

ANALISIS DAN SIMULASI KONVERTER DC-DC PENAIK TEGANGAN DENGAN CELL PENGUAT TINGGI UNTUK APLIKASI PHOTO VOLTAIC (PV)

Anung¹, Givy Devira Ramady², Purwadi Budi Santoso³, Taufik Rachman⁴, Yakob Liklikwatil⁵, Dwiyanto⁶

^{1,2,5,6}Jurusan Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknologi Mandala, Bandung

^{3,4}Jurusan Teknik Informatika, Sekolah Tinggi Teknologi Mandala, Bandung

^{1,2,3,4,5}Jln. Soekarno-Hatta no 597, Kota Bandung, 40284, Indonesia

email: ¹anungstmt@gmail.com, ²givy.d.ramady@gmail.com, ³purwadiugm87@gmail.com, ⁴rachmantaufik59@gmail.com,
⁵y.lilikwatil@gmail.com, ⁶yan2dwi@yahoo.com

Abstract – The range of DC output voltage of the photovoltaic cell is about 20 - 45 V_{dc}. At generally electrical load use an AC voltage is about 220 V_{ac} for one phase load and a 380 V_{ac} for three phase load. So that the output voltage of the photovoltaic cell has to raise up to 400 V_{dc} and then it voltage changed to an AC voltage with an inverter. In this paper, the voltage conversion ratio of the DC to DC voltage with high gain cell power converter will be analyzed and simulated with PSIM software. From the analysis and simulations show that the output voltage of that converter can be achieved it about 400 V_{dc} from around input voltage 20 V_{dc}, the duty cycle of the semiconductor switch is 71 %.

Keywords: Converter, Gain cell, Duty cycle

Abstrak – Tegangan dc keluaran dari photovoltaic berkisar antara 20 V_{dc} hingga 45 V_{dc}. Beban listrik umumnya menggunakan tegangan satu fasa 220 V_{ac} dan tegangan tiga fasa 380 V_{ac}. Sehingga tegangan keluaran dari photo voltaic harus dinaikan ke tegangan 400 V_{dc} yang selanjutnya dirubah ke tagangan arus bolak balik oleh inverter. Pada makalah ini akan dianalisis dan disimulasikan kerja konverter daya penaik tegangan DC ke tegangan DC yang dilengkapi dengan sel penguat tegangan tinggi. Analisis dilakukan pada kondisi konduksi kontinyu dan simulasi dilakukan dengan perangkat lunak PSIM. Hasil analisis dan simulasi menunjukkan bahwa konverter dapat menaikan tegangan sampai sekitar 400 V_{dc} dari tegangan masukan 20 V_{dc} dengan siklus kerja saklar semikonduktor 71%.

Kata Kunci : Converter , Gain cell, Siklus kerja

I. PENDAHULUAN

Sebagai negara kepulauan dengan lebih dari 17000 pulau, Indonesia menghadapi tantangan dalam pengiriman tenaga listrik ke semua penduduk, khususnya yang tinggal di daerah jauh dan di pulau terluar. Menurut kementrian energy dan mineral meskipun rasio total kelistrikan Indonesia pada tahun 2019 telah mencapai hampir 99%. Terdapat tempat-tempat yang ketinggalan dan sekitar 1 juta keluarga masih tanpa listrik. Selain itu jaringan listrik yang kuat hanya tersedia di pulau-pulau utama, dimana terdapat pemerintahan pusat dan penduduk terbanyak. Terdapat juga daerah-daerah dimana listrik hanya tersedia beberapa jam dalam satu hari. Terletak di daerah khatulistiwa, potensi cahaya matahari di Indonesia diperkirakan sekitar 208 GWp, lebih besar dari sumber

energy terbarukan yang lainnya seperti air (75 GWp), angin (60 GWp) dan panas bumi (29,5 GWp) [2].

Tegangan searah (V_{dc}) keluaran selsurya sekitar 20 V_{dc} sampai dengan 45 V_{dc} [3]. Hal tersebut tergantung dari intensitas cahaya matahari yang diterima oleh selsurya dan jumlah sel surya yang terpasang. Intensitas cahaya matahari yang tinggi akan menghasilkan tegangan keluaran yang tinggi. Tegangan keluran tersebut kemudian dinaikan sampai tegangan sekitar 400 V_{dc} oleh sebuah konverter dc ke dc. Tegangan tersebut selanjutnya dirubah ke tegangan arus bolak-balik 220 V_{ac} atau 380 V_{ac} oleh sebuah inverter [6].

Pada artikel ini, disajikan sebuah analisis berupa penurunan dan simulasi dari konverter tegangan dc ke tegangan dc yang dilengkapi dengan sel penguat tegangan tinggi. Dimana konverter tersebut difungsikan untuk merubah tegangan 20 V_{dc} ke tegangan 400 V_{dc}.

*) **penulis korespondensi:** Anung

Email: anungstmt@gmail.com

II. PENELITIAN YANG TERKAIT

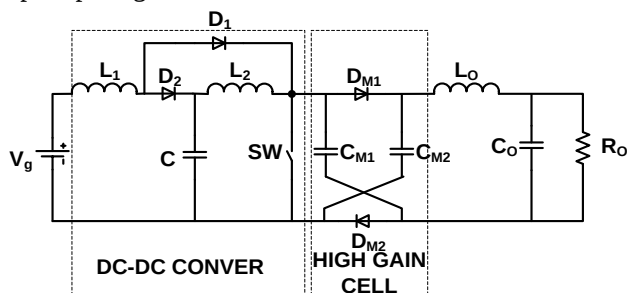
Penelitian terkait atau penelitian terdahulu adalah salah satu acuan bagi peneliti dalam melakukan penelitian. Beberapa penelitian terkait yang digunakan sebagai bahan referensi dalam penelitian ini diantaranya adalah: -pada referensi [1] telah dibahas sebuah konverter penaik tegangan baru dua arah yang berasal dari konverter dc-dc buck-boost.; -pada referensi [2] telah dibahas mengenai sistem microgrid tegangan dc untuk mensuplai beban didaerah terpencil.; -pada referensi [3] telah dibahas mengenai konverter dc-dc penaik tegangan baru untuk aplikasi fotovoltaiik.; -pada referensi [4] telah dilakukan derivasi, desain dan simulasi pada konverter dc-dc Zeta.; -pada referensi [5] telah diusulkan rangkaian kaskade multifasa boost konverter yang sudah disederhanakan untuk aplikasi penguat tegangan tinggi dan aplikasi riak tegangan yang rendah. -pada referensi [6] telah di bahas sebuah konverter penaik tegangan dengan penguat tegangan tinggi untuk fotovoltaiik.; -pada referensi [7] telah dilakukan analisis dan simulasi untuk meredukasi rugi-rugi pensaklaran pada konverter dc-dc Zeta dengan teknik *zero voltage transition*.; -pada referensi [8] dan [9] telah dibahas bagaimana operasi dari konverter untuk penaik tegangan tinggi dan bagaimana mengatasi stress tegangan pada peralatan semikonduktor.

Berdasarkan referensi diatas maka penelitian ini berkenaan dengan penurunan persamaan matematis baik tegangan maupun arus pada konverter dc-dc penaik tegangan yang dilengkapi dengan sel penguat tinggi. Persamaan-persamaan tersebut selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai komponen yang diperlukan, misalnya nilai kapasitor dan induktor, berdasarkan daya keluaran yang dipilih. Tahap berikutnya adalah untuk membuktikan hasil perhitungan dan topologi rangkaian yang diusulkan maka dilakukan simulasi dengan menggunakan PSIM.

III.METODE PENELITIAN

Penurunan persamaan dan simulasi dilakukan dalam penelitian ini. Pengoperasian konverter daya DC ke DC dengan sel penguat tinggi (*high gain cell*) ini dilakukan pada moda konduksi kontinyu (CCM). Perangkat switching diasumsikan sebagai saklar yang ideal. Dan tegangan kapasitor bebas dari riak. Hubungan tegangan setiap tahap dilakukan pada kondisi tunak.

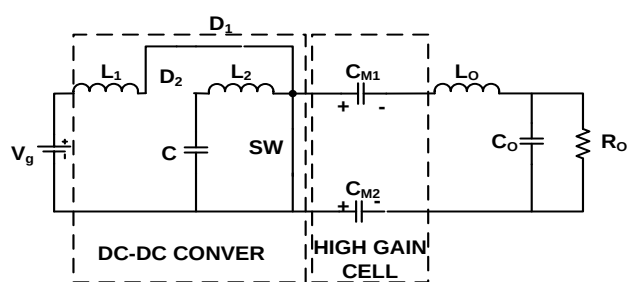
Rangkaian lengkap yang akan dianalisa dan disimulasikan seperti pada gambar 1.



Gambar 1 Topologi konverter DC dengan sel penguat tinggi.

A. Interval waktu pada saklar aktif dalam kondisi ON

Rangkaian ekuivalen pada saat saklar aktif pada kondisi ON, seperti terlihat pada gambar.2.



Gambar.2 Rangkaian Ekuivalen pada kondisi ON

Berdasarkan gambar.2, hubungan antara tegangan keluaran dan tegangan masukan konverter dapat diperoleh. Pada kondisi ini tegangan pada induktor dapat ditulis seperti pada persamaan di bawah.

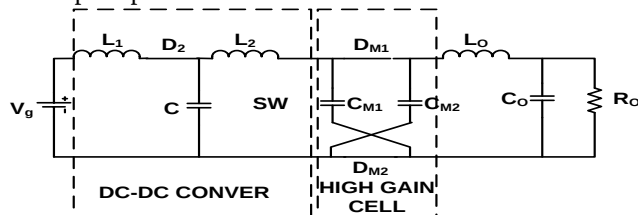
$$V_{L1} = V_g \quad (1)$$

$$V_{L2} = V_C \quad (2)$$

$$V_{L0} = 2V_{CM} - V_0 \quad (3)$$

B. Interval waktu pada saat saklar aktif dalam kondisi OFF

Rangkaian ekuivalen pada saat saklar aktif dalam posisi OFF seperti pada Gambar 3.



Gambar.3 Rangkaian ekuivalen dalam kondisi OFF

Berdasarkan gambar.3, tegangan pada induktor L_1 , L_2 , dan L_0 dapat ditulis seperti di bawah ini.

$$V_{L1} = V_g - V_C \quad (4)$$

$$V_{L2} = V_C - V_{CM} \quad (5)$$

$$V_{L0} = V_{CM} - V_0 \quad (6)$$

C. Hubungan Tegangan Keluaran dan Masukan

Hubungan antara tegangan keluaran dan tegangan masukan konverter daya dc-dc dengan sel penguat tinggi ini dapat diperoleh dengan merata-ratakan tegangan pada induktor dalam satu siklus samadengan nol. Berdasarkan persamaan (1) dan (4) maka tegangan rata-rata pada induktor L_1 dalam satu siklus dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\int_0^{DT_S} V_g dt + \int_0^{(1-D)T_S} (V_g - V_C) dt = 0 \quad (7)$$

$$\text{dimana: } D = \frac{T_{ON}}{T_S}; (1 - D) = \frac{T_{OFF}}{T_S}$$

Persamaan (7) dapat disederhanakan seperti pada persamaan di bawah ini.

$$V_C = \frac{V_g}{(1-D)} \quad (8)$$

Berdasarkan persamaan (2) dan (5), tegangan rata-rata pada induktor L_2 dalam satu siklus dapat ditulis sebagai berikut.

$$\int_0^{DT_S} V_C dt + \int_0^{(1-D)T_S} (V_C - V_{CM}) dt = 0 \quad (9)$$

Persamaan (9) dapat ditulis dalam bentuk lebih sederhana, seperti pada persamaan di bawah ini.

$$V_{CM} = \frac{V_C}{(1-D)} \quad (10)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (8) ke persamaan (10), maka diperoleh persamaan berikut.

$$V_{CM1} = V_{CM2} = V_{CM} = \frac{V_g}{(1-D)^2} \quad (11)$$

Tegangan rata-rata pada induktor L_0 dalam satu siklus dapat ditulis seperti di bawah ini berdasarkan persamaan (3) dan (6).

$$\int_0^{DT_S} (2V_{CM} - V_0) dt + \int_0^{(1-D)T_S} (V_{CM} - V_0) dt = 0 \quad (12)$$

Setelah disederhanakan persamaan (12), dan persamaan (11), maka diperoleh persamaan seperti di bawah ini.

$$\frac{V_g}{V_0} = \frac{(1+D)}{(1-D)^2} \quad (13)$$

Untuk konverter daya dc-dc ideal, semua daya ditransfer dari masukan ke keluaran.

$$P = V_g \cdot I_g = V_0 \cdot I_0 \quad (14)$$

Persamaan (13) dan persamaan (14) dapat ditulis sebagai berikut.

$$\frac{V_o}{V_g} = \frac{I_g}{I_o} = \frac{(1+D)}{(1-D)^2}$$

$$L_1 \geq \frac{(1-D)^4 DV_o}{2(1+D)^2 f_s I_o} \quad (20)$$

(15) Memasukkan $R_o = \frac{V_o}{I_o}$ ke dalam persamaan (20) sehingga

diperoleh persamaan di bawah ini.

$$L_1 \geq \frac{(1-D)^4 DR_o}{2(1+D)^2 f_s} \quad (21)$$

Dengan menggunakan persamaan (2) dan (5), dan tegangan pada induktor L_2 sewaktu ON dan OFF, setelah diuraikan maka diperoleh tegangan sebagai berikut.

$$\Delta i_{L2} \geq \frac{V_C DT_s}{L_1} \quad (22)$$

Dengan memasukkan persamaan (8) ke persamaan (22), maka diperoleh persamaan berikut ini.

$$\Delta i_{L2} \geq \frac{V_g - DT_s}{(1-D) L_1} \quad (23)$$

Dengan memasukan persamaan (13) ke persamaan (23) maka diperoleh persamaan berikut ini.

$$\Delta i_{L2} \geq \frac{(1-D)^2 V_o}{(1+D)(1-D) L_1} DT_s \quad (24)$$

Nilai komponen DC dari persamaan (24) adalah

$$I_{L2} = \frac{\Delta i_{L2}}{2} \text{ sehingga persamaan (24) dapat ditulis sebagai}$$

$$berikut. \quad (25)$$

$$I_{L2} \geq \frac{(1-D)V_o}{2(1+D)} \frac{DT_s}{L_1}$$

Dimana:

$$I_{L2} = I_C ; I_C = (1-D)I_g ; \text{ dan } I_g = \frac{(1+D)I_o}{(1-D)^2} \text{ dan kemudian}$$

persamaan (25) dapat disederhanakan sebagai berikut.

$$L_2 \geq \frac{(1-D)^2 R_o D}{2(1+D)^2 f_s} \quad (26)$$

Untuk menentukan nilai komponen L_o sama dengan cara menentukan nilai komponen untuk L_1 dan L_2 .

$$\Delta i_{L_o} = \frac{V_{L_o} DT_s}{L_o} \quad (27)$$

Memasukkan persamaan (3) ke dalam persamaan (16), kita mendapatkan persamaan sebagai berikut

$$I_{L_o} = I_o = \frac{\Delta i_{L2}}{2} \quad (28)$$

$$\Delta i_{L_o} = \frac{(2V_{CM} - V_o) DT_s}{L_o} \quad (29)$$

Memasukkan persamaan (28) ke dalam persamaan (29), kita mendapatkan persamaan sebagai berikut

$$L_o \geq \frac{(2V_{CM} - V_o) D}{2f_s I_o} \quad (30)$$

Masukkan persamaan (11), dan persamaan (13) ke dalam persamaan (30) sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut.

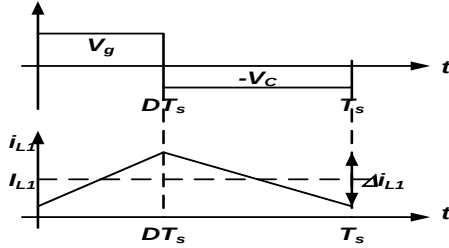
$$L_o \geq \frac{\left\{ \frac{(1-D)^2 V_o}{2(1+D)^2} - V_o \right\} D}{2f_s I_o} \quad (31)$$

Equation (31) can be arranged as equation (32).

$$L_o \geq \frac{\left\{ 2\left(\frac{1}{1+D}\right)V_o - V_o \right\} D}{2f_s I_o} \quad (32)$$

E. Penurunan persamaan untuk menentukan nilai L_1 , L_2 , L_o , C , C_{M1} , C_{M2} , dan C_o .

Tidak hanya memperhatikan nilai rata-rata arus induktor di L_1 , L_2 dan L_o , sama pentingnya juga untuk memilih induktansi yang cukup besar untuk memastikan riak arus induktor cukup kecil.



Gambar 4 Bentuk gelombang tegangan dan arus induktor L_1

Dari Gambar 4, kita dapat melihat bahwa riak arus induktor,

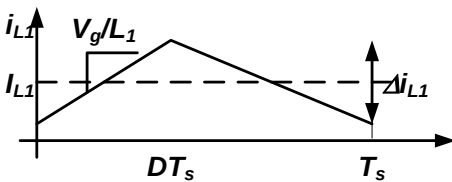
Δi_{L1} , dapat dinyatakan sebagai.

$$\Delta i_{L1} = \frac{V_g DT_s}{L_1} \quad (16)$$

Dengan memasukkan persamaan (13) ke persamaan (16) dan frekuensi switching f_s , maka diperoleh persamaan berikut.

$$\Delta i_{L1} = \frac{(1-D)^2 DV_o}{(1-D)L_1 f_s} \quad (17)$$

Dari persamaan ini terlihat bahwa untuk mempertahankan riak arus induktor yang rendah, kita dapat memilih induktansi yang besar atau frekuensi switching yang tinggi. Riak arus induktor juga digunakan untuk memastikan konverter beroperasi dalam CCM. Agar konverter ini selalu beroperasi di CCM, arusnya harus selalu di atas nol. Batasnya adalah ketika arus induktor mencapai nol pada akhir periode switching, $t = T_s$, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Arus induktor L_1 pada batas CCM-nya

Pada batas CCM, dari pertimbangan geometris, kita dapat membaca bahwa nilai DC dari arus induktor adalah $I_{L1} = \frac{\Delta i_{L1}}{2}$. Jadi, untuk memastikan CCM kita membutuhkan,

$$I_{L1} \geq \frac{\Delta i_{L1}}{2} \quad (18)$$

Dari persamaan (15), (17), dan (18), kemudian diperoleh persamaan seperti di bawah ini.

$$\frac{(1+D)}{(1-D)^2} I_o \geq \frac{(1-D)^2 DV_o}{2(1+D)L_1 f_s} \quad (19)$$

Dengan menyederhanakan persamaan (19) kita mendapatkan persamaan seperti di bawah ini.

Nilai induktor L_o diperoleh dengan penyederhanaan persamaan (32).

$$L_o \geq \frac{R_o(1-D)D}{2f_s(1+D)} \quad (33)$$

Selain nilai komponen induktor dan riak arus maksimum yang diijinkan, juga penting untuk menentukan nilai komponen kapasitor C_1 , C_{M1} , C_{M2} , dan C_o untuk riak tegangan maksimum yang diijinkan, ΔV . Nilai kapasitor, dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan $C = \frac{dQ}{dV}$ dimana Q adalah muatan listrik. Dengan menulis ulang perubahan rata-rata, maka diperoleh $\Delta V = \frac{\Delta Q}{C}$. Jumlah muatan ΔQ sebagai integral arus adalah $\Delta Q = \int i(t) dt$. Dengan mengasumsikan riak arus dapat diabaikan, maka selama saklar ON $I_{L2} = I_C$ dan $I_C = \frac{(1+D)I_o}{(1-D)}$.

Persamaan untuk menentukan nilai komponen C adalah sebagai berikut.

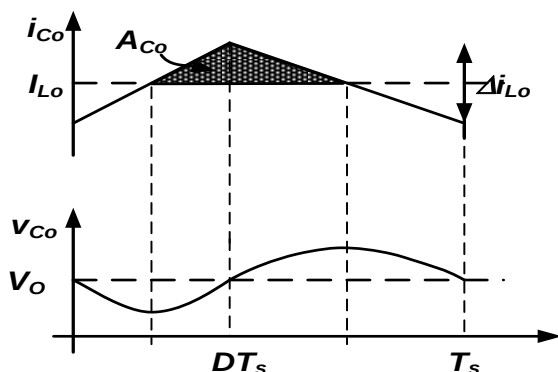
$$C \geq \frac{(1+D)DI_o}{(1-D)\Delta V_C f_s} \quad (34)$$

Sekarang, untuk $C_{M1} = C_{M2}$ jika kita mengasumsikan riak arus dapat diabaikan, selama waktu ON maka,

$$I_{CM} = I_{L_o} = I_o$$

$$C_M = \frac{I_o D}{\Delta V_{CM} f_s} \quad (35)$$

Bentuk gelombang arus dan tegangan kapasitor C_o dapat digambarkan seperti pada gambar 6.



Gambar 6 Bentuk gelombang arus dan tegangan kapasitor C_o

Sekarang, muatan yang menentukan perubahan tegangan C_o , ditampilkan sebagai luas A_{Co} . Secara geometris kita mendapatkan itu.

$$A_{Co} = \frac{1}{2} T_s \frac{\Delta i_{L_o}}{2} \quad (36)$$

Sekarang, muatan yang menentukan perubahan tegangan C_o , ditampilkan sebagai luas A_{Co} . Secara geometris kita mendapatkannya.

$$C_o \geq \frac{A_{Co}}{\Delta V_{Co}} = \frac{T_s (1+D) D V_o T_s}{8 (1-D) L_o}$$

$$C_o \geq \frac{(1+D) D V_o}{8 f_s^2 (1-D) L_o \Delta V_{Co}} \quad (37)$$

3.5 Menghitung Nilai Komponen

Nilai komponen dari konverter dapat dihitung berdasarkan nilai-nilai sebagai berikut: $V_g = 20V$; $V_o = 400V$; Resistansi beban berkisar antara 100Ω hingga 1000Ω ; frekuensi

pensaklaran ditentukan 50 kHz ; dan riak tegangan maksimum pada ketiga kapasitor adalah 1% . Dan konverter harus beroperasi pada moda konduksi kontinu (CCM).

Langkah pertama adalah menentukan siklus kerja D , dengan menggunakan persamaan (13).

$$D = \frac{\{(2V_o + V_g) \pm \sqrt{(-2V_o - V_g)^2 - 4\{V_o(V_o - V_g)\}}\}}{2V_o}$$

$$= 0,71$$

Nilai komponen L_1 dapat ditentukan dengan menggunakan persamaa (21) dan $R_o = 1000\Omega$, maka nilai minimum L_1 yang diijinkan adalah.

$$L_1 \geq \frac{(1 - 0.71)^4 0.71 * 1000}{2(1 + 0.71)^2 50000}$$

$$L_1 \geq 17,17347 \mu H$$

Nilai komponen L_2 dapat ditentukan dengan menggunakan persamaa (26) dan $R_o = 1000\Omega$, maka nilai minimum L_2 yang diijinkan adalah.

$$L_2 \geq \frac{(1-D)^2 R_o D}{2(1+D)^2 f_s}$$

$$L_2 \geq \frac{(1-0.71)^2 1000 * 0.71}{2(1+0.71)^2 50000} H$$

$$L_2 \geq 204,2 \mu H$$

Nilai komponen L_o dapat ditentukan dengan menggunakan persamaa (33) dan $R_o = 1000\Omega$, maka nilai minimum L_o yang diijinkan adalah

$$L_o \geq \frac{1000(1-0.71)0.71}{2*(1+0.71)*50000} H$$

$$L_o \geq 1204,1 \mu H$$

Nilai minimum komponen kapasitor C dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (34) dan nilai arus I_o tertinggi yaitu $4A$.

$$C \geq \frac{(1+D)DI_o}{(1-D)\Delta V_C f_s}$$

$$C \geq 83,7 \mu F$$

Nilai minimum komponen kapasitor $C_{M1}=C_{M2}=C_M$ dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (35)

$$C_M \geq \frac{I_o D}{\Delta V_{CM} f_s}$$

$$C_M \geq 14,2 \mu F$$

Nilai minimum komponen kapasitor C_o dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (37).

$$C_o \geq \frac{(1+D)DV_o}{8f_s^2(1-D)L_o\Delta V_{Co}}$$

$$C_o \geq 17,385 \mu F$$

IV.HASIL DAN PEMBAHASAN

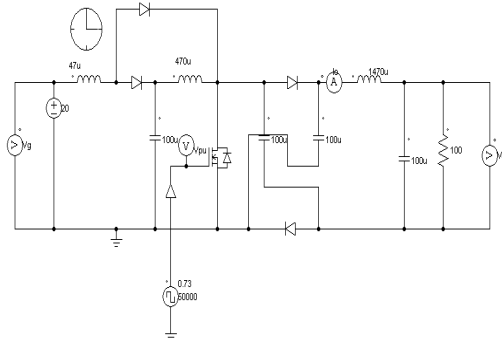
Hasil perhitungan dirangkum dalam tabel di bawah ini.

TABEL I
NILAI-NILAI KOMPONEN HASIL PERHITUNGAN

Komponen	Nilai komponen hasil perhitungan
L_1	$17,17347 \mu H$

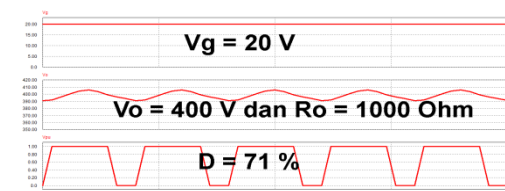
L_2	204,2 μ H
L_O	1204,1 μ H
C	83,7 μ F
C_M	14,2 μ F
C_O	17,385 μ F

Rangkaian simulasi ditunjukkan pada gambar 7.

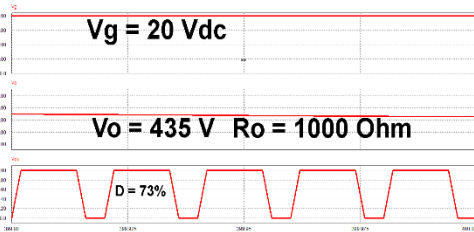


Gambar 7. Rangkaian untuk simulasi

Simulasi dilakukan pada tiga kondisi beban yaitu $R_o = 1000\Omega$, $R_o = 500\Omega$, dan $R_o = 100\Omega$.

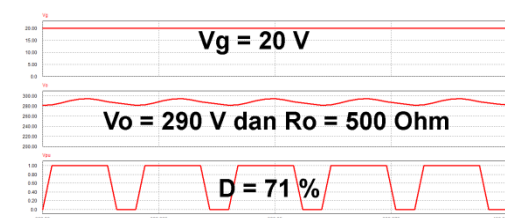


(a) Dengan nilai komponen hasil perhitungan dan $D = 71\%$

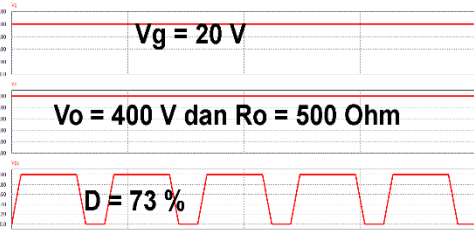


(b) Dengan nilai komponen hasil perhitungan dan $D = 73\%$

Gambar 8. Bentuk gelombang hasil simulasi pada beban $R_o = 1000\Omega$

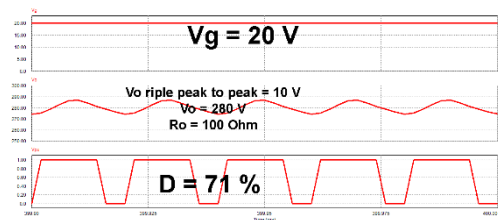


(a) Dengan nilai komponen hasil perhitungan dan $D = 71\%$

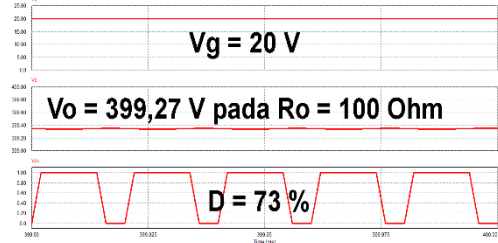


(b) Dengan nilai komponen hasil perhitungan dan $D = 73\%$

Gambar 9. Bentuk gelombang hasil simulasi pada beban $R_o = 500\Omega$



(a) Dengan nilai komponen hasil perhitungan dan $D = 71\%$



(b) Dengan nilai komponen hasil perhitungan dan $D = 73\%$

Gambar 10. Bentuk gelombang hasil simulasi pada beban $R_o = 100\Omega$

Dari gambar 8, gambar. 9 dan gambar. 10 menunjukkan bahwa tegangan keluaran dapat dikendalikan oleh siklus kerja D , dan tegangan keluaran sangat dipengaruhi oleh perubahan beban. Sehingga untuk memperoleh tegangan yang stabil walaupun terjadi perubahan beban maka diperlukan rangkaian kendali, yang mengendalikan siklus kerja dari saklar semikonduktor.

V.KESIMPULAN

Dari hasil analisis secara matematis, maka konverter dc-dc yang dilengkapi dengan sel penguat tinggi mampu menaikkan tegangan masukan dari 20 V_{dc} menjadi tegangan keluaran 400 V_{dc} pada siklus kerja 71%. Dan dari hasil simulasi yang telah dilakukan menunjukkan bahwa konverter mampu menaikkan tegangan, walaupun tegangan keluaran tersebut masih dipengaruhi oleh perubahan beban. Selanjutnya dari hasil simulasi ini menunjukkan bahwa konverter ini memungkinkan untuk direalisasikan dan dilakukan pengujian di laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Ridha D. N. Aditama, Naqita Ramadhani, Jihad Furqani, Arwindra Rizqiawan, Pekik Argo Dahono, "New bidirectional step-up DC-DC converter derived from buck-boost DC-DC converter", IJPEDS, Vol. 12, No. 3, pp. 1699~1707, 2021
- [2]. Tri Ardriani, Pekik Argo Dahono, Arwindra Rizqiawan, Erna Garnia, Pungky Dwi Sastya, Ahmad Husnan Arofah and Muhammad Ridwan, "A DC Microgrid System for Powering Remote Areas", <https://www.mdpi.com/journal/energies>, Energies 2021, 14, 493. <https://doi.org/10.3390/en14020493>
- [3]. Annap Nakpin and Sudarat Khwan-on, "A Novel High Step-Up DC-DC Converter for Photovoltaic Applications", Procedia Computer Science 86, pp. 409 – 412, 2016.
- [4]. Asger Bjørn Jørgensen, "Derivation, Design and Simulation of the Zeta converter," <https://www.researchgate.net/publication/355279643>, 19 October 2021.
- [5]. Pekik Argo Dahono, "Simplified cascade multiphase DC-DC boost power converters for high voltage-gain and low-ripple applications," IJPEDS, Vol. 12, No. 1, pp. 273~285m, Mar 2021
- [6]. Divya Navamani.Ja, Vijayakumar.Kb, Jegatheesan.Rc, "Study on High Step-up DC-DC Converter with High Gain Cell for PV Applications," Procedia Computer Science 115, pp. 731–739, 2017

- [7]. Anung, Givy Devira Ramady, Muchamad Sobri Sungkar, Yoddy Agung Nuhgraha, Agung Wirjawan, “*Reduksi Rugi-Rugi Pensaklaran Pada Konverter Dc-Dc Zeta Dengan Teknik Zero Voltage Transition*”, Jurnal POLEKTRO: Jurnal Power Elektronik, Vol.12, No.1, pp. 49-53. 2023
- [8]. Tohid Jalilzadeh, Naghi Rostami, Ebrahim Babaei, Mohammad Maalandish, “*Ultra-step-up dc-dc converter with lowvoltage stress on devices*”, IET Power Electron., Vol. 12 Iss. 3, pp. 345-357, 2019
- [9]. Anson K A, Fidha Hashmi K P, Harikrishna, Jothis Jacob, Sera Mathew, “*Zeta Converter with Improved Voltage Conversion Gain*”, IJERT, Vol. 10 Issue 06, pp. 422 -427, June-2021