM dan Pensaklaran

Pengujian sinyal PWM dan pensaklaran bertujuan untuk mengetahui sinyal pensaklaran yang telah dibuat sudah sesuai dengan perancangan dan simulasi. Gambar 4.1 menunjukkan pengujian sinyal pensaklaran yang dilakukan menggunakan *duty cycle* 50%, sehingga besar periode gelombang PWM dan pensaklaran konverter adalah 10 $\mu$ s.



**Gambar 4.1** Gelombang PWM saat 50%

Sedangkan Gambar 4.2 menunjukkan data hasil pengujian bentuk gelombang PWM dan tegangan pensaklaran pada mosfet konverter.



**Gambar 4.2** Gelombang PWM dan Kendali Mosfet

Gambar 4.2, dapat diketahui bahwa mosfet 1 dan mosfet 2 dapat bekerja sebagaimana mestinya, yaitu ketika sinyal pemicu mosfet PWM menyala (*on*) maka tegangan gelombang pada mosfet berkebalikan terhadap gelombang PWM.

Besar *dutycycle* Gambar 4.2 yang digunakan untuk pengujian adalah 50% sehingga dihasilkan tegangan output  $V_o$  sebesar 215 V. Dengan *dutycycle* 50%, waktu PWM *On* ( $T_{on}$ ) untuk MOSFET 1 adalah 5,208 us, dan waktu PWM *off* ( $T_{off}$ ) adalah 4,812 us, sedangkan waktu PWM *On* ( $T_{on}$ ) untuk MOSFET 2 adalah 4,210us, dan waktu PWM *off* ( $T_{off}$ ) adalah 5.82us. Sedangkan tegangan pada MOSFET 1 dan MOSFET 2 saat kondisi terbuka ( $V_{DS}$ ) adalah 60V dan 66V. Nilai ini hampir mendekati nilai secara teori yang dapat diperoleh melalui persamaan 4.1:

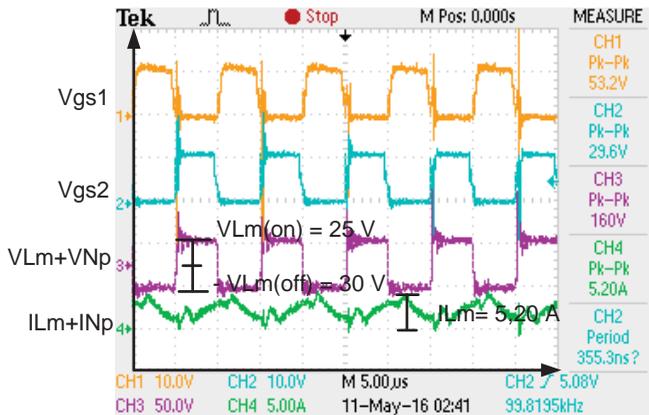
$$V_{DS} = \frac{V_{in}}{(1 - D)} \quad (4.1)$$

$$V_{DS} = \frac{30}{(1 - 0.5)} = 60V$$

Dari gambar 4.2, pada hasil pengujian diketahui bahwa lonjakan tegangan  $V_{DS}$  spike MOSFET 1 dan MOSFET 2 mencapai 86V dan 66V sedangkan untuk tegangan masukan  $V_{in} = 30V$ .

#### 4.2 Pengujian Arus Induktor

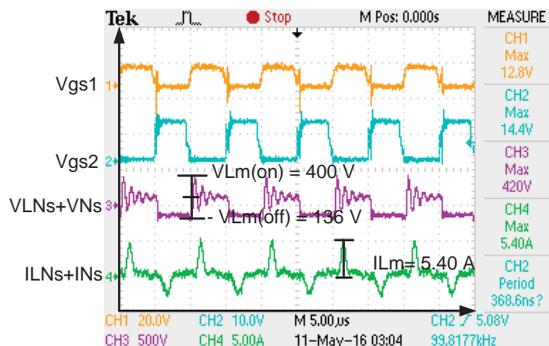
Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 merupakan hasil pengujian bentuk gelombang arus kopel induktor sisi primer/induktor magnetisasi  $I_{L_m} + I_{L_{Np}}$  dan induktor sisi sekunder  $I_{L_{Ns}}$  saat konverter diberikan tegangan masukan 30V dan *duty cycle* 50%. Dari Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 dapat dianalisis bahwa pada saat mosfet 2 konduksi, tegangan pada induktor  $L_m$  bernilai positif kemudian induktor  $L_m$  mengalami *charging energy* sehingga arus induktor mengalami peningkatan.



**Gambar 4.3** Gelombang Tegangan dan Arus Induktor bagian primer  $L_m + L_{Np}$

Sedangkan saat saklar mosfet 2 terbuka maka saklar mosfet 1 akan konduksi dalam waktu yang singkat, sehingga sebelum  $L_m$  *discharging energy*, induktor  $L_m$  tetap bernilai positif dan membuat  $L_m$  *charging energy* sehingga membuat nilai arus pada induktor  $L_m$  menjadi bernilai lebih dari nol. Hal ini membuktikan bahwa konverter beroperasi secara *CCM (Continuous Conduction Mode)*, sesuai dengan perancangan dan simulasi yang telah dibahas di bab 3. Dari gambar 4.3 dan gambar 4.4, besar arus yang mengalir pada induktor hasil implementasi adalah 5,20 A dan 5,40 A, nilai ini lebih besar dari pada nilai hasil perancangan dan nilai simulasi gambar 3.5 dan gambar 3.6 yang besarnya 4,8 A dan 0,782 A.

Hal ini disebabkan karena komponen yang digunakan dalam implementasi terdapat rugi-rugi komponen sehingga menyebabkan arus induktor menjadi lebih besar dibandingkan perhitungan. Pengujian arus induktor dilakukan dengan menggunakan beban resistor sebesar 1057  $\Omega$ . Pada Gambar 4.4, gelombang arus yang mengalir pada induktor sisi sekunder terdapat gelombang yang negatif, hal ini terjadi karena terdapat *reverse recovery time* pada dioda untuk melakukan pengosongan dan *ripple* pada dioda, seperti di tunjukkan gambar 4.6.

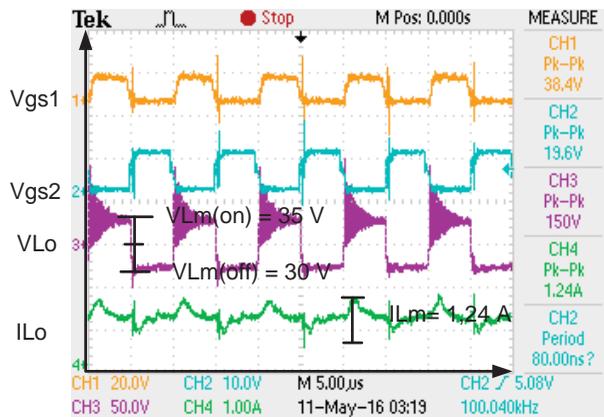


**Gambar 4.4** Gelombang Tegangan Dan Arus Induktor Sekunder  $L_{Ns}$

Dari gambar 4.5 dapat dapat dijelaskan gambar 2.3, ketika tegangan  $V_{gs1}$  *off* dan  $V_{gs2}$  *on* maka kapasitor  $V_{C2}$  akan melakukan pengisian sehingga tegangan pada  $C_2$  termuati, karena kapasitor terhubung paralel terhadap induktor  $L_o$  maka tegangan  $V_{C2}-V_o$  dan menjadikan induktor  $L_o$  bermuatan negative sehingga membuat induktor  $L_o$  mengalami *discharging energy* sehingga arus induktor mengalami pengosongan.

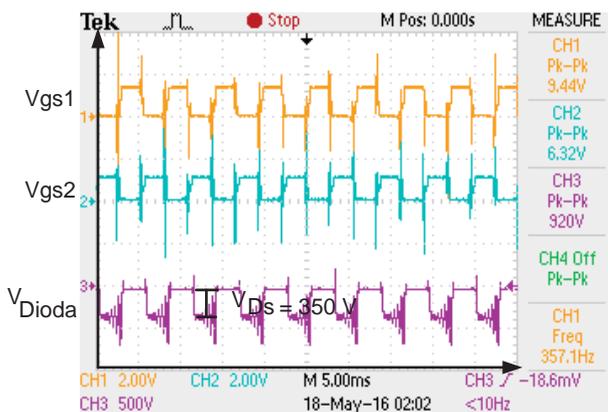
Saat tegangan  $V_{gs1}$  *on* dan  $V_{gs2}$  *off* dijelaskan gambar 2.4, maka kapasitor  $V_{C2}$  menyalurkan tegangan ke induktor  $L_o$  karena kapasitor terhubung seri terhadap induktor  $L_o$  sehingga menjadi bermuatan positif dan membuat induktor  $L_o$  mengalami *charging energy* sehingga arus induktor mengalami peningkatan.

Dari gambar 4.5, besar arus pada implementasi yang mengalir pada induktor  $L_o$  adalah 1,24 A. Sedangkan nilai ini lebih besar dari pada nilai hasil perancangan dan nilai simulasi gambar 3.7 yang besarnya besar arus yang mengalir pada induktor  $L_o$  adalah 0,089A. Hal ini dikarenakan komponen yang digunakan terdapat rugi rugi dan toleransi komponen.



**Gambar 4.5** Gelombang Tegangan dan Arus  $L_o$

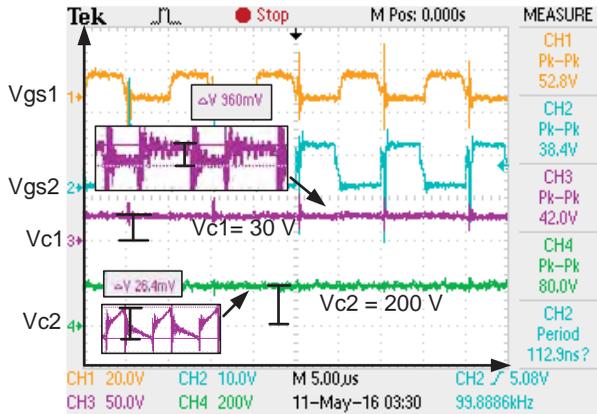
Gambar 4.6 menunjukkan proses gelombang pensaklaran pada dioda, yaitu sesuai dengan mode operasi konverter dan hasil simulasi pada gambar 3.8, dimana dioda akan bekerja bias maju ketika tegangan sumber, kapasitor  $C_1$ , dan induktor  $L_{Ns}$  terhubung seri. Dan bekerja bias mundur ketika tegangan sumber, induktor  $L_{Np}$ , dan kapasitor  $C_2$  terhubung seri. Pada saat implementasi tegangan mundur dioda sebesar 350 V. Sedangkan nilai ini lebih kecil dari pada hasil simulasi yang dilakukan pada bab 3 gambar 3.8 sebesar 370,75 V. Hal ini terjadi karena tegangan pada implementasi tidak sama dengan tegangan keluaran pada simulasi dan komponen yang digunakan dalam implementasi terdapat rugi-rugi komponen.



**Gambar 4.6** Gelombang Pensaklaran Pada Dioda

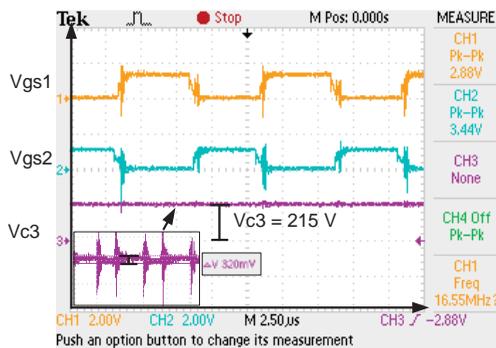
### 4.3 Pengujian Tegangan Kapasitor

Pengujian kapasitor dilakukan untuk mengetahui besar tegangan dari masing masing kapasitor. Pungujian dilakukan pada tegangan masukan 30V dan *dutycycle* 50%. Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 merupakan hasil pengujian tegangan pada kapasitor menggunakan osiloskop.



**Gambar 4.7** Tegangan Kapasitor  $C_1$  dan  $C_2$

Dari Gambar 4.6, besar tegangan kapasitor  $C_1$ ,  $C_2$ , dan  $C_3$  dari hasil implementasi adalah  $V_{C1} = 30\text{ V}$  dan  $V_{C2} = 210\text{ V}$ , dengan menggunakan tegangan masukan konstan selama satu periode. Besar tegangan pada semua kapasitor implementasi sesuai dengan perhitungan, dimana besar tegangan masing-masing kapasitor  $V_{C1} = 30\text{ V}$ ,  $V_{C2} = 210\text{ V}$ , dan  $V_{C3} = 215\text{ V}$ . Dengan ripple tegangan pada masing-masing kapasitor yaitu  $V_{C1} = 0,960\text{ V}$ ,  $V_{C2} = 0.0264\text{ V}$ , dan  $V_{C3} = 0,32\text{ V}$ .



**Gambar 4.8** Tegangan Kapasitor  $C_3$

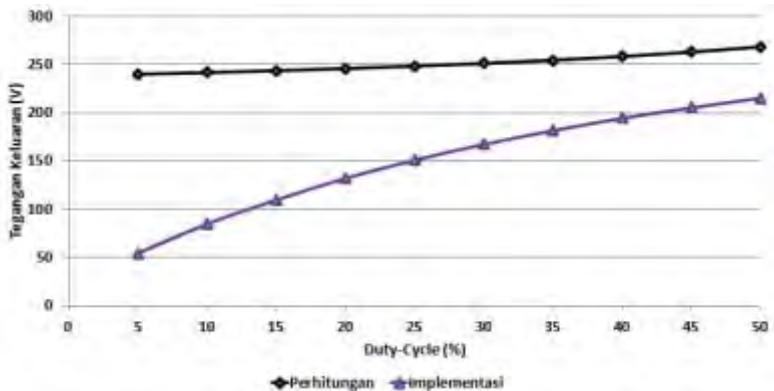
Hal ini terjadi karena karena efek parasit komponen pada kapasitor, dimana kapasitor memiliki resistansi dalam yang dimodelkan tersusun seri dengan nilai kapasitansinya. Sehingga resistansi ini yang menyebabkan *ripple* tegangan pada kapasitor saat implementasi menjadi lebih besar dibandingkan hasil simulasi.

#### 4.4 Pengujian Rasio Konversi Tegangan

Rasio konversi dilakukan untuk mengetahui kemampuan konverter dalam menaikkan tegangan masukkan ke tegangan yang lebih tinggi sering dengan meningkatnya perubahan *duty cycle*. Rasio konversi tegangan dalam hal ini merupakan perbandingan antara tegangan keluaran terhadap tegangan masukkan.

Pengujian dilakukan dengan memberikan tegangan kosten 30 V dengan beban yang digunakan adalah resistor sebesar 1057  $\Omega$ . Kemudian *duty cycle* dinaikkan dari 5% sampai 50%. *Duty cycle* hanya dinaikkan sampai 50% karena ketika lebih dari 50% kopel induktor bunyi sehingga mengakibatkan kopel induktor terjadi saturasi, dan ketika terjadi saturasi maka tegangan sumber DC akan turun. Pada gambar 4.9, merupakan grafik rasio konversi dengan rentang rasio konversi tegangan keluaran dengan perubahan *duty cycle* 0.05 sampai 0.5. Hal ini terjadi disebabkan kemampuan bahan ferrite yang digunakan sudah tidak mampu lagi untuk menahan arus yang melewati kawat sehingga membuat terjadinya saturasi pada trafo ferrite.

Dari grafik gambar 4.9, bahwa hasil perhitungan dan implementasi terjadi perbedaan ini dikarenakan adanya drop tegangan pada kebocoran induktansi yang mana nilainya dipengaruhi oleh *duty cycle*. Jika *duty cycle* kecil maka nilai drop tegangan pada sisi kebocoran induktansi besar. Sedangkan ketika *duty cycle* semakin tinggi maka drop tegangan disisi kebocoran induktansi perlahan berkurang.



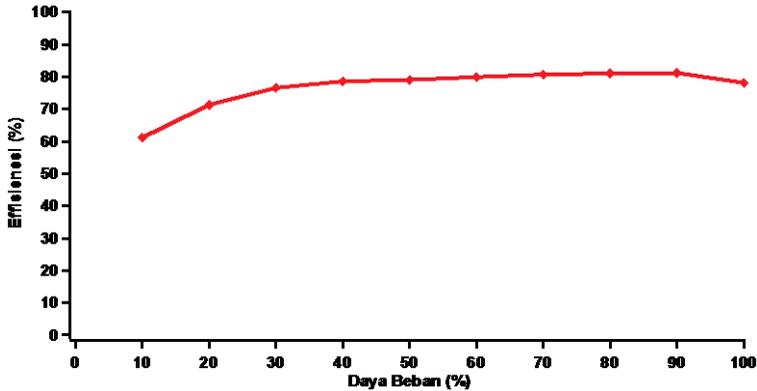
**Gambar 4.9** Grafik Rasio Konversi Tegangan Terhadap *Duty-cycle*

#### 4.5 Pengujian Efisiensi

Pengujian efisiensi dilakukan untuk mengetahui efisiensi konverter pada daya keluaran yang berbeda. Pada kondisi ideal, efisiensi konverter mencapai 100%, namun dalam implementasi efisiensi tidak dapat mencapai 100%. Hal ini karena komponen yang digunakan tidak ideal dan disesuaikan dengan yang tersedia dipasaran sehingga terdapat rugi-rugi pada setiap komponen.

Pengujian efisiensi dilakukan dengan menjaga tegangan masukan dan tegangan keluaran konverter konstan. Sedangkan beban diubah-ubah sehingga dihasilkan daya keluaran yang berbeda. Pada Gambar 4.10 Pengujian ini dilakukan pada nilai tegangan masukan yaitu 30 V.

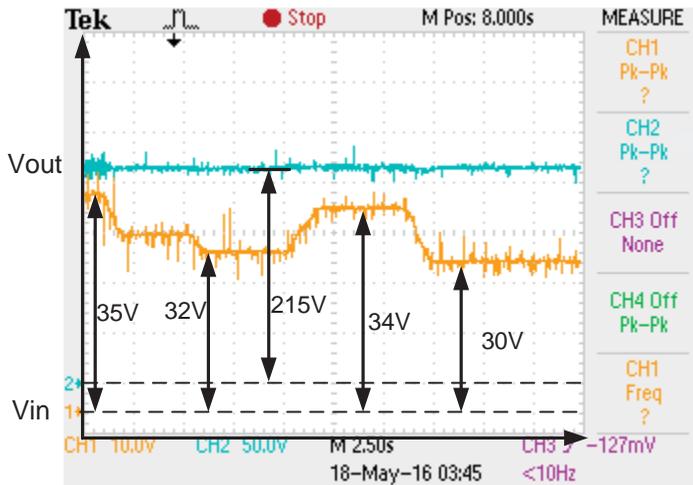
Gambar 4.10 merupakan grafik hasil pengujian efisiensi konverter. Dari gambar 4.10, dapat diketahui bahwa efisiensi pada beban 70% pada tegangan masukan 30V bernilai lebih dari 80%. Seiring dengan penurunan daya keluaran konverter, efisiensi juga semakin menurun. Dari pengujian yang dilakukan efisiensi maksimum terdapat pada beban 70% sampai 90%.



Gambar 4.10 Grafik Efisiensi konverter

#### 4.6 Pengujian Respon *Dutycycle* Akibat Perubahan Tegangan Masukan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah kontrol *close loop* yang telah di buat dapat bekerja dengan baik pada konverter yang telah diimplementasikan. Pengendalian kontrol *close loop* menggunakan kontrol PI (*Proporsional Integral*) untuk mengetahui respon tegangan keluaran dari kontrol *dutycycle* terhadap perubahan tegangan masukan yang berubah. Pada pengaplikasian kontrol PI menggunakan metode *trial and error* untuk memperoleh respon yang baik. Dari gambar 4.11 menunjukkan tegangan keluaran tetap stabil walaupun tegangan masukan berubah.



**Gambar 4.11** Gelombang tegangan keluaran akibat perubahan tegangan

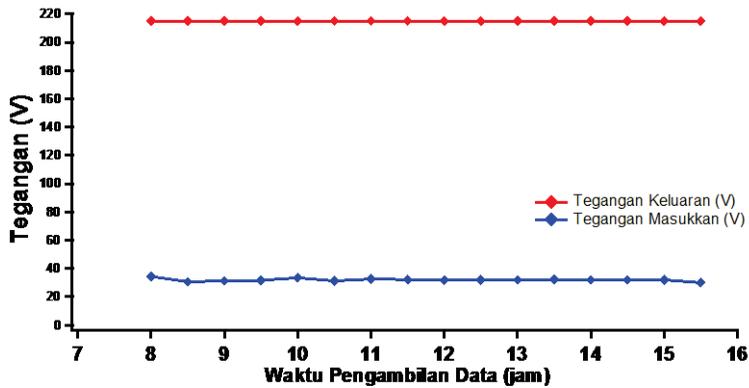
#### 4.7 Pengujian dengan Modul Fotovoltaik

Pengujian dilakukan dengan menggunakan modul fotovoltaik untuk mengetahui bahwa tegangan keluaran dari konverter dapat dijaga konstan saat sumber tegangan masukan yang digunakan berubah dan untuk mengetahui apakah sistem kendali PI yang telah digunakan dapat bekerja dengan baik ketika terjadi perubahan tegangan masukan akibat irradiasi dari fotovoltaik.

Modul fotovoltaik yang digunakan menggunakan eSOL solar power 50 watt yang diseri. Pengujian dilakukan mulai pagi hari jam 08.00 sampai sore hari jam 15.30 dimana sinar matahari masih cukup menghasilkan energi listrik yang diperlukan. Pengujian dilakukan menggunakan beban tahanan resistor 1263 $\Omega$  sehingga daya yang dihasilkan  $\pm 36,59$  watt ketika besar tegangan keluaran 215 volt.



**Gambar 4.12** Set Pengujian menggunakan modul PV dan konverter DC-DC



**Gambar 4.13** Hasil Pengujian dengan menggunakan modul fotovoltaik

## LAMPIRAN

### 1. Listing Program Mikrokontroler

```
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd (2, 3, 4, 5, 6, 7);

float setpoint = 590;
float input = 0.0;
float err = 0;
float KeluarPWM = 0.0;
float integ = 0.0;
float Kp = 0.1;
float Ki = 0.08;

void setup()
{
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin(16, 2);
  pinMode (9, OUTPUT);
  pinMode (10, OUTPUT);
  TCCR1A = 0; //clear timer registers
  TCCR1B = 0;
  TCNT1 = 0;
  TCCR1A |= (1 << COM1A1) | (0 << COM1A0); // Non-inverting
  TCCR1A |= (1 << COM1B1) | (1 << COM1B0); // inverting
  TCCR1A |= (1 << WGM11) | (0 << WGM10) ; // pemilihan Mode
  TCCR1B |= (1 << WGM13) | (0 << WGM12); // pemilihan mode
  TCCR1B |= (0 << CS12) | (0 << CS11) | (1 << CS10); // pemilihan
prescaling

  ICR1 = 80;
}
void loop()
```

```

{
    float sensor = analogRead(A2);
    input = sensor;
    err = setpoint - input;
    integ= integ+(err*0.5);
    float P = (Kp*err);
    float i = (Ki*integ);
    KeluarPWM = P + i; //PI resulting duty

    if(integ > 2000){integ = 2000;}
    if(KeluarPWM < 1){KeluarPWM = 1;}//duty min
    if(KeluarPWM > 40){KeluarPWM = 40;}//duty max
    OCR1A = KeluarPWM; // high pada PIN 9
    OCR1B = KeluarPWM+2; // Low pada PIN 10

    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("D:");
    lcd.print(KeluarPWM);
    lcd.setCursor(8, 0);
    lcd.print("er:");
    lcd.print(err);
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("i:");
    lcd.print(i);
    lcd.setCursor(9, 1);
    lcd.print("s:");
    lcd.print(sensor);
}

