

PENINGKATAN RASIO PENGUATAN TEGANGAN KELUARAN KONVERTER DC-DC SEPIC DENGAN MODIFIKASI KOPEL INDUKTOR

Asnawanti Turnip¹, Dian Yayan Sukma²

¹⁾ Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro ²⁾ Dosen Program Studi Teknik Elektro
Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
Program Studi Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik Universitas Riau
Email: asnawanti.turnip@student.unri.ac.id

ABSTRACT

The purpose of this research is to design and simulate a DC-DC converter that can amplify the voltage generated by the 14 VDC voltage source to be inputted to an inverter without a transformer to produce a voltage of 220 VAC. The voltage generated by DC sources, both solar cells and storage batteries is generally relatively low to meet the voltage's minimum value to be used as the input voltage for the 220 V inverter. A modified SEPIC converter topology is used by adding a secondary winding to one converter inductor called a coupled inductor. The inductor coupling is used to increase the voltage proportional to the primary to the secondary winding ratio in the coupling inductor. This converter can produce a static voltage gain with a ratio of 17 times without increasing the duty-cycle value. The converter modeling circuit was built and simulated using MATLAB-SIMULINK 2016a software. The SEPIC DC-DC design converter with the modification of the inductor coupling can produce an average output voltage of 247 VDC.

Keywords: SEPIC converter, inductor coupling, high gain ratio

I. PENDAHULUAN

Saat ini sistem pembangkit menggunakan energi terbarukan banyak dikembangkan di berbagai daerah. Salah satu sistem energi terbarukan yang banyak digunakan yaitu sel surya. Sel surya atau sering disebut *photovoltaic* merupakan alat yang digunakan untuk mengkonversi cahaya matahari menjadi energi listrik. Intensitas cahaya matahari hanya diperoleh pada siang hari sehingga dibutuhkan penyimpanan energi listrik berupa baterai untuk mensuplai kebutuhan energi listrik pada malam hari atau ketika sel surya tidak dapat bekerja. Baterai yang tersedia sebagai penyimpanan daya memiliki tegangan nominal yang rendah. Hal ini mengakibatkan keluaran baterai tidak bisa langsung dihubungkan ke inverter tanpa trafo 220 VAC. Sehingga dibutuhkan *konverter* DC-DC yang memiliki rasio konversi tinggi untuk menaikkan tegangan output sel surya atau sumber dc lain seperti baterai agar bisa dihubungkan pada inverter tanpa trafo 220 VAC. Banyak teknik yang telah dikembangkan untuk memperoleh penguatan statis yang tinggi untuk implementasi dengan efisiensi yang tinggi dan solusi untuk kerapatan tenaga yang tinggi. Solusi yang banyak digunakan pada dasarnya menggunakan konverter topologi *Boost* dengan mengabungkan teknik-teknik tambahan. Teknik yang banyak digunakan antara lain pensaklaran kapasitor dan sel pengali tegangan, pensaklaran induktor, kopling magnetik induktor, dan juga kombinasi dari teknik-teknik tersebut seperti pensaklaran kapasitor dengan kopling induktor dan kombinasi antara sel pengali tegangan dengan kopling magnetik induktor.

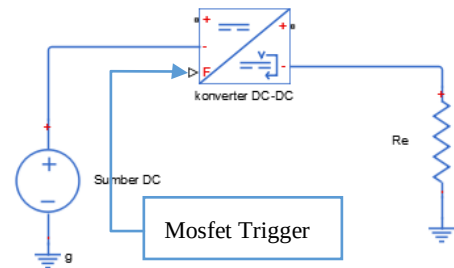
Pada penelitian ini digunakan teknik gabungan antara kopel induktor dengan sel pengali tegangan yang diintegrasikan pada konverter DC-DC SEPIC. Pada keadaan konvensional konverter SEPIC hanya mampu meningkatkan tegangan hingga lima kali tegangan masukan. Sehingga diperlukan kopel induktor untuk menghasilkan penguatan statis tegangan dengan rasio dua puluh kali lipat.

Kopel induktor akan bekerja sebagai *flyback transformer* untuk menaikkan tegangan.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Konfigurasi Sistem

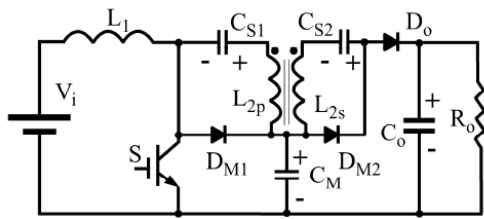
Pada Gambar 3 menunjukkan blok diagram dari konverter DC-DC SEPIC dengan modifikasi kopel induktor dan *voltage output diode clamping*. Blok diagram tersebut terdiri dari sumber DC 14 Volt (baterai/regulator DC), konverter DC-DC SEPIC termodifikasi, beban 100 Watt, dan *driver* MOSFET. Konverter ini bekerja pada frekuensi 24 kHz. Tegangan output dinaikkan menjadi 250 VDC dengan *duty-cycle* 83 %. Keluaran dari konverter ini dapat digunakan untuk menyuplai inverter DC-AC 220 Volt.



Gambar 3 Blok diagram rangkaian konverter

B. Konverter DC-DC SEPIC termodifikasi dengan kopel induktor dan *voltage output diode clamping*.

Pada penelitian ini digunakan kopel induktor yang tersedia pada komponen Matlab 2016a-Simulink. Penambahan kopel induktor pada struktur konverter ini sebagai komponen untuk menaikkan penguatan tegangan statis konverter. Namun penggunaan komponen ini juga menimbulkan beberapa gangguan yakni tegangan lebih pada dioda D_o akibat adanya induktansi bocor dari kopling magnetik L_2 , energi tersimpan pada induktansi bocor akibat *reverse recovery current* pada dioda keluaran D_o dan tingginya tegangan balik pada D_o . Hal ini tidak dapat diatasi hanya dengan menggunakan *snubber* atau *dissipative clamping* sehingga dibutuhkan pengali tegangan CS_1 , CS_2 , DM_1 , DM_2 pada kedua sisi belitan.



Gambar 2 Konverter SEPIC dengan modifikasi penambahan kopel induktor dan *voltage output diode clamping*.

Pengali tegangan ini akan meningkatkan penguatan statis konverter, mereduksi tegangan dioda keluaran D_o sehingga lebih rendah dari tegangan keluaran dan meneruskan energi yang tersimpan pada induktansi bocor ke beban. Pengali tegangan pada sisi sekunder DM_2 dan CS_2 juga bekerja sebagai *non-dissipative clamping* untuk dioda keluaran D_o . (Gules, Reis, Santos, Romaneli, & Badin, 2014)

B. Mode Operasi Konverter

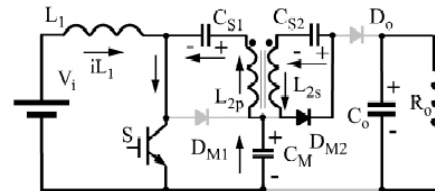
Konverter DC-DC SEPIC yang dimodifikasi dengan kopel induktor dan *clamp* tegangan memiliki lima mode operasi dalam satu periode pensaklaran. Analisis mode operasi konverter dilakukan dengan mengasumsikan bahwa semua komponen semikonduktor dianggap ideal. Kapasitor dianggap sebagai sumber tegangan dan konverter bekerja secara *continuous conduction mode* (CCM) [2]. Bentuk gelombang karakteristik dari konverter dapat dilihat pada gambar 3 di bawah ini.

Teori utama bentuk gelombang konverter SEPIC termodifikasi seperti pada Gambar 3 tegangan *switch* dan tegangan yang melewati semua dioda adalah lebih rendah daripada tegangan keluaran. *Power Switch* aktif terjadi pada arus hampir sama dengan nol menurunkan rugi-rugi pensaklaran secara signifikan. Rasio variasi arus (di/dt) pada seluruh dioda dibatasi oleh adanya induktansi bocor kopling magnetik, mengurangi efek negatif dari arus pemulihan balik dioda.

1. Operasi tahap pertama ($t_0 - t_1$)

Saklar S konduksi, induktor L_1 menyimpan energi, kapasitor C_{S2} dibebani oleh belitan

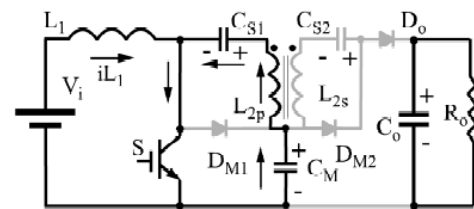
sekunder L_{2s} dan dioda D_{M2} . Induktansi bocor membatasi arus dan transfer energi secara resonan. Dioda output terblok dan tegangan maksimum dioda adalah sama dengan $(V_0 - V_{CM})$. Pada waktu sesaat t_1 transfer energi ke C_{S2} selesai dan D_{M2} diblok.



Gambar 4 Operasi tahap pertama

2. Operasi tahap kedua ($t_1 - t_2$)

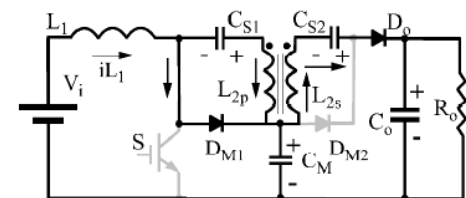
Dari waktu sesaat t_1 ketika dioda D_{M2} diblok ke waktu sesaat t_2 ketika saklar S mati, induktor L_1 dan L_2 menyimpan energi dan arus induktor meningkat secara linier.



Gambar 5 Operasi tahap kedua

3. Operasi tahap ketiga ($t_2 - t_3$)

Pada waktu sesaat t_2 saklar S mati. Energi yang tersimpan di L_1 ditransfer ke kapasitor C_M dan juga ada transfer energi dari output melalui kapasitor C_{S1} , kapasitor C_{S2} , induktor L_2 dan dioda D_o .

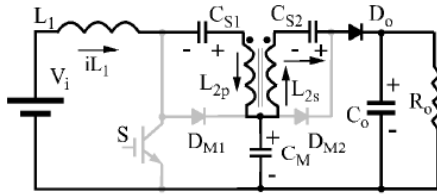


Gambar 6 Operasi tahap ketiga

4. Operasi tahap keempat ($t_3 - t_4$)

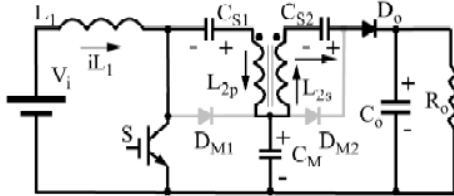
Pada waktu sesaat t_3 transfer energi ke kapasitor C_M terhenti dan diode DM_1 . Transfer energi ke output

dipertahankan hingga waktu sesaat t_4 ketika saklar S menyala.



Gambar 7 Operasi tahap keempat

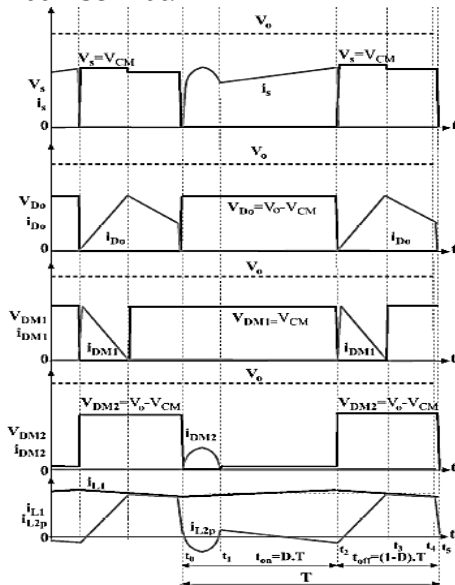
5. Operasi tahap kelima ($t_4 - t_5$) ketika saklar S menyala pada waktu sesaat t_4 , arus pada dioda output D_o menurun secara linear dan di/dt dibatasi oleh induktansi bocor transformator, mengurangi masalah arus balik pemulihan dioda, konverter kembali ke step awal operasi.



Gambar 8 Operasi tahap keempat

C. Analisis Rasio Konversi

Persamaan rasio konversi ditentukan pada saat *switch* tertutup dan terbuka yaitu pada operasi tahap keempat dan kelima, jumlah tegangan masukan akan sama dengan tegangan yang melalui induktor L_1 sehingga diperoleh persamaan berikut.



Gambar 3 Bentuk gelombang teoritis konverter

Penguatan statis (M) konverter SEPIC dengan kopel induktor dan *diode clamp* dapat dihitung dengan persamaan (2). Penguatan statis dapat ditingkatkan dengan menambah rasio belitan (n) tanpa meningkatkan tegangan penyaklaran. Dimana M dapat dihitung dengan persamaan

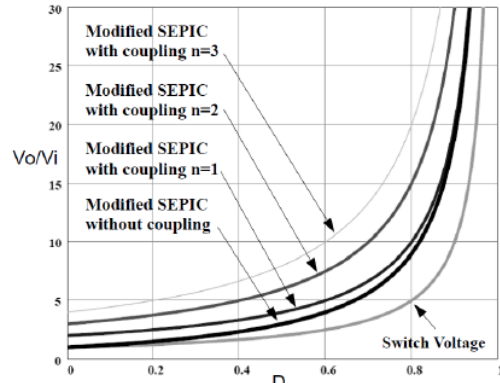
$$M = \frac{V_o}{V_i} \quad (1)$$

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{1}{1-D} \cdot (1+n) \quad (2)$$

Dimana, rasio belitan kopel induktor (n) dihitung dengan:

$$n = \frac{N L_{2S}}{N L_{2P}} = \frac{L_{2S}}{L_{2P}} \quad (2)$$

Penguatan statis sebagai fungsi *duty-cycle* dan rasio belitan (n) seperti pada gambar kurva berikut.



Gambar 9 Kurva penguatan statis sebagai fungsi *duty-cycle* dan rasio belitan (n)

Dengan mempertimbangkan nilai rasio belitan n dari kurva, maka nilai *duty-cycle* dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$D = 1 - \frac{V_i}{V_o} \cdot (1+n) \quad (3)$$

Dengan menentukan spesifikasi nilai *ripple* arus ΔI_L maka nilai induktor ditentukan sebagai berikut.

$$L_1 = L_{2P} = \frac{V_i \cdot D}{\Delta I_L \cdot f} \quad (4)$$

Nilai induktansi belitan sekunder kopel induktor ditentukan dengan memasukkan nilai rasio belitan (n)

$$L_{2S} = n \cdot L_{2P} \quad (5)$$

Dengan menentukan *ripple* tegangan ΔV_o maka nilai kapasitansi kapasitor dihitung dengan persamaan berikut.

$$C_S = C_M = \frac{I_o \cdot n}{\Delta V_o \cdot f} \quad (6)$$

Dimana arus keluaran I_o dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$I_o = \frac{P_o}{V_o} \quad (7)$$

Sementara, nilai resistor yang digunakan sebagai beban konverter adalah

$$R = \frac{P_o^2}{V_o} \quad (8)$$

III. DESAIN DAN SIMULASI

A. Desain

Desain konverter bertujuan untuk menentukan parameter awal dari konverter. Parameter awal ini berfungsi sebagai pedoman dalam menghitung dan menentukan nilai komponen konverter lainnya. Daya output ditentukan 100 Watt untuk keperluan simulasi. Nilai rasio belitan (n) ditentukan berdasarkan kurva penguatan statis konverter sebagai fungsi *duty-cycle* dan rasio belitan. Untuk mencapai penguatan statis 17 kali lipat digunakan $n = 2$. Tegangan input ditentukan 14 Volt sesuai dengan tegangan keluaran baterai yang tersedia secara umum.

Tabel 1. Spesifikasi awal desain konverter

Parameter	Nilai
Daya Output	100 Watt
Tegangan input	14 Volt
Tegangan output	250 Volt
Rasio belitan kopel induktor (n)	2
Frekuensi pensaklaran	24 kHz
Ripple tegangan kapasitor	15 %
Ripple Arus induktor	5 A

Berdasarkan spesifikasi awal desain konverter yang telah ditentukan di atas maka parameter-parameter konverter lainnya dapat dihitung sebagai berikut. Besarnya penguatan statis diperoleh dengan menggunakan persamaan (1)

$$M = \frac{V_o}{V_i} = \frac{250}{14} = 17,85$$

sedangkan nilai *duty-cycle* yang digunakan pada konverter dihitung dengan menggunakan persamaan (2) yaitu:

$$D = 1 - \frac{V_i}{V_o} \cdot (1 + n) = 1 - \frac{14}{250} \cdot (1 + 2) = 0,83$$

Nilai resistor yang digunakan sebagai beban konverter dihitung dengan menggunakan persamaan (8) yaitu:

$$R = \frac{V_o^2}{P_o} = \frac{250^2}{100} = 625 \text{ Ohm}$$

Dengan menganggap nilai riak arus (Δi_L) untuk semua induktor adalah sebesar 5 A, maka nilai induktansi komponen induktor L_1 yang digunakan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (4) yaitu:

$$L_1 = L_{2p} = \frac{V_i \cdot D}{\Delta i_L \cdot f} = \frac{14 \cdot 0,83}{5 \cdot 24000} = 96,8 \mu H$$

Sedangkan nilai induktor L_{2s} diperoleh menggunakan persamaan (5) dengan mempertimbangkan nilai rasio belitan lilitan (n) kopel induktor.

$$L_{2s} = n^2 \cdot L_{2p} = 2^2 \cdot 2,42 \times 10^{-3} = 387,2 \mu H$$

Nilai kapasitansi komponen kapasitor diperoleh dengan menggunakan persamaan (6) dengan memperhatikan riak tegangan pada kapasitor yang telah ditentukan diawal sebesar 15 %

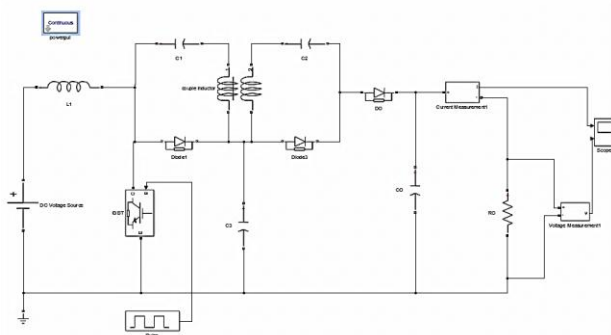
- Menentukan riak tegangan
$$\Delta V_C = 15 \% \cdot \left(\frac{V_i}{1-D} \right) = \frac{15}{100} \cdot \left(\frac{14}{1-0,83} \right) = 14 \text{ V}$$
- Menentukan arus keluaran
$$I_o = \frac{P_o}{V_o} = \frac{100}{250} = 0,4 \text{ A}$$
- Menentukan nilai kapasitansi
$$C_S = C_M = \frac{I_o \cdot n}{\Delta V_C \cdot f} = \frac{0,4 \cdot 2}{14 \cdot 24 \cdot 10^3} = 2,38 \mu F$$

Nilai kapasitansi yang diperoleh adalah sebesar $2,38 \mu F$ maka digunakan kapasitor dengan nilai pembulatan ke atas yaitu $3 \mu F$.

B. Simulasi

Desain konverter yang telah dibuat kemudian disimulasikan menggunakan perangkat lunak Matlab 2016a. Parameter-

parameter yang telah dihitung dimasukkan pada setiap komponen simulasi. Semua parameter yang ada pada rangkaian merupakan komponen ideal dengan sumber tegangan DC konstan sebesar 14 Volt dan beban resistor 625 Ω . Sinyal input pada *Gate* MOSFET dimodelkan dengan gelombang PWM yang diperoleh dari komponen *Pulse Generator*. Gambar 9 menunjukkan rangkaian Matlab-Simulink untuk simulasi konverter DC-DC SEPIC yang dimodifikasi dengan kopel induktor.

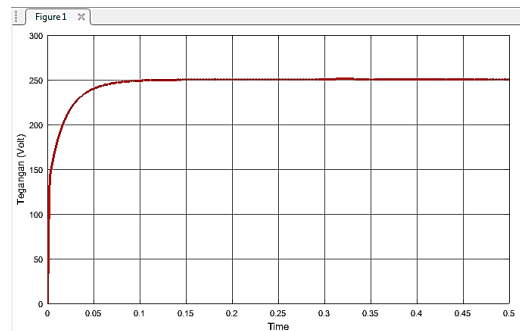


Gambar 9 Rangkaian Simulink konverter SEPIC yang dimodifikasi

IV. HASIL

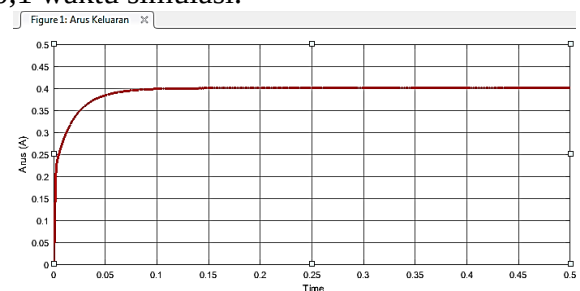
Pada bagian ini ditampilkan hasil simulasi rangkaian konverter DC-DC SEPIC yang dimodifikasi dengan kopel induktor untuk meningkatkan rasio penguatan tegangan keluaran. Hasil simulasi berupa bentuk gelombang dan nilai tegangan keluaran konverter, arus keluaran konverter, dan tegangan pensaklaran.

Gambar 10 menunjukkan tegangan keluaran konverter pada *duty-cycle* 0,82 adalah sebesar 250 VDC dengan fluktuasi sebesar 0.03 % dari tegangan keluaran dan tegangan rata-rata yang dihasilkan sebesar 247,9 VDC. Pada gambar bentuk gelombang arus yang dihasilkan melalui simulasi dapat dilihat bahwa arus keluaran konverter mulai stabil pada detik ke-0,1 waktu simulasi.



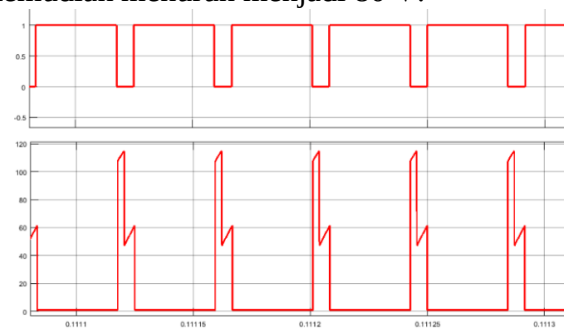
Gambar 10 Tegangan keluaran konverter

Gambar 11 menunjukkan arus keluaran konverter yakni sebesar 0,4 A dengan fluktuasi 0.38 % dari arus keluaran. Nilai rata-rata dan nilai RMS arus sebesar 0,39 A. Pada gambar bentuk gelombang arus yang dihasilkan melalui simulasi dapat dilihat bahwa arus keluaran konverter mulai stabil pada detik ke-0,1 waktu simulasi.



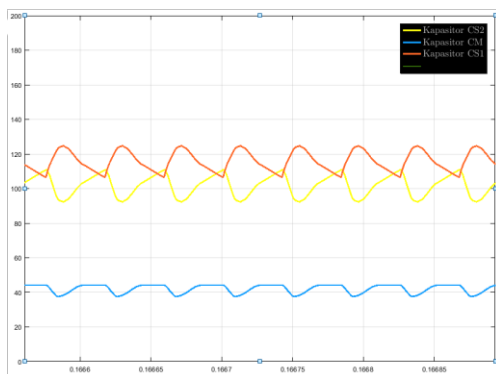
Gambar 11 Bentuk gelombang arus keluaran konverter

Bentuk gelombang sinyal *switching* dapat dilihat pada Gambar 11. Ketika sinyal PWM yang dihasilkan oleh *pulse generator* bernilai satu, maka MOSFET dalam keadaan on sehingga tidak ada tegangan yang melewati MOSFET. Ketika sinyal PWM *pulse generator* bernilai nol, maka MOSFET dalam keadaan off dan tegangan mengalir melalui MOSFET sebesar 120 V pada sebagian waktu kemudian menurun menjadi 80 V.



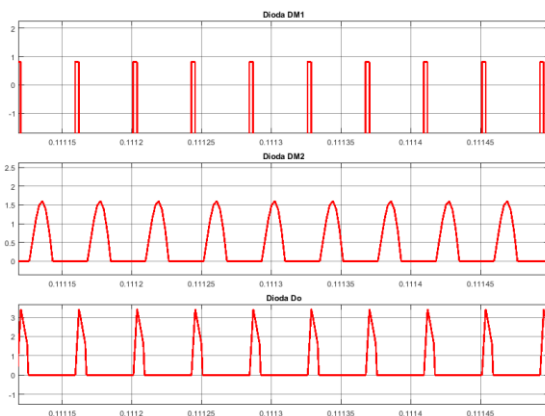
Gambar 11 Tegangan pensaklaran yang melalui switch

Gambar 12 menunjukkan tegangan kapasitor pada kondisi ON dan OFF dari MOSFET. Pada gambar dapat dilihat bahwa kapasitor CS1 dan CS2 *charging* dan *discharging* pada waktu yang berkebalikan ketika kapasitor CS1 dalam keadaan *charging*, kapasitor CS2 dalam keadaan *discharging*. Sedangkan kapasitor CM *charging* dan *discharging* pada waktu yang sama dengan CS2.



Gambar 12 Tegangan kapasitor pada waktu On dan off switch

Arus pada melalui dioda konverter dapat dilihat pada Gambar 13. Dioda DM1, DM2 dan dioda keluaran Do mengalami kondisi *forward-biased* dan *reversed-biased* pada periode waktu yang berbeda.



Gambar 13 Arus pada dioda

V. KESIMPULAN

Konverter DC-DC SEPIC yang dimodifikasi dengan kopel induktor mampu menghasilkan rasio penguatan hingga 17 kali lipat dengan tegangan keluaran rata-rata 247 V. Riak arus dan tegangan keluaran sangat

kecil dan tegangan pensaklaran yang melewati IGBT adalah 120 V kurang dari setengah nilai tegangan keluaran yang menggambarkan konverter beroperasi dengan efisien.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- Gules, R., Reis, d. F., Santos, W. d., Romaneli, E. F., & Badin, A. (2014). A Modified Sepic Converter with High Static Gain for Renewable Application. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 162-167.
- Hart, D. W. (2011). *Power Electronic*. Indiana: McGrew-Hill Companies.
- Maroti, P. K., Padmanaban, S., Blaabjerg, F., Martirano, L., & Siano, P. (2018). A Novel Multilevel High Gain Modified SEPIC DC-to-DC Converter for High Voltage/Low Current. *IEEE POWERENG*, 1-6.
- Rifa'i, A. H., Riawan, D. C., & Suryoatmojo, H. (2016). Desain dan Implementasi Konverter DC-DC Rasio Tinggi Berbasis Integrated Quadratic Boost Zeta. *Jurnal ITS Vol.5*, 109-114.
- Zulkarnaen, G. R., Riawan, D. C., & Ashari, M. (2016). Desain dan Implementasi Konverter DC-DC Rasio Tinggi Berbasis Pensaklaran Kapasitor dan Induktor Terkopel untuk Aplikasi pada Photovoltaic. *jurnal teknik ITS Vol.5 No.2*, 2337-3539.