

Desain dan Implementasi Konverter DC-DC Topologi SEPIC Termodifikasi dengan Gain Statis yang Tinggi untuk Aplikasi pada *Photovoltaic*

Heri Suryoatmojo¹, Indra Dilianto², Suwito³, Ronny Mardiyanto⁴, Eko Setijadi⁵
^{1,2,3,4,5}) Teknik Elektro ITS Surabaya

Jl. Arif Rahman Hakim, Keputih, Sukolio, 60111

Email: suryomgt@gmail.com

ABSTRAK

Dalam merancang sistem pembangkit *photovoltaic* terhubung jala-jala, diperlukan konverter DC-DC untuk meningkatkan tegangan keluaran *photovoltaic*. Dalam perancangan konverter DC-DC, biasanya digunakan konverter dengan *gain* statis yang tinggi dengan tujuan untuk meningkatkan tegangan keluaran *photovoltaic* dan memperoleh efisiensi konversi yang tinggi. Salah satu jenis konverter yang digunakan adalah konverter topologi SEPIC. Namun, konverter DC-DC konvensional seperti konverter topologi SEPIC memiliki *gain* statis dengan tegangan keluaran yang rendah. Konverter SEPIC konvensional hanya dapat meningkatkan tegangan keluaran sebesar 5 kali dari tegangan masukan ketika *Duty Cycle* bernilai 0.8182. Untuk memenuhi standar *gain* statis yang tinggi, maka diperlukan tegangan keluaran sebesar 10 kali dari tegangan masukan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, maka penulis mengusulkan menggunakan topologi konverter DC-DC SEPIC termodifikasi. Modifikasi pada konverter SEPIC konvensional dilakukan dengan menambahkan kapasitor dan dioda. Konverter DC-DC SEPIC termodifikasi dapat menaikkan tegangan keluaran hingga 10 kali dari tegangan masukan. Dengan diterapkannya topologi ini, maka diharapkan dapat diperoleh tegangan keluaran konverter yang tinggi untuk aplikasi pada *photovoltaic*.

Kata Kunci: Konverter DC-DC Topologi SEPIC Termodifikasi, Gain Statis yang Tinggi, Aplikasi pada Photovoltaic

I. PENDAHULUAN

Kenaikan harga dan keterbatasan jumlah sumber energy tidak terbarukan telah menyebabkan penggunaan sumber energy terbarukan semakin meningkat. Salah satu sumber energy terbarukan yang dapat digunakan adalah sel *photovoltaic* [1]. Saat ini, energi terbarukan berbasis *photovoltaic* telah menarik perhatian sebagai energi masa depan yang mampu memecahkan permasalahan pemanasan global dan krisis energi yang disebabkan peningkatan konsumsi energi. Energi terbarukan berbasis *photovoltaic* memiliki banyak kelebihan karena tidak membutuhkan bahan bakar, bebas polusi, dan tidak menimbulkan suara bising. Selain itu, modul *photovoltaic* juga memiliki umur hingga 20 tahun sehingga dapat mengurangi biaya perawatan [2].

Dalam membuat sistem pembangkit listrik berbasis *photovoltaic*, terdapat beberapa tahap yang perlu dilalui tegangan keluaran *photovoltaic* sebelum dapat dihubungkan ke jala-jala. Tahapan tersebut adalah konverter DC-DC dan inverter. Dalam perancangan konverter DC-DC, biasanya digunakan konverter dengan *gain* statis yang tinggi dengan tujuan untuk meningkatkan tegangan keluaran *photovoltaic* dan meningkatkan efisiensi. Salah satu jenis konverter yang digunakan adalah Konverter Topologi SEPIC. Namun, konverter DC-DC konvensional seperti konverter topologi SEPIC memiliki *gain* statis tegangan keluaran yang rendah. Pada *Duty*

Cycle sebesar 0.8182, konverter SEPIC hanya dapat meningkatkan tegangan keluaran sebesar 5 kali dari tegangan masukan sehingga tergolong *gain* standard. Untuk memenuhi standar *gain* statis yang tinggi, maka diperlukan tegangan keluaran sebesar 10 kali dari tegangan masukan [3]

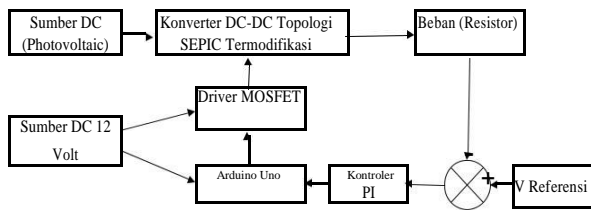
Untuk mengatasi permasalahan tersebut, maka pada tugas akhir ini penulis mengusulkan menggunakan topologi konverter DC-DC SEPIC termodifikasi. Modifikasi dilakukan dengan menambahkan dioda dan kapasitor. Konverter DC-DC SEPIC termodifikasi dapat menaikkan tegangan keluaran hingga 10 kali dari tegangan masukan [3]. Dengan diterapkannya topologi ini, maka diharapkan dapat diperoleh tegangan keluaran konverter yang tinggi.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Konfigurasi Sistem

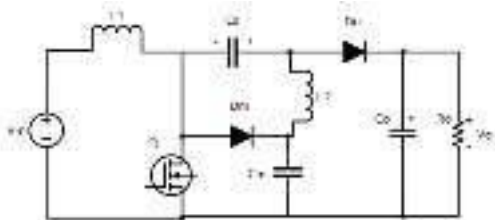
Diagram blok sistem menjelaskan mengenai sistem kerja konverter DC-DC SEPIC termodifikasi untuk aplikasi pada *photovoltaic* secara keseluruhan. Diagram blok terdiri dari sumber DC, konverter, beban resistor, driver MOSFET, dan kontroler PI. Gambar 1 dibawah ini menunjukkan blok diagram dari sistem konverter. Berdasarkan gambar 1, tegangan masukan dari konverter menggunakan bahwa sumber DC *input* dari konverter

menggunakan sumber DC yang bersumber dari energi terbarukan, yaitu *photovoltaic*. Daya keluaran dari *photovoltaic* fluktuatif karena bergantung pada intensitas cahaya matahari, sehingga dalam pengujian digunakan sumber DC variabel yang terdapat pada Laboratorium. Sinyal *switching* PWM untuk *trigger* penyaklaran MOSFET dihasilkan dengan menggunakan Arduino Uno, yang mana sinyal *switching* PWM tersebut memiliki amplitudo sebesar ± 5 volt. Driver MOSFET berfungsi sebagai peningkat tegangan masukan pada *gate* MOSFET karena tegangan minimum untuk *trigger* MOSFET adalah ± 20 volt. Tegangan keluaran konverter memiliki nilai sebesar 340 volt yang merupakan tegangan untuk aplikasi *grid-connected micro inverter* agar dapat dikonversi menjadi tegangan AC 220 V_{rms} . Pada konverter diberikan controller PI yang berfungsi untuk menjaga nilai tegangan keluaran agar tetap konstan ketika tegangan masukannya berubah pada *range* sebesar 29-34 volt.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem Konverter

Topologi konverter DC-DC SEPIC Termodifikasi dengan *Gain* Statis yang Tinggi ditunjukkan pada gambar 2.



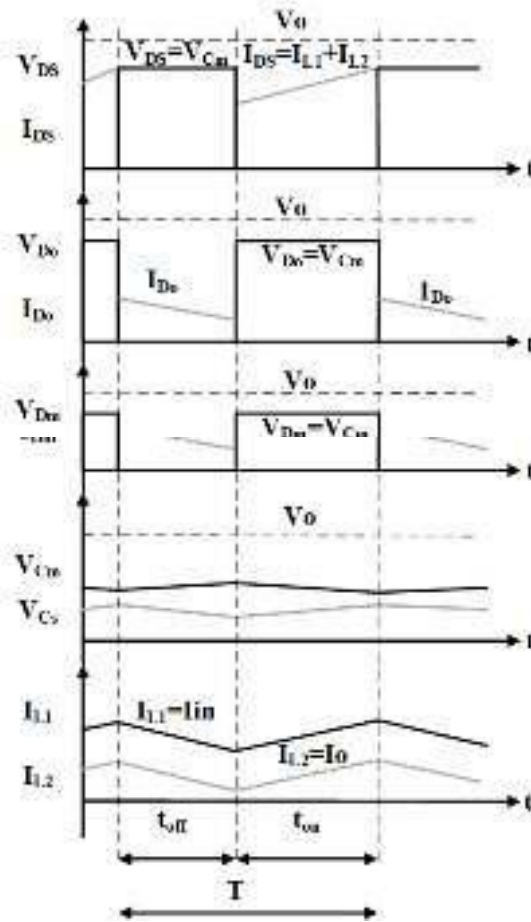
Gambar 2. Rangkaian Konverter DC-DC Topologi SEPIC Termodifikasi

Konverter Topologi SEPIC termodifikasi merupakan konverter topologi SEPIC konvensional yang topologinya dimodifikasi sedemikian rupa sehingga diperoleh gain tegangan keluaran yang lebih tinggi dari topologi SEPIC konvensional. Konverter ini terdiri dari beberapa komponen, antara lain tegangan masukan, induktor L1, induktor L2, kapasitor Cs, kapasitor Cm, sakelar Q, dioda Dm, dioda Do, kapasitor Co, dan beban resistif Ro. Modifikasi didapatkan dengan menambah dua komponen,

yaitu dioda Dm dan kapasitor Cm. Dengan berubahnya topologi rangkaian, maka terjadi perubahan mode operasi [3]

B. Mode Operasi Konverter

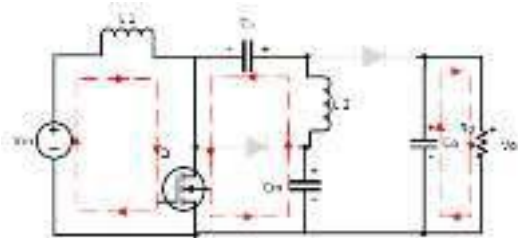
Konverter DC-DC topologi SEPIC termodifikasi memiliki dua mode operasi, yaitu ketika sakelar Q tertutup dan terbuka. Mode operasi konverter dapat dianalisis dengan mengamati perilaku masing-masing komponen pada saat kondisi tunak. Semua komponen dianggap dalam kondisi ideal. Tegangan pada kapasitor juga dianggap konstan selama satu periode pensaklaran dan konverter beroperasi secara *continuous conduction mode* (CCM) atau arus induktor I_{L1} dan I_{L2} selalu kontinu [3]. Bentuk gelombang karakteristik dari konverter dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Bentuk Gelombang Karakteristik dari Konverter.

1. Mode operasi ketika sakelar Q tertutup (t_{on})

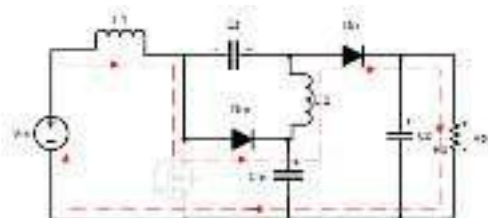
Pada saat sakelar Q tertutup, dioda Dm dan Do dalam keadaan *reverse-biased*. Arus dari tegangan masukan akan mengalir melalui induktor dan sakelar, lalu kembali menuju ke sumber tegangan V_{in} . Pada kondisi ini, induktor L1 mengalami pengisian muatan sehingga besarnya tegangan masukan akan bernilai sama dengan tegangan induktor L1. Selain terjadi pengisian induktor L1 oleh tegangan masukan, terjadi pula pengisian muatan induktor L2 dan muatan kapasitor Cs oleh kapasitor Cm. Arus yang disuplai dari kapasitor Cm mengalir melalui sakelar Q. Pada kondisi ini, besar tegangan kapasitor Cm sama dengan penjumlahan dari tegangan induktor L2 dan kapasitor Cs. Gambar 4 menunjukkan aliran arus ketika sakelar Q tertutup.



Gambar 4. Mode Operasi ketika sakelar Q tertutup (t_{on})

2. Mode operasi ketika sakelar Q terbuka (t_{off})

Pada saat sakelar Q terbuka, dioda Dm dan Do dalam kondisi *forward-biased*. Arus dari tegangan masukan akan mengalir melalui induktor L1 untuk mengisi muatan kapasitor Cm, lalu menuju beban R_o melalui induktor L2 dan dioda Do. Induktor L1 mengalami mode *discharge* sehingga berperan dalam mengisi muatan kapasitor Cm. Kondisi ini mengakibatkan tegangan pada kapasitor Cm bernilai sama dengan penjumlahan dari tegangan masukan dan tegangan induktor L1. Selain proses *discharge* pada induktor L1, terjadi pula proses *discharge* pada induktor L2 sehingga terjadi penyaluran energi menuju beban R_o . Kondisi *discharge* juga terjadi pada kapasitor Cs, sehingga menyebabkan besar tegangan pada induktor L2 sama dengan besar tegangan V_{Cs} .



Gambar 5. Mode Operasi II (t_1-t_2)

C. Analisis Penurunan Rasio Konversi

Penurunan persamaan rasio konversi didapatkan ketika mode sakelar terbuka dan mode sakelar tertutup. Ketika

sakelar tertutup, besarnya tegangan masukan bernilai sama dengan tegangan induktor L1 sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$V_{in} = L_1 \frac{dI_{L1}}{dt} \quad (1)$$

$$V_{in} = L_1 \frac{\Delta I_{L1}}{t_{on}} \quad (2)$$

Besar tegangan kapasitor Cm bernilai sama dengan penjumlahan dari tegangan induktor L2 dan kapasitor Cs, sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$V_{Cm} = V_{L2} + V_{Cs} \quad (3)$$

$$V_{Cm} = L_2 \frac{dI_{L2}}{dt} + V_{Cs} \quad (4)$$

$$V_{Cm} = L_2 \frac{\Delta I_{L2}}{t_{on}} + V_{Cs} \quad (5)$$

Ketika sakelar terbuka, tegangan pada kapasitor Cm bernilai sama dengan penjumlahan dari tegangan masukan dan tegangan induktor L1, sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$V_{Cm} = V_{in} + V_{L1} \quad (6)$$

$$V_{Cm} = V_{in} + L_1 \frac{dI_{L1}}{dt} \quad (7)$$

$$V_{Cm} = V_{in} + L_1 \frac{\Delta I_{L1}}{t_{off}} \quad (8)$$

Besar tegangan pada induktor L2 bernilai sama dengan besar tegangan V_{Cs} , sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$V_{Cs} = L_2 \frac{dI_{L2}}{dt} \quad (9)$$

$$V_{Cs} = L_2 \frac{\Delta I_{L2}}{t_{off}} \quad (10)$$

Selain itu, ketika sakelar terbuka, besar tegangan keluaran V_o akan bernilai sama dengan penjumlahan antara tegangan pada induktor L2 dan tegangan pada kapasitor Cm, seperti pada persamaan berikut:

$$V_o = V_{Cs} + V_{Cm} \quad (9)$$

Dengan melakukan substitusi persamaan 2 pada persamaan 6, maka didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$V_{Cm} = \frac{1}{1 - D} V_{in} \quad (10)$$

$$\frac{V_{Cm}}{V_{in}} = \frac{1}{1-D} \quad (11)$$

Dengan melakukan substitusi persamaan 8 pada persamaan 4, maka didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$V_{Cm} = \frac{1}{D} - V_{Cs} \quad (12)$$

Dengan melakukan substitusi persamaan 12 pada persamaan 11, maka didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{V_{Cs}}{V_{in}} = \frac{D}{1-D} \quad (13)$$

$$V_{Cs} = \frac{D}{1-D} V_{in} \quad (14)$$

Berdasarkan persamaan 9, tegangan keluaran bernilai sama dengan penjumlahan tegangan pada kapasitor Cs dan kapasitor Cm. Dengan melakukan substitusi persamaan 14 dan 12 pada persamaan 9, maka didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$V_o = \frac{1-D}{1-D} V_{in} \quad (15)$$

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{1-D}{1-D}$$

Persamaan 16 merupakan persamaan untuk menentukan rasio konversi dari konverter topologi SEPIC termodifikasi. Besar tegangan keluaran ditentukan oleh besarnya *duty cycle* yang nilainya berkisar antara 0 hingga

1. Semakin besar *duty cycle*, maka akan semakin besar pula tegangan keluaran dari konverter.

III. DESAIN DAN IMPLEMENTASI

A. Desain

Desain konverter bertujuan untuk menentukan parameter awal dari konverter.

Tabel 1. Spesifikasi Awal Desain Konverter

Parameter	Nilai
Daya Output (Po)	100 Watt
Tegangan Input (Vin)	34 Volt
Tegangan Output (Vo)	340 Volt
Frekuensi Switching	33 kHz
Ripple Tegangan Cs	2,35 %
Ripple Tegangan Cm	2,35 %
Ripple Iin	19%

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{340}{34} = 10$$

$$D = \frac{350-34}{350} = 0,8182$$

Nilai resistor yang digunakan sebagai beban konverter :

$$R = \frac{V_{out}^2}{P_{out}} = \frac{340^2}{100} = 1156 \Omega$$

Penentuan nilai induktor L1 dan L2 adalah sebagai berikut:

$$L_1 = L_2 = \frac{V_{in} D}{\Delta I_L f}$$

$$= \frac{340 \cdot 0,8182}{19\% \cdot \frac{V_{in}^2}{P}}$$

$$= \frac{340 \cdot 0,8182}{19\% \cdot \frac{340^2}{33000}}$$

$$= 1,5 \text{ mH}$$

Pada induktor L1, besar arus rata-rata yang mengalir

bernilai sama dengan arus masukan konverter, yaitu:

$$I_{L1} = I_{in} = \frac{P_{in100}}{V_{in34}} = 2,94 \text{ A}$$

Dikarenakan pada induktor L1 memiliki *ripple* sebesar 19%, maka arus maksimal yang mengalir adalah sebagai berikut:

$$I_{L1max} = 119\% \cdot 2,94 = 3,49 \text{ A}$$

Besarnya nilai *duty cycle* dan penguatan pada konverter yaitu :

Pada induktor L2, besar arus rata-rata yang mengalir bernilai sama dengan arus keluaran konverter, yaitu:

$$I_{out} = \frac{P_{out}}{V_{out}} = \frac{100}{340} = 0,29 \text{ A}$$

Pada penelitian ini, nilai kapasitor Cm dan Cs adalah sama. Untuk menentukan nilai kapasitor, maka diperlukan nilai ripple tegangan pada kapasitor Cm sebagai berikut:

$$\Delta V_{Cm} = \frac{I_o}{Cm \cdot f}$$

$$Cm = Cs = \frac{0,29}{4,39 \cdot 33000} = 2 \mu\text{F}$$

Penentuan nilai kapasitor Co ditentukan sebesar 50 μF.

Tegangan pada dioda Dm dan Do bernilai sama dengan tegangan pada kapasitor Cm, yaitu:

$$V_{Dm} = V_{Do} = V_{Cm} = \frac{1}{1,0818} \cdot 187 \text{ V}$$

Sedangkan arus yang mengalir pada diode Dm dan diode Do bernilai sama dengan arus keluaran konverter, yaitu:

$$I_{Dm} = I_{Do} = I_o = \frac{P_o}{V_o} = \frac{100}{340} = 0,29 \text{ A}$$

Pada sakelar, nilai tegangan sama dengan besar tegangan pada kapasitor Cm, yaitu:

$$V_{DS} = V_{Cm} = \frac{1}{1,0818} \cdot 187 \text{ V}$$

Sedangkan arus yang mengalir dari sisi drain menuju source adalah jumlah arus rata-rata pada induktor L1 dan induktor L2, yaitu:

$$I_{DS} = I_{L1} + I_{L2} = 2,94 + 0,29 = 3,23 \text{ A}$$

D. Implementasi

Implementasi dilakukan untuk mengetahui kinerja konverter berdasarkan desain dan simulasi. Komponen dan parameter saat implementasi adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Komponen dan parameter yang digunakan saat Implementasi Konverter

Komponen	Nilai
Tegangan sumber DC PV	35V
Tegangan sumber DC power supply	34V
Mikrokontroler	Arduino UNO
MOSFET	IRFP4332 (1 buah)
Optocoupler	FOD3182 (1 buah)
Power Supply untuk optocoupler	12V (1 buah)
Dioda Dm dan Do	MUR1660 CT (2 buah)
Kapasitor Co	Polar 50uF 800V

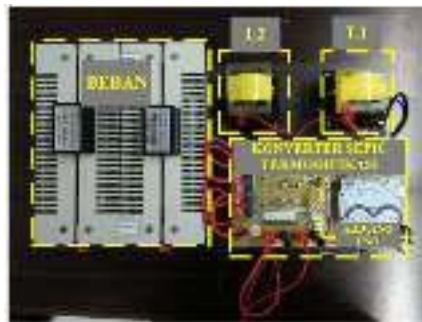
$$= \frac{100}{340} = 0,29 \text{ A}$$

$$\Delta V_{Cm} = 4,39 \text{ V}$$

Nilai kapasitor Cm dan Cs didapatkan dengan persamaan sebagai berikut:

$$Cm = Cs = \frac{I_o}{\Delta V_{Cm} \cdot f}$$

Sesuai dengan tabel 2, gambar 6 merupakan implementasi dari konverter DC-DC topologi SEPIC termodifikasi dengan gain statis yang tinggi.

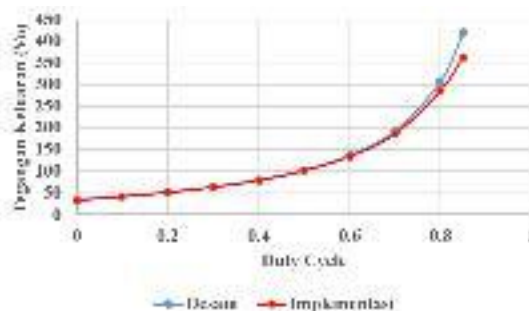


Gambar 6. Implementasi Konverter

IV. PENGUJIAN

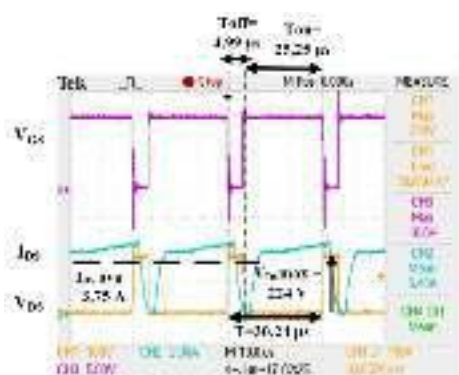
Kapsitor Cm	Non Polar 2 uF 400V
Kapsitor Cs	Non Polar 2 uF 400V
Induktor L1	1,503 mH
Induktor L2	1,495 mH
Beban resistor	1156 Ω
Frekuensi penyaklaran	33 kHz
Inti induktor	TDK-B66335
Tegangan keluaran	340V
Duty Cycle	82,35 %

Gambar 7 dibawah ini merupakan dapat disimpulkan bahwa semakain besar nilai *duty cycle* maka terdapat perbedaan antara perhitungan dan hasil pengujian. Perbedaan ini disebabkan karena faktor ketidakidealan dari masing-masing komponen yang digunakan untuk implementasi. Pada tiap-tiap komponen seperti kapasitor, induktor, dioda dan MOSFET memiliki hambatan dalam. Resistansi pada tiap komponen mengakibatkan drop tegangan.

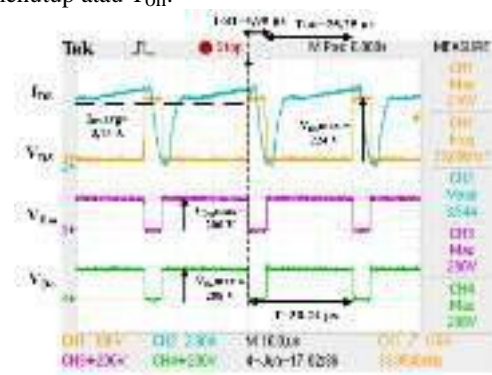


Gambar 7. Grafik Pengujian Rasio Konversi

8. Bentuk sinyal penyakelaran dapat dilihat pada gambar 8. Ketika sisi gate diberi tegangan trigger berupa PWM sesuai yang ada pada gelombang tegangan *gate-source*, maka sakelar akan menutup atau T_{on} .

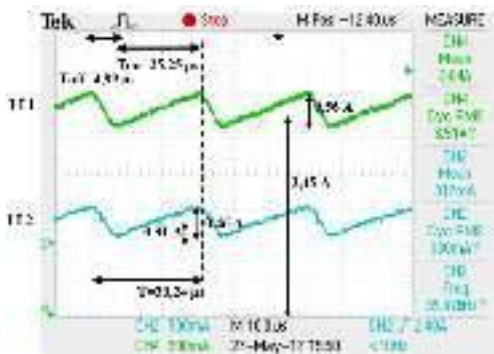


Gambar 8. Sinyal Penyakelaran



Gambar 10. Bentuk Sinyal Tegangan Dioda Dm dan Dioda Do

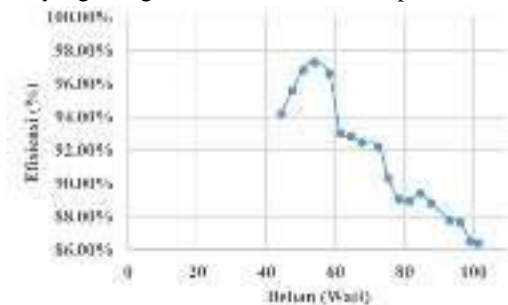
Gambar 9 menunjukkan bentuk sinyal arus induktor L1 dan L2. Pada gambar tersebut, terlihat bentuk gelombang arus induktor L1 dan L2. Pada gelombang arus induktor L1 maupun L2, dapat dilihat bahwa bentuk gelombang tersebut telah sesuai dengan optimal pada daya kisaran 40 hingga 100 Watt. Efisiensi konverter semakin turun apabila daya yang mengalir semakin besar. Hal ini disebabkan karena ketika daya semakin besar, maka arus yang mengalir akan semakin besar pula.



Gambar 9. Sinyal arus induktor L1 dan L2

Bentuk sinyal tegangan dioda dapat dilihat pada gambar 10. Dari pengujian penyakelaran pada dioda dapat terlihat bahwa karakteristik bentuk gelombang pada dioda Dm dan Do konverter hasil implementasi sudah sesuai dengan karakteristik

Efisiensi pada konverter dapat dilihat pada gambar 11. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa konverter dapat bekerja optimal pada daya kisaran 40 hingga 100 Watt. Efisiensi konverter semakin turun apabila daya yang mengalir semakin besar. Hal ini disebabkan karena ketika daya semakin besar, maka arus yang mengalir akan semakin besar pula.



Gambar 11. Grafik Pengujian Efisiensi Konverter

V. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan melalui simulasi dan implementasi konverter DC-DC SEPIC termodifikasi dengan gain statis yang tinggi untuk aplikasi pada *photovoltaic* dapat disimpulkan menjadi beberapa hal berikut:

1. Implementasi konverter topologi SEPIC termodifikasi mampu menaikkan tegangan 34 VDC menjadi 340 VDC, sehingga nilai penguatan (*gain*) rangkaian adalah sebesar 10 kali pada kondisi pembebanan penuh (100W).
2. Konverter memiliki *gain* statis yang tinggi karena mampu menaikkan tegangan hingga 10 kali.
3. Aplikasi konverter pada sel *photovoltaic* perlu mempertimbangkan faktor *irradiance* untuk meningkatkan efisiensi transfer energi pada *photovoltaic* menuju ke beban.
4. Efisiensi rata-rata dari implementasi konverter SEPIC termodifikasi adalah 91,46 %.
5. Pada sistem kerja dinamis konverter, tegangan keluaran mampu mempertahankan tegangan sebesar 340 V ketika tegangan masukan berubah-ubah dari 34 V menuju 39 V dan turun menuju 29 V.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gu, B. (2013). High Boost Ratio Hybrid Transformer DC-DC Converter for Photovoltaic Module Applications. *IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS*, 28(4), 2048-2058.
- [2] Gules, R. (2014). A Modified SEPIC Converter With High Static Gain. *IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS*, 29(11), 5860-5871.
- [3] Jung, D.-Y. (2010). Interleaved Soft-Switching Boost Converter for Photovoltaic Power-Generation System. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 26(4), 1137-1145.