```

2. **Tabel Kawat AWG American Wire Gauge (AWG) Cable / Conductor Sizes and Properties [7]**

AWG	Diameter [inches]	Diameter [mm]	Area [mm <sup>2</sup> ]	Resistance [Ohms / 1000 ft]	Resistance [Ohms / km]	Max Current [A]	Max Frequency for 100% skin depth
1	0.2893	7.34822	42.4	0.1239	0.406392	119	325 Hz
2	0.2576	6.54304	33.6	0.1563	0.512664	94	410 Hz
3	0.2294	5.82676	26.7	0.197	0.64616	75	500 Hz
4	0.2043	5.18922	21.2	0.2485	0.81508	60	650 Hz
5	0.1819	4.62026	16.8	0.3133	1.027624	47	810 Hz
6	0.162	4.1148	13.3	0.3951	1.295928	37	1100 Hz
7	0.1443	3.66522	10.5	0.4982	1.634096	30	1300 Hz
8	0.1285	3.2639	8.37	0.6282	2.060496	24	1650 Hz
9	0.1144	2.90576	6.63	0.7921	2.598088	19	2050 Hz
10	0.1019	2.58826	5.26	0.9989	3.276392	15	2600 Hz
11	0.0907	2.30378	4.17	1.26	4.1328	12	3200 Hz
12	0.0808	2.05232	3.31	1.588	5.20864	9.3	4150 Hz
13	0.072	1.8288	2.62	2.003	6.56984	7.4	5300 Hz
14	0.0641	1.62814	2.08	2.525	8.282	5.9	6700 Hz
15	0.0571	1.45034	1.65	3.184	10.44352	4.7	8250 Hz
16	0.0508	1.29032	1.31	4.016	13.17248	3.7	11 k Hz
17	0.0453	1.15062	1.04	5.064	16.60992	2.9	13 k Hz
18	0.0403	1.02362	0.823	6.385	20.9428	2.3	17 kHz
19	0.0359	0.91186	0.653	8.051	26.40728	1.8	21 kHz
20	0.032	0.8128	0.518	10.15	33.292	1.5	27 kHz
21	0.0285	0.7239	0.41	12.8	41.984	1.2	33 kHz
22	0.0254	0.64516	0.326	16.14	52.9392	0.92	42 kHz
23	0.0226	0.57404	0.258	20.36	66.7808	0.729	53 kHz
24	0.0201	0.51054	0.205	25.67	84.1976	0.577	68 kHz
<b>25</b>	<b>0.0179</b>	<b>0.45466</b>	<b>0.162</b>	<b>32.37</b>	<b>106.1736</b>	<b>0.457</b>	<b>85 kHz</b>
26	0.0159	0.40386	0.129	40.81	133.8568	0.361	107 kHz
27	0.0142	0.36068	0.102	51.47	168.8216	0.288	130 kHz
28	0.0126	0.32004	0.081	64.9	212.872	0.226	170 kHz
29	0.0113	0.28702	0.0642	81.83	268.4024	0.182	210 kHz
30	0.01	0.254	0.0509	103.2	338.496	0.142	270 kHz
31	0.0089	0.22606	0.0404	130.1	426.728	0.113	340 kHz
32	0.008	0.2032	0.032	164.1	538.248	0.091	430 kHz
33	0.0071	0.18034	0.0254	206.9	678.632	0.072	540 kHz
34	0.0063	0.16002	0.0201	260.9	855.752	0.056	690 kHz
35	0.0056	0.14224	0.016	329	1079.12	0.044	870 kHz
36	0.005	0.127	0.0127	414.8	1360	0.035	1100 kHz
37	0.0045	0.1143	0.01	523.1	1715	0.0289	1350 kHz
38	0.004	0.1016	0.00797	659.6	2163	0.0228	1750 kHz
39	0.0035	0.0889	0.00632	831.8	2728	0.0175	2250 kHz
40	0.0031	0.07874	0.00501	1049	3440	0.0137	2900 kHz

