

# Desain *Closed-Loop Boost Converter* Berbasis *Voltage Lift Cell* Untuk Implementasi Penguat Tegangan

Masramdhani Saputra<sup>\*a)</sup>, Asfari Hariz Santoso<sup>a)</sup>, Slamet Nurhadi<sup>a)</sup>, Imron Ridzki<sup>a)</sup>, Sri Wahyuni Dali<sup>b)</sup>

(Artikel diterima: Juni 2022, direvisi: Juni 2022)

**Abstract :** *In this new era the use of Photovoltaic (PV) is increasingly being used as an energy source. However, this technology has a drawback, namely, the intensity of the sun's light is always changing every time. This can cause the output voltage of the Photovoltaic (PV) Cell to be variable or indeterminate. In the Photovoltaic (PV) Cell, a dc-dc converter circuit is needed which functions to regulate and change the output of the Photovoltaic (PV) Cell. Conventional DC-DC boost converters are unable to provide a high step-up voltage boost due to the effects of switching power, rectifier diodes, and equivalent series resistance of inductors and capacitors. In this study, a closed loop design using a PID controller and analysis of a non-isolated boost dc-dc converter based voltage lift technique were carried out to achieve a high step-up voltage gain. In the presented converter two inductors, three capacitors and three power diodes are used. From this structure, this converter is referred to as a voltage lift cell-based boost converter. The structure of the presented converter is considered very simple, since it has only two stages of power. The voltage and current equations of each element with the converter voltage gain under continuous conduction mode (CCM) were extracted. In addition, the steady state analysis of the amplified stress and boundary conditions is discussed in this study. This boost converter circuit is simulated through the PSIM application. From the simulation results in the PSIM application, it is found that the boost converter circuit is able to increase the voltage from 100 V to 400 V and has an error value of 0. The specifications of the simulation results are a duty cycle of 0.6, and a frequency of 10,000 Hz.*

**Keywords :** Boost Converter, Converter, Photovoltaic, PID controller, PSIM.

## 1. Pendahuluan

Dalam perkembangan teknologi yang kini semakin maju, manusia di era ini dan seterusnya semakin ditantang dengan pembuatan teknologi ramah lingkungan. Tingginya penggunaan bahan bakar fosil juga mengakibatkan menipisnya bahan bakar fosil dan tingginya emisi CO<sub>2</sub>. Maka dari itu di era modern ini banyak menggunakan sistem energi terbarukan, salah satunya adalah *Photovoltaic (PV) Cell*. *Photovoltaic (PV) Cell* menggunakan cahaya matahari sebagai sumber energi. Namun dari teknologi tersebut ada kekurangannya yaitu, intensitas cahaya matahari selalu berubah – ubah disetiap waktu. Hal ini dapat menyebabkan tegangan keluaran dari *Photovoltaic (PV) Cell* menjadi bervariasi atau tidak tentu. Pada *Photovoltaic (PV) Cell* dibutuhkan rangkaian dc – dc converter yang berfungsi untuk mengatur dan mengubah keluaran dari *Photovoltaic (PV) Cell*. (Abbas dan Esam, 2010). Konverter yang sering dipakai pada *photovoltaic* adalah menggunakan lebar pulsa (PWM) dan frekuensi switching. Konverter ini yang dikendalikan oleh PWM terbagi menjadi dua kelompok yaitu terisolasi dan non-terisolasi. Dalam struktur dc – dc converter terisolasi seperti *fly – back*, *forward*, *half – bridge*, dan *full – bridge* masih menggunakan trafo frekuensi tinggi untuk mendapatkan tegangan tinggi. Namun pada trafo frekuensi tinggi dapat menyebabkan switching tegangan tinggi dan kerugian yang cukup besar karena induktansi kebocoran trafo. *Voltage Lift Technique* merupakan teknik menaikkan tegangan dalam rangkaian switching yang bersifat periodik. Secara sistem kerja teknik ini mengisi kapasitor dengan sejumlah tegangan tertentu selama periode *switch ON*. Kapasitor ini telah berisi

tegangan dan dapat diatur untuk mengisi parameter lainnya dalam rangkaian yang digunakan. Saat dalam keadaan periode *switch OFF*, beban akan terisi sehingga tegangan keluaran dapat menjadi lebih tinggi. Rangkaian yang menggunakan teknik ini bisa disebut sebagai rangkaian *self – lift*. Dengan mengulangi cara yang sama, kapasitor lainnya dapat diisi juga oleh tegangan yang mungkin sama dengan tegangan masukannya. Tegangan yang telah terisi di kapasitor kedua juga dapat mengisi parameter lainnya dalam rangkaian yang digunakan, seperti misalnya tegangan keluaran. Pada akhirnya rangkaian ini memiliki tegangan keluaran yang lebih besar dibandingkan rangkaian *self-lift*. Rangkaian ini biasa disebut dengan rangkaian *re-lift*. Dari sistem kerja tersebut *voltage lift cell* memiliki kelebihan yaitu pada nilai tegangan keluaran yang memiliki nilai yang lebih besar daripada konvensional. Hal ini disebabkan karena jