

## DESAIN PENAIK TEGANGAN MENGGUNAKAN KOMBINASI KY DAN BUCK-BOOST CONVERTER PADA SISTEM PHOTOVOLTAIC

Soedibyo<sup>1</sup>, Antonius Rajagukguk<sup>1,2</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Kampus ITS Sukolilo, Surabaya (60111),

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Riau Pekanbaru  
Kampus Panam Riau Daratan

### Abstract.

today's development, needs the use of renewable energy sources (renewable energy) is increasingly important. Because renewable energy can be used as a source of energy, used to generate the primary generating system and energy source supporting the main plant. One of the renewable energy used for the generation system is the energy of the sun using photovoltaic (PV). When happen the light intensity change, the resulting DC current out put of PV, also fluctuations. Therefore, needed a device of technology capable of raising the voltage if the light intensity decreases, with use DC to DC converters. In this study, designed and implemented the DC to DC converter topologies, hybrid KY and buck-boost converter, that is used to increase the DC voltage generated by the PV. The implementation results show the converter can work at different voltage ranges enter and have a voltage conversion ratio reached 7.16 times with 81.18% efficiency at 90% load power.

**Keywords**—*photovoltaic, Hybrid KY and Buck-Boost converters , DC to DC converter.*

### 1. Pendahuluan

Energi surya merupakan sumber energi terbarukan yang tidak mencemari lingkungan. 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].

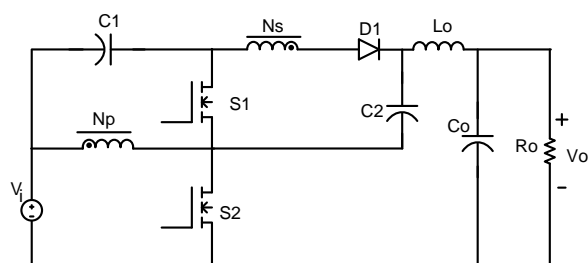
Untuk memperoleh keluaran yang efisien diperlukan rangkaian konverter DC-DC. Konverter DC-DC berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan tegangan *Direct Current* (DC), sama halnya dengan trafo yang mengubah tegangan AC tertentu ke tegangan DC yang lebih tinggi atau lebih rendah. Akan tetapi konverter DC-DC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

Dari macam teknik peningkatan tegangan, 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 converter pada umumnya[4].

### 2. Uraian Penelitian

#### 2.1. Topologi Kombinasi Ky Dan Konverter Buck-Boost



Gambar 1. Rangkaian Konverter Kombinasi KY dan Buck-Boost converter.

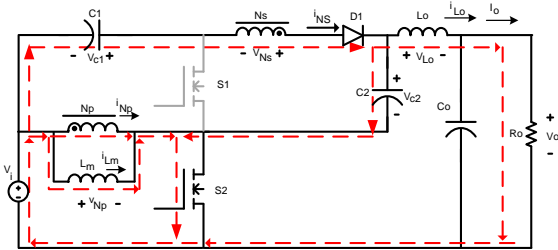
Konverter DC-DC kombinasi KY converter dan Buck-boost converter adalah konverter yang dapat meningkatkan tegangan masukkan DC ke level tegangan

keluaran yang lebih tinggi. Konverter ini merupakan pengembangan dari konverter KY[4]. Gambar 1 merupakan rangkaian dari kombinasi KY *converter* dan buck-boost *converter*.

**2.2. Mode Operasi**

**2.2.1. Mode Coupling Sama Dengan Satu**

Mode 1 Pada saat  $t_0-t_1$ , saklar S1 *on* dan S2 *off* ditunjukkan pada Gambar 2. Sumber DC  $V_{in}$  menyalurkan energi ke induktor  $L_{Np}$  dan  $L_m$  kemudian ke S2.



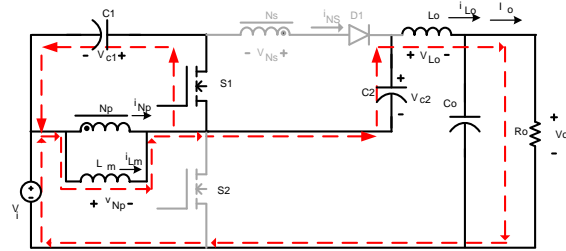
Gambar 2. Mode Operasi 1( $t_0 - t_1$ )

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  $C_1$  melepas 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.

Model 2, pada saat  $t_1-t_2$ , saklar S1 *on* dan S2 *off* ditunjukkan pada Gambar 3. 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

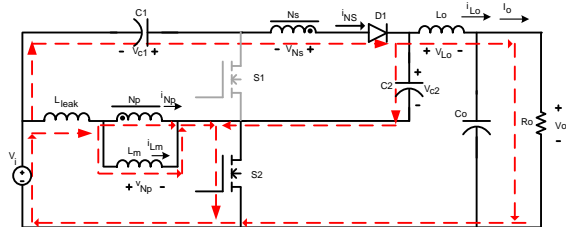
dioda  $D_1$  menjadi terbias mundur dan  $V_{L_{NS}}$  tidak teraliri tegangan, sehingga membuat tegangan pada  $L_o$  menjadi bernilai positif.



Gambar 3. Mode Operasi 2( $t_1 - t_2$ )

**2.2.2. Mode 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.

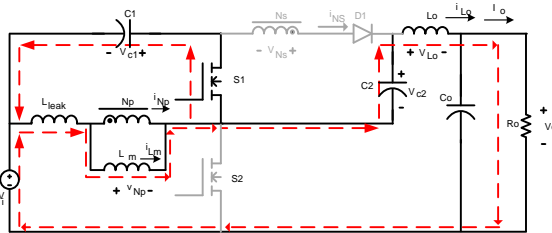


Gambar 4. Mode 1 Onerasi 1( $t_n - t_1$ )

Mode 1 pada saat  $t_0-t_1$ , saklar S1 *on* dan S2 *off* ditunjukkan pada Gambar 4. Sumber DC  $V_{in}$  menyalurkan energi ke induktor  $L_{Np}$ ,  $L_{lk}$  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  $L_m$  dan  $L_{lk}$  maka membuat  $L_m$  dan  $L_{lk}$  menjadi termagnetisasi dan  $L_{NS}$  menjadi terinduksi. Kapasitor  $C_1$  melepas 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.

Mode 2, pada saat  $t_1-t_2$ , saklar S1 *on* dan S2 *off* ditunjukkan pada Gambar 5. Sumber

DC  $V_{in}$  menyalurkan energi ke induktor kopel  $L_{Np}$ ,  $L_{lk}$  dan  $L_m$  ke S1 kemudian ke  $C_1$ , sehingga tegangan  $L_{lk}$  dan  $L_m$  mengirimkan ke  $C_1$  menjadi  $-V_{C1}$  dan kembali ke  $V_{LNp}$ . 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  $V_{LN_s}$  tidak teraliri tegangan, sehingga membuat tegangan pada  $L_o$  menjadi bernilai positif.



Gambar 5. Mode 2 Operasi  $2(t_1 - t_2)$

### 2.3. Analisis Persamaan Rasio 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 :

$$N = \frac{N_s}{N_p} \quad (1)$$

$$k = \frac{L_m}{L_{lk} + L_m} = \frac{L_m}{L_p} \quad (2)$$

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

Pada gambar 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 :

$$V_{Np} = L_M \times \left(\frac{N_2}{N_1}\right) \times V_i = kV_i \quad (3)$$

$$V_{Ns} = V_{Np} \times \frac{N_s}{N_p} = kV_i \times \frac{N_s}{N_p} \quad (4)$$

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

$$V_{C2} = V_i + V_{C1} + V_{Ns} = V_i + V_{C1} + kV_i \times \frac{N_s}{N_p} \quad (5)$$

$$V_{Lo} = V_{C2} - V_o \quad (6)$$

Pada mode I, Gambar 3 saklar S1 *on* dan S2 *off*, tegangan yang melewati induktor  $L_o$  dan kapasitor  $C_1$  dapat ditulis sebagai berikut :

$$V_{Np} = -kV_{C1} \quad (7)$$

$$V_{Lo} = V_i + V_{C1} + V_{C2} - V_o \quad (8)$$

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

$$\int_0^{DTs} V_{Lm(on)} dt + \int_{DTs}^T V_{Lm(off)} dt = 0 \quad (9)$$

$$DT kV_{in} + (1-D)T V_{Lm(off)} = 0 \quad (10)$$

$$V_{C1} = \frac{D}{1-D} \times V_i \quad (11)$$

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

$$\int_0^{DTs} V_{Lo(on)} dt + \int_{DTs}^T V_{Lo(off)} dt = 0 \quad (12)$$

$$(V_{C2} - V_o) \times D + (V_i + V_{C1} + V_{C2} - V_o) \times (1 - D) = 0 \quad (13)$$

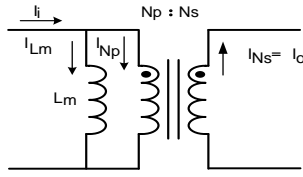
Kemudian dilakukan substitusi persamaan (5) dan (11) ke persamaan (13) maka diperoleh

$$M = \frac{V_o}{V_i} = \frac{2-D}{1-D} + k \frac{N_s}{N_p} \quad (14)$$

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 (14) dapat ditulis menjadi :

$$M = \frac{V_o}{V_i} = \frac{2-D}{1-D} + \frac{N_s}{N_p} \quad (15)$$

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



Gambar 6. Rangkaian Equevalen Kopel Induktor

Dengan asumsi hukum kirchoff dalam rangkaian Gambar 6, maka

$$I_{in} = I_{Lm} + I_{NP} \quad (16)$$

$$I_{Lm} = I_i - I_{NP} \quad (17)$$

$$I_{NP} = \frac{N_s}{N_p} \times I_{Ns} \quad (18)$$

$$I_o = \frac{V_o}{R_o} \quad (19)$$

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

$$P_{in} = P_{out} \quad (20)$$

$$I_i = \frac{V_o^2}{R_o \times V_i} \quad (21)$$

Dan substitusikan persamaan (15) ke dalam persamaan (21) diperoleh

$$I_i = \left( \frac{2-D}{1-D} + \frac{N_s}{N_p} \right) \times \frac{V_o}{R_o} \quad (22)$$

Substitusi persamaan (22) ke persamaan (17) diperoleh

$$I_{Lm} = I_i - I_{NP} \quad (23)$$

$$I_{Lm} = \frac{2-D}{1-D} \times I_o \quad (24)$$

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

$$I_{Lm,max} = I_{Lm} + \frac{\Delta I_{Lm}}{2} \quad (25)$$

$$I_{Lm,min} = I_{Lm} - \frac{\Delta I_{Lm}}{2} \quad (26)$$

Dimana :

$$L = L \frac{di}{dt} \quad (27)$$

$$\Delta I_{Lm} = \frac{V_i}{L_m} \times DT_s \quad (28)$$

Sehingga, setelah dilakukan substitusi persamaan (24) dan (28) ke persamaan (25) dan (26), maka diperoleh

$$I_{Lm,max} = \frac{2-D}{1-D} \times I_o + \frac{V_i DT_s}{2L_m} \quad (29)$$

$$I_{Lm,min} = \frac{2-D}{1-D} \times I_o - \frac{V_i DT_s}{2L_m} \quad (30)$$

Syarat konverter beroperasi secara *Contiunous Conduction Mode (CCM)* adalah arus induktornya harus selalu lebih

dari nol. Sehingga, berdasarkan persamaan (30), nilai induktor  $L_m$  minimal agar konverter bekerja secara *CCM* adalah

$$0 < I_{Lm,min} \quad (31)$$

$$L_m > \frac{V_i DT_s}{2 \times \left( \frac{2-D}{1-D} \times I_o \right)} \quad (32)$$

Dengan menggunakan prinsip hukum kirchoff, maka nilai induktor magnetisasi  $L_o$  dapat ditentukan dari gambar 6 sebagai berikut :

$$I_{Ns} = I_o = I_{Lo} = \frac{V_o}{R_o} \quad (33)$$

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

$$I_{Lo,max} = I_{Lo} + \frac{\Delta I_{Lo}}{2} \quad (34)$$

$$I_{Lo,min} = I_{Lo} - \frac{\Delta I_{Lo}}{2} \quad (35)$$

Dimana

$$L = L \frac{di}{dt} \quad (36)$$

$$\Delta I_{Lo} = \frac{V_{Lo}}{L_o} \times DT_s \quad (37)$$

Dengan substitusikan (19), (21), (22) kedalam persamaan (37), maka diperoleh

$$\Delta I_{Lo} = \frac{V_{Lo} DT_s}{L_o} = \frac{(V_i + V_{C1} + V_{C2} - V_o) \times (1-D) T_s}{L_o} \quad (38)$$

Sehingga, setelah dilakukan substitusi persamaan (33) dan (38) ke persamaan (34) dan (35), maka diperoleh

$$I_{Lo,max} = \frac{V_o}{R_o} + \frac{V_{Lo} DT_s}{2L_o} \quad (39)$$

$$I_{Lo,min} = \frac{V_o}{R_o} - \frac{V_{Lo} DT_s}{2L_o} \quad (40)$$

Syarat konverter beroperasi secara *Contiunous Conduction Mode (CCM)* adalah arus induktornya harus selalu lebih dari nol. Sehingga, berdasarkan persamaan (40), nilai induktor  $L_o$  minimal agar konverter bekerja secara *CCM* adalah

$$0 < I_{Lo,min} \quad (41)$$

$$L_o > \frac{V_{Lo} DT_s}{2 \times I_{Lo}} \quad (42)$$

Sedangkan untuk mendapatkan persamaan pada kapasitor  $C_1$  dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (43);

$$C_1 \geq \frac{i_{C1} \times \Delta t}{\Delta V_{C1}} = \frac{(I_{i,rated} - I_{o,rated}) \times (1-D) T_s}{\Delta V_{C1} \times V_{C1}} \quad (43)$$

Kapasitor  $C_2$  dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (44);

$$C_2 \geq \frac{i_{C2} \times \Delta t}{\Delta V_{C2}} = \frac{I_{Lo, rated} \times (1-D) T_s}{\Delta V_{C2} \times V_{C2}} \quad (44)$$

Dan kapasitor  $C_3$  dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (45) dan (46) :

$$ESR \leq \frac{\Delta V_o}{\Delta i_{Lo}} = \frac{\Delta V_o \times V_o}{\Delta i_{Lo}} \quad (45)$$

$$C_0 \geq \frac{65\mu}{ESR} \quad (46)$$

### 3. Desain, Simulasi Dan Implementasi

#### 3.1. Desain

Desain konverter dilakukan untuk menentukan parameter rangkaian dengan menghitung sehingga mempermudah proses implementasi pada penelitian yang akan dilakukan. Tabel 1. Merupakan parameter awal yang digunakan sebagai acuan dalam proses perancangan konverter.

Penentuan Rasio Konversi dan Duty Cycle menggunakan persamaan (15), besar rasio konversi (M) dan duty cycle (D) yang dibutuhkan konverter untuk menaikkan tegangan dengan kopling koefisien = 1, diperoleh  $M=320/30 = 10,66$  dan  $D= 0.72$  .

