

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

Bustanul Arifin, Heri Suryoatmojo, Soedibjo

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: suryomgt@ee.its.ac.id ; soedieb@ee.its.ac.id

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. Namun ketika intensitas cahaya matahari yang berubah-ubah mengakibatkan arus DC yang keluar dari solar sel berubah ubah, oleh karena itu dibutuhkannya suatu perangkat teknologi yang mampu menaikkan tegangan jika intensitas cahaya matahari menurun yaitu menggunakan konverter DC-DC. Pada penelitian ini didesain dan diimplementasikan topologi konverter DC-DC kombinasi konverter KY dan konverter buck-boost yang digunakan untuk menaikkan tegangan DC yang dikeluarkan panel solar sel. Hasil implementasi menunjukkan konverter dapat bekerja dengan respon waktu pensaklaran yang cepat. Selaitu konverter dapat bekerja pada rentang tegangan masukan yang berbeda dan memiliki rasio konversi tegangan masukan yang hingga 7,16 kali dengan efisiensi 81,18% pada daya beban 90%.

Kata Kunci— Solar sel, Kombinasi Konverter KY dan konverter Buck-Boost, Konverter DC – DC.

I. PENDAHULUAN

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].

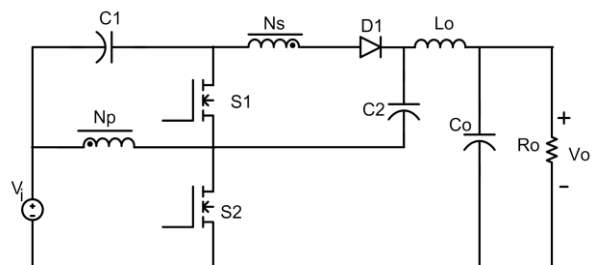
Untuk memperoleh keluaran yang efisien diperlukan rangkaian konverter DC-DC. Konverter DC-DC berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan tegangan *Direct Current* (DC), sama halnya dengan trafo yang mengubah tegangan AC tertentu ke tegangan DC yang lebih tinggi atau lebih rendah. Akan tetapi konverter DC-DC 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, inductor 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[4].

II. URAIAN PENELITIAN

A. Topologi kombinasi KY dan konverter Buck-Boost



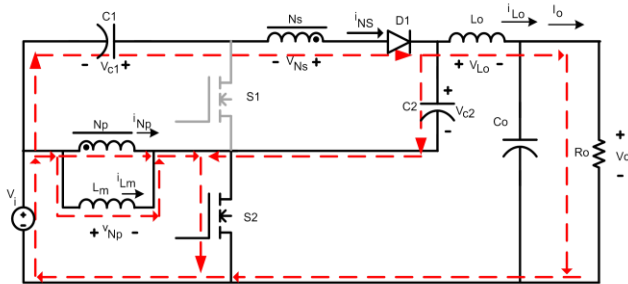
Gambar 1. Rangkaian Konverter Kombinasi KY converter dan Buck-Boost converter.

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 1 merupakan rangkaian dari kombinasi KY *converter* dan buck-boost *converter*.

B. Mode Operasi

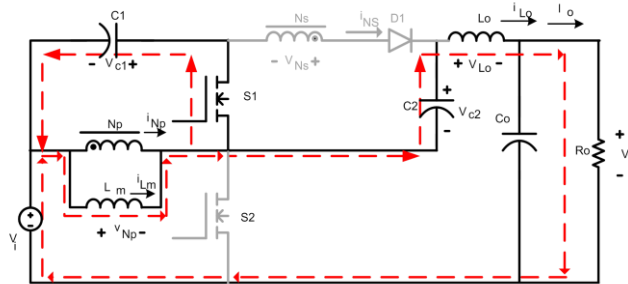
1. Coupling Sama Dengan Satu

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. 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 terbangun 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.



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

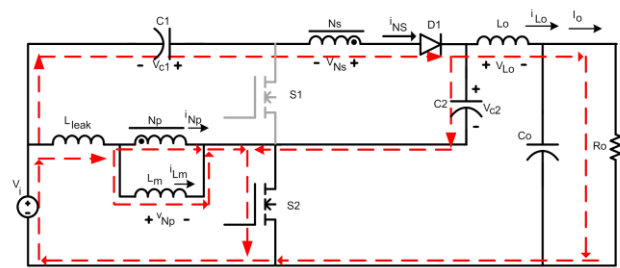
Model 2 Pada saat t_1-t_2 , saklar S1 *on* dan S2 *off* ditunjukkan pada Gambar 3. Sumber DC V_{in} menyalurkan energi ke induktor kopel L_{Np} dan L_m ke S1 kemudian ke C_1 , sehingga tegangan pada C_1 menjadi $-V_{c1}$ dan kembali ke $V_{L_{Np}}$. Pada saat yang sama tegangan V_{in} , induktor L_m 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. Coupling Tidak Sama Dengan Satu

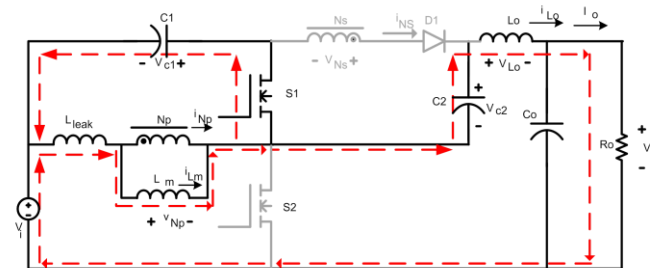
Pada bagian ini kopling koefisien k adalah tidak sama satu, dengan kata lain kebocoran induktor pada *couple* induktor dimasukkan kedalam perhitungan.



Gambar 4. Mode 1 Operasi 1 ($t_0 - t_1$)

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 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_{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 $V_{L_{Np}}$. 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 5. Mode 2 Operasi 2 ($t_1 - t_2$)

C. 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 :

$$N = \frac{N_s}{N_p} \tag{1}$$

$$k = \frac{L_m}{L_{lk} + L_m} = \frac{L_m}{L_p} \tag{2}$$

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_{N_p} dan V_{N_s} dapat di tulis sebagai berikut :

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

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

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

$$V_{C_2} = V_{C_2} = V_i + V_{C_1} + V_{N_s} = V_i + V_{C_1} + kV_i \times \frac{N_s}{N_p} \quad (5)$$

$$V_{L_o} = V_{C_2} - V_o \quad (6)$$

Pada mode I, gambar 3 saklar S_1 *on* dan S_2 *off*, tegangan yang melewati induktor L_o dan kapasitor C_1 dapat ditulis sebagai berikut :

$$V_{N_p} = -kV_{C_1} \quad (7)$$

$$V_{L_o} = V_i + V_{C_1} + V_{C_2} - V_o \quad (8)$$

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

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

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

$$V_{C_1} = \frac{D}{1-D} \times V_i \quad (11)$$

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

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

$$(V_{C_2} - V_o) \times D + (V_i + V_{C_1} + V_{C_2} - V_o) \times (1 - D) = 0 \quad (13)$$

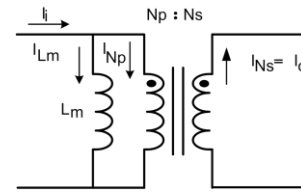
Kemudian dilakukan substitusi persamaan (5) dan (11) ke persamaan (13) maka diperoleh

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

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. Model Rangkaian Equevalen Dari 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

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

$$I_{Lm} = \frac{2-D}{1-D} \times I_o \quad (25)$$

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

$$I_{Lm,max} = I_{Lm} + \frac{\Delta I_{Lm}}{2} \quad (26)$$

$$I_{Lm,min} = I_{Lm} - \frac{\Delta I_{Lm}}{2} \quad (27)$$

Dimana

$$L = L \frac{di}{dt} \quad (28)$$

$$\Delta I_{Lm} = \frac{V_i}{L_m} \times DT_s \quad (29)$$

Sehingga, setelah dilakukan substitusi persamaan (25) dan (29) ke persamaan (26) dan (27), maka diperoleh

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

$$I_{Lm,min} = \frac{2-D}{1-D} \times I_o - \frac{V_i DT_s}{2L_m} \quad (31)$$

Syarat konverter beroperasi secara *Contiuous Conduction Mode (CCM)* adalah arus induktornya harus selalu lebih dari nol. Sehingga, berdasarkan persamaan (31), nilai induktor L_m minimal agar konverter bekerja secara *CCM* adalah

$$0 < I_{Lm,min} \quad (32)$$

$$L_m > \frac{V_i D T_s}{2 \times \left(\frac{2-D}{1-D}\right) \times I_o} \quad (33)$$

$$C_0 \geq \frac{65\mu}{ESR} \quad (47)$$

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

$$I_{Ns} = I_o = I_{Lo} = \frac{V_o}{R_o} \quad (34)$$

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

$$I_{Lo,max} = I_{Lo} + \frac{\Delta I_{Lo}}{2} \quad (35)$$

$$I_{Lo,min} = I_{Lo} - \frac{\Delta I_{Lo}}{2} \quad (36)$$

Dimana

$$L = L \frac{di}{dt} \quad (37)$$

$$\Delta I_{Lo} = \frac{V_{Lo}}{L_o} \times D T_s \quad (38)$$

Dengan substitusikan (19), (21), (22) kedalam persamaan (38), maka diperoleh

$$\Delta I_{Lo} = \frac{V_{Lo} D T_s}{L_o} = \frac{(V_i + V_{C1} + V_{C2} - V_o) \times (1-D) T_s}{L_o} \quad (39)$$

Sehingga, setelah dilakukan substitusi persamaan (34) dan (39) ke persamaan (35) dan (36), maka diperoleh

$$I_{Lo,max} = \frac{V_o}{R_o} + \frac{V_{Lo} D T_s}{2 L_o} \quad (40)$$

$$I_{Lo,min} = \frac{V_o}{R_o} - \frac{V_{Lo} D T_s}{2 L_o} \quad (41)$$

Syarat konverter beroperasi secara *Contiuous Conduction Mode (CCM)* adalah arus induktornya harus selalu lebih dari nol. Sehingga, berdasarkan persamaan (41), nilai induktor L_o minimal agar konverter bekerja secara *CCM* adalah

$$0 < I_{Lo,min} \quad (42)$$

$$L_o > \frac{V_{Lo} D T_s}{2 \times I_{Lo}} \quad (43)$$

Sedangkan untuk mendapatkan persamaan pada kapasitor C_1 dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (44);

$$C_1 \geq \frac{i_{C1} \times \Delta t}{\Delta V_{C1}} = \frac{(I_{i, rated} - I_{o, rated}) \times (1-D) T_s}{\Delta V_{C1} \times V_{C1}} \quad (44)$$

Kapasitor C_2 dapat diperleh dengan menggunakan persamaan (45);

$$C_2 \geq \frac{i_{C2} \times \Delta t}{\Delta V_{C2}} = \frac{I_{Lo, rated} \times (1-D) T_s}{\Delta V_{C2} \times V_{C2}} \quad (45)$$

Dan kapasitor C_3 dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (46) dan (47) :

$$ESR \leq \frac{\Delta V_o}{\Delta i_{Lo}} = \frac{\Delta V_o \times V_o}{\Delta i_{Lo}} \quad (46)$$

III. DESAIN, SIMULASI DAN IMPLEMENTASI

A. Desain

Desain konverter dilakukan untuk menentukan parameter rangkaian dengan menghitung sehingga mempermudah proses implementasi pada penelitian yang akan dilakukan. Table 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, dapat ditentukan sebagai berikut :

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

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

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

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

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

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 dirancang untuk selalu beroperasi secara *CCM (Continuous Conduction Mode)*. Sehingga perlu diketahui nilai batas minimum arus yang mengalir pada induktor L_{ik} dan L_m kontinu:

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

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

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

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 (ΔC_1)	1 %
Riak Tegangan C_2 (ΔC_2)	0.1 %
Riak Tegangan C_o (ΔC_o)	0.1 %
Ripple Arus L_o (ΔL_o)	20 %

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

Pada perancangan untuk menentukan nilai induktor berdasarkan persamaan (43) dengan ripple arus maksimum di tetukan sebesar 20%, sehingga diperoleh nilai L_o sebagai berikut :

$$L_o \geq \frac{v_{Lo} \Delta t}{\Delta i_{Lo}} = \frac{(V_i + V_i \times \frac{D}{1-D} + V_i + V_i \times \frac{D}{1-D} + V_i \times \frac{N_s}{N_p} - V_o)(1-D) T_s}{20\% \times I_{Lo, rated} \times 2}$$

$$L_o \geq \frac{(30 + 30 \times \frac{0.72}{0.28} + 30 + 30 \times \frac{0.72}{0.28} + 30 \times 6 - 320)(0.28) 10 \mu}{20\% \times 0.3215 \times 2}$$

$$L_o \geq 1.664 mH$$

Nilai kapasitor C_1 dihitung menggunakan persamaan (44). Dimana ripple tegangan ditentukan sebesar 1% sehingga diperoleh nilai sebagai berikut :

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

Untuk mencari nilai kapasitansi dari C_1 , maka dapat diperoleh:

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

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

Nilai kapasitor C_2 dihitung menggunakan persamaan (45). Dimana ripple tegangan ditentukan sebesar 0.1% sehingga diperoleh nilai sebagai berikut :

$$V_{C2} = V_i + V_{C1} + V_i \times \frac{N_s}{N_p}$$

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

Untuk mencari nilai kapasitansi dari V_{C2} , maka dapat diperoleh:

$$C_2 \geq \frac{i_{C2} \Delta t}{\Delta v_{C2}} = \frac{0.3125(1-0.72) 10 \mu}{0.01 \times 237.14} = 0.3689 \mu F$$

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

$$ESR \leq \frac{\Delta V_o}{\Delta i_{Lo}} = \frac{0.001 \times V_o}{20\% \times I_{Lo, rated} \times 2} = \frac{0.001 \times 320}{20\% \times 0.3215 \times 2} \approx 2,56 \Omega$$

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

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 $C_1 = 22 \mu F / 160v$, $C_2 = 10 \mu F / 250v$, $C_3 = 33 \mu F / 450v$.

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

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

Pengukuran induktansi bocor dilakukan dengan cara melakukan mengubungkan singkatkan belitan sekunder [5]. Setelah dilakukan pengulungan dan pengukuran kebocoran induktasi pada kopel induktor tahap selanjutnya melakukan perhitungan nilai induktasi magnetisasi dengan data hasil pembuatan kopel induktor.

$$L_{11} = 1053,2 \mu H \quad N_1 = 1$$

$$L_{22} = 27730 \mu H \quad N_2 = 6$$

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

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

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

$$L_m = 897,255 \mu H$$

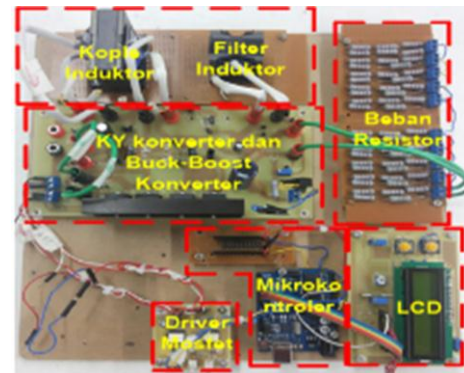
B. Implementasi

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 μH	1
Kebocoran Induktor L_{lk}	8,036 μH	
Output induktor L_o	1.664 mH	1
Kapasitor C_1	22/160v μF	1
Charger kapasitor C_2	10/250v μF	1
Opuput kapasitor C_3	33/450v μF	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 8. Implementasi konverter kombinasi konverter KY dan Buck-Boost konverter

IV. PENGUJIAN

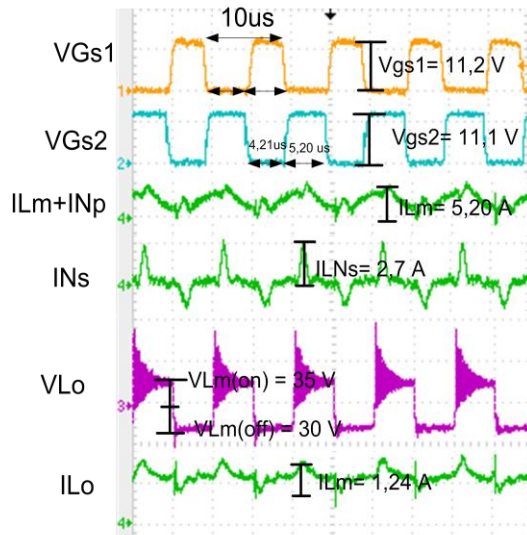
A. Pengujian Bentuk Gelombang Pensaklaran

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

dutycycle 50%, sehingga besar periode gelombang PWM dan pensaklaran konverter adalah 10us.

B. Pengujian Arus Induktor dan Tegangan Kapasitor

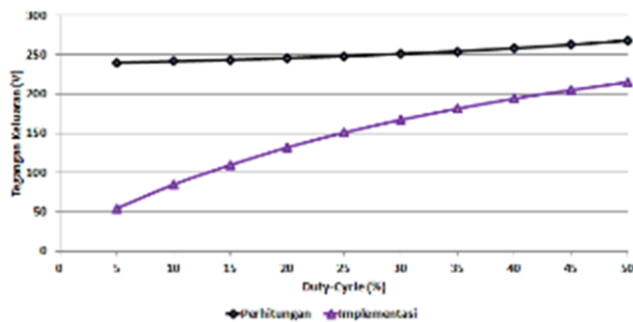
Dari gambar 9 dapat diketahui bahwa L_m dapat bekerja C-CCM. Besar arus yang mengalir pada implementasi induktor sisi primer $I_{Lm}+I_{L_{Np}} = 5,20$ A, arus sisi sekunder $I_{L_{Ns}} = 2,7$ A, sedangkan arus induktor $L_o = 1,24$ A. Nilai arus saat implemetasi lebih besar dibandingkan dengan simulasi 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 9. Bentuk Gelombang Arus Induktor dan Tegangan pada Induktor

C. Pengujian Rasio Konversi

Rasio konversi dilakukan untuk mengetahui kemampuan konverter dalam menaikkan tegangan masukkan ke tegangan yang lebih tinggi sering dengan meningkatnya perubahan *dutycycle*. Dengan memberikan tegangan kostan 30 V dengan beban yang digunakan adalah resistor sebesar 1057 Ω.