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil simulasi dan implementasi konverter dapat disimpulkan bahwa:

1. Dari implementasi kombinasi *KY converter* dan *Buck-Boost converter* didapatkan rasio konversi hingga 7,16 kali.
2. Respon waktu pensakelaran pada konverter sangat cepat untuk mencapai kondisi *steady state* sebesar 0,1s.
3. Konverter memiliki efisiensi hingga 81,18% saat daya beban 90% dan mengalami penurunan seiring dengan turunnya daya beban.
4. Tegangan keluaran dapat dijaga konstan saat tegangan masukan berubah-ubah.

#### **5.2 Saran**

Saran yang diberikan untuk perkembangan penelitian selanjutnya adalah

1. Pembuatan *couple* induktor perlu diperbaiki kembali untuk menghasilkan kebocoran induktansi yang lebih kecil.
2. Penambahan kontrol MPPT sehingga dapat diperoleh daya optimal dari *photovoltaic*.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yongchang, Yu, dan Yao Chaunan, 2012. "Implementasi Of A MPPT Controller Based On AVR Meega16 For Photovoltaic Systems". ELSIVIER, 2012.
- [2] Oshaba, A.S, dkk. "MPPT Control Design Of PV System Supplied SRM Using BAT Search Algorithm". ELSEVIER, Sustainable Energy, Grid and Networks 2 (2015) 51-60.
- [3] Ashari, Mochammad, "Sistem Konverter DC, Desain Rangkaian Elektronika Daya". ITS Press. 2012.
- [4] Hwu, K.I, dan W. Z. Jiang, "Voltage Gain Enhancement for a Step-Up Konverter constructed by KY and Buck-Boost Konverter". IEEE Transaction On Industrial Electronic, Vol. 61, No. 04, April 2014.
- [5] Erickson, R. W., dan Maksimovic, D., "Fundamentals of Power Electronics Second Edition", Kluwer Academic Publishers, New York, 2004.
- [6] Hesterman, Bryce. "Analysis and modeling of Mgnetic Cououpling".Denver Chapter, IEEE Power Electronics Society. Colorado. 2007
- [7] AWG (*American Wire Gauge*) Table <URL : <http://diyaudioprojects.com/Technical/American-Wire-Gauge/>>

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## RIWAYAT HIDUP PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Bustanul Arifin, biasa dipanggil Bustanul atau Arif. Penulis terlahir pada tanggal 16 Oktober 1991 di Kota Blitar sebagai anak pertama dari dua bersaudara. Praktikan menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Kejuruan di SMK 1 Blitar pada tahun 2010. Praktikan melanjutkan dan menyelesaikan di Diploma (D3) pada program studi Teknik Sistem Tenaga di Universitas Negeri Malang tahun 2013.

Tahun 2014 penulis melanjutkan studi sarjana melalui program lintas jalur di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS) , Jurusan Teknik Elektro (FTI-ITS) mengambil bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Penulis dapat dihubungi di email: [bustanoel1991@gmail.com](mailto:bustanoel1991@gmail.com)