Pada saat tegangan masukkan maksimum ( $V_{in}= 35$  V), besar rasio konversi  $M=9,14$  dan duty cycle konverter  $D= 0.53$ .

Kemudian sesuai dengan spesifikasi alat yang akan dibuat pada Tabel 1, maka besar beban R akan digunakan adalah sebagai berikut :

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

Konverter ini bekerja dengan mode CCM (Continuous Conduction Mode). Sehingga perlu diketahui nilai batas minimum arus yang mengalir pada induktor  $L_{lk}$  dan  $L_m$  kontinu:

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

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

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

$$L_m \geq \frac{V_i D T_s}{\Delta i_{Lm}} = \frac{V_i D T_s}{2 \times I_{Lm, min}} = \frac{30 \times 0.72 \times 10\mu}{2 \times 0.143} = 755 \mu\text{H}$$

Pada perancangan untuk menentukan nilai induktor berdasarkan persamaan (42) dengan ripple arus maksimum di tetukan sebesar 20%, sehingga diperoleh nilai  $L_o$  :

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

Nilai kapasitor  $C_1$  dihitung menggunakan persamaan (43). Dimana ripple tegangan ditentukan sebesar 1% sehingga diperoleh nilai sebagai berikut :

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

Tabel 1.

#### Spesifikasi Awal Perancangan Konverter

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 %

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

$$C_1 \geq \frac{(3.33 - 0.3125)(1 - 0.72)10\mu}{0.01 \times 30} = 10.95 \mu\text{F}$$

Nilai kapasitor  $C_2$  dihitung menggunakan persamaan (44). Dimana ripple tegangan ditentukan sebesar 0.1% sehingga diperoleh nilai sebagai berikut :

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

Untuk mencari nilai kapasitansi dari  $VC_2$ , maka dapat diperoleh:

$$C_2 \geq \frac{0.3125(1 - 0.72)10\mu}{0.01 \times 237.14} = 0.3689\mu\text{F}$$

Nilai kapasitor filter  $Cod$  dihitung menggunakan persamaan (46) dan persamaan (47). Dimana ripple tegangan ditentukan sebesar 0.1% sehingga diperoleh nilai sebagai berikut :

$$ESR \leq \frac{0.001 \times V_o}{20\% \times I_{Lo, rated} \times 2} = \frac{0.001 \times 320}{20\% \times 0.3125 \times 2} \approx 2,56 \Omega$$

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

Karena nilai kapasitor tidak tersedia dipasaran maka untuk mempermudah simulasi dan implementasi digunakan nilai kapasitor yang tersedia dipasaran dan dipilih nilai sedikit lebih besar dibanding hasil perhitungan yaitu  $C_1= 22 \mu\text{F}/160\text{v}$ ,  $C_2= 10 \mu\text{F}/250\text{v}$ ,  $C_3= 33 \mu\text{F}/450\text{v}$ .

Dalam perancangan kopel induktor, langkah yang dilakukan adalah menghitung arus yang akan melalui kopel induktor dihitung melalui persamaan dibawah.

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

Pengukuran induktansi bocor dilakukan dengan cara melakukan mengubungkan singkatan belitan sekunder [6].Setelah dilakukan pengulungan dan pengukuran kebocoran induktasi pada kopel induktor tahap selanjutnya melakukan perhitungan

nilai induktansi magnetisasi dengan data hasil pembuatan kopel induktor.

$$L_{11} = 1053,2 \mu\text{H}$$

$$N_1 = 1$$

$$L_{22} = 27730 \mu\text{H}$$

$$N_2 = 6$$

$$L_{leak12} = 8,036 \mu\text{H}$$

$$L_m = \frac{N_1}{N_2} \times \sqrt{(L_{11} \times L_{22}) - (L_{leak12} - L_{22})}$$

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

### 3.2. Implementasi

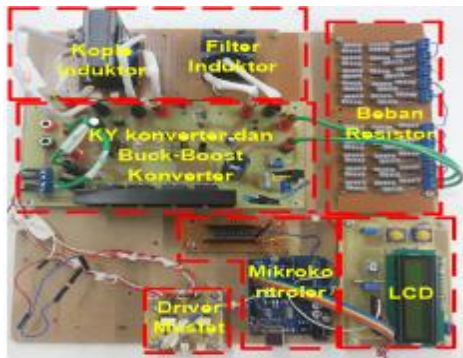
Implementasi dilakukan untuk mengetahui kinerja dari konverter DC-DC kombinasi konverter KY dengan konverter Buck-Boost berdasarkan desain dan simulasi yang telah dilakukan.

Tabel 2.

#### Kapasitas Komponen Implementasi

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

Sesuai Sesuai dengan komponen pada Table 2. Gambar 4 menunjukkan hasil implementasi penelitain dari kombinasi konverter KY dan konverter buck-boost.



Gambar 7. Implementasi konverter kombinasi KY dan Buck-Boost konverter

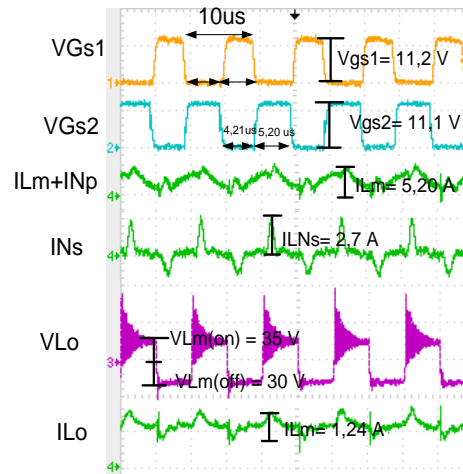
## 4. Pengujian

### 4.1. Pengujian Bentuk Gelombang Pensaklaran

Pengujian sinyal PWM dan pensaklaran bertujuan untuk mengetahui sinyal pensaklaran yang telah dibuat sudah sesuai dengan perancangan dan simulasi. Gambar 9 menunjukkan pengujian sinyal pensaklaran yang dilakukan menggunakan *duty cycle* 50%, sehingga besar periode gelombang PWM dan pensaklaran konverter adalah 10us.

### 4.2. Pengujian Arus Induktor dan Tegangan Kapasitor

Dari gambar 9 dapat diketahui bahwa  $L_m$  dapat bekerja C-CCM. Besar arus yang mengalir pada implementasi induktor sisi primer  $I_{Lm} + I_{L_{Np}} = 5,20$  A, arus sisi sekunder  $I_{L_{Ns}} = 2,7$ A, sedangkan arus induktor  $L_o = 1,24$ A. Nilai arus saat implemetasi lebih besar dibandingkan dengan simulasi hal ini terjadi karena setiap komponen yang digunakan memiliki efek ketidak idealan. Besar arus hasil simulasi adalah induktor sisi primer  $I_{Lm} + I_{L_{Np}} = 4,8$ A, arus sisi sekunder  $I_{L_{Ns}} = 0,782$ A, sedangkan arus induktor  $L_o = 0,089$ A.

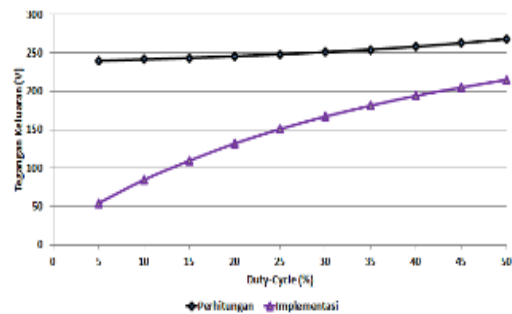


Gambar 8. Bentuk Gelombang Arus Induktor dan Tegangan pada Induktor

### 4.3. Pengujian Rasio Konversi

Rasio konversi dilakukan untuk mengetahui kemampuan konverter dalam menaikkan tegangan masukkan ke tegangan yang lebih tinggi sering dengan meningkatnya perubahan *duty cycle*. Dengan memberikan tegangan kostan 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 saturasi. 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.

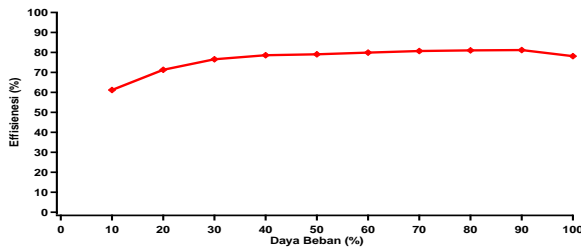


Gambar 9. Grafik Rasio Konversi Tegangan Terhadap *Duty cycle*

Dari Gambar 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 sisi kebocoran induktansi perlahan berkurang.

**4.4. Pengujian Efisiensi**

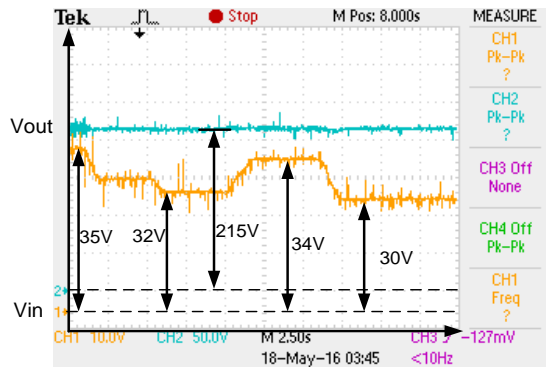
Pengujian efisiensi dilakukan dengan menjaga tegangan masukan dan tegangan keluaran konverter konstan. Sedangkan beban diubah-ubah sehingga dihasilkan daya keluaran yang berbeda. Dari gambar 10, dapat diketahui bahwa efisiensi pada daya 70 watt pada tegangan masukan 30V bernilai lebih dari 80%. Seiring dengan penurunan daya keluaran konverter, efisiensi juga semakin menurun. Dari pengujian yang dilakukan efisiensi maksimum terdapat pada beban 70% sampai 90%.



Gambar 10. Grafik Efisiensi konverter

**4.5. Pengujian Respon kontrol Tegangan**

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 control *duty cycle* terhadap perubahan tegangan masukan yang berubah. Pada pengaplikasian kontrol PI menggunakan metode *trial and error* untuk memperoleh respon yang baik.



Gambar 11. Gelombang tegangan keluaran

Dari Gambar 11 menunjukkan tegangan keluaran tetap stabil walaupun tegangan masukan berubah. Dari hasil simulasi dan implementasi, berdasarkan gambar gelombang tegangan keluaran bahwa kombinasi *KY converter* dan *Buck-Boost converter* didapatkan rasio konversi sebesar 215 V berbanding 30 V atau ekuivalen dengan 7,16 kali.

**4.6. Pengujian dengan Modul Fotovoltaik**

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 1263Ω sehingga daya yang dihasilkan ± 36,59 watt ketika besar tegangan keluaran 215 volt.

**5. Kesimpulan**

Dari hasil simulasi dan implementasi, dapat disimpulkan bahwa implementasi kombinasi *KY converter* dan *Buck-Boost converter* didapatkan rasio konversi hingga 7,16 kali. Respon waktu pensaklaran pada konverter sangat cepat untuk mencapai kondisi *steady state* sebesar 0,1s. dengan konverter memiliki efisiensi hingga 81,18% saat daya 90%. Tegangan keluaran dapat dijaga konstan saat tegangan masukan dari *photovoltaic* berubah-ubah.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Yongchang, Yu, dan Yao Chaunan, "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.

Hesterman, Bryce. "Analysis and modeling of Magnetic Coupling". Denver Chapter, IEEE Power Electronics Society. Colorado. 2007.