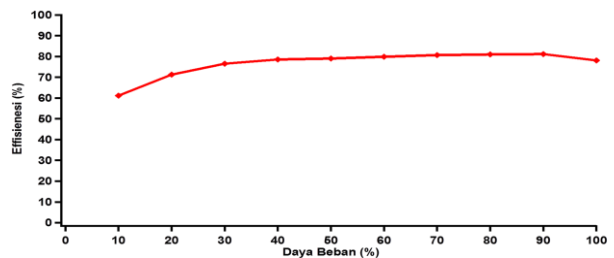
Gambar 10. Grafik Rasio Konversi Tegangan Terhadap *Dutycycle*

Kemudian *dutycycle* dinaikkan dari 5% sampai 50%. *Dutycycle* hanya dinaikkan sampai 50% karena ketika lebih dari 50% kopel induktor bunyi sehingga mengakibatkan kopel induktor terjadi 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.

Dari gambar 10, bahwa hasil perhitungan dan implementasi terjadi perbedaan ini dikarenakan adanya drop tegangan pada kebocoran induktansi yang mana nilainya dipengaruhi oleh *dutycycle*. Jika *dutycycle* kecil maka nilai drop tegangan pada sisi kebocoran induktansi besar. Sedangkan ketika *dutycycle* semakin tinggi maka drop tegangan disisi kebocoran induktansi perlahan berkurang.

D. Pengujian Efisiensi

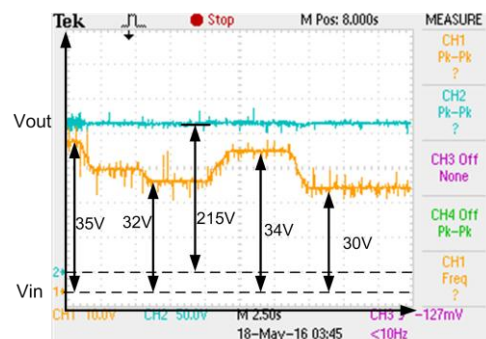
Pengujian efisiensi dilakukan dengan menjaga tegangan masukan dan tegangan keluaran konverter konstan. Sedangkan beban diubah-ubah sehingga dihasilkan daya keluaran yang berbeda. Dari gambar 11, dapat diketahui bahwa efisiensi pada daya 70 watt pada tegangan masukan 30V bernilai lebih dari 80%. Seiring dengan penurunan daya keluaran konverter, efisiensi juga semakin menurun. Dari pengujian yang dilakukan efisiensi maksimum terdapat pada beban 70% sampai 90%.



Gambar 11. Grafik Efisiensi konverter

E. 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 kontrol *dutycycle* terhadap perubahan tegangan masukan yang berubah. Pada pengaplikasian kontrol PI menggunakan metode *trial and error* untuk memperoleh respon yang baik. Dari gambar 13 menunjukkan tegangan keluaran tetap stabil walaupun tegangan masukan berubah.



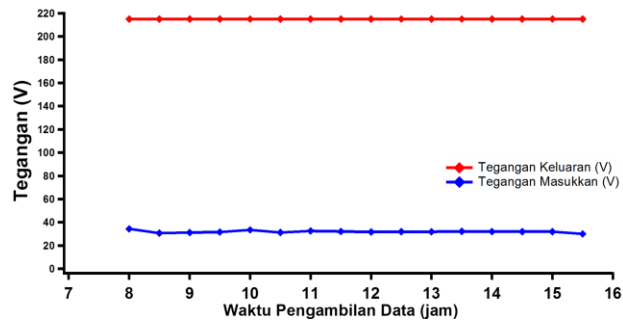
Gambar 13. Gelombang tegangan keluaran akibat perubahan tegangan

F. 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.

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



Gambar 14. Hasil Pengujian dengan menggunakan modul fotovoltaik

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Dari hasil simulasi dan implementasi konverter dapat disimpulkan bahwa implementasi kombinasi *KY converter* dan *Buck-Boost converter* didapatkan rasio konversi hingga 7,16 kali. Respon waktu pensakelaran 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 berubah-ubah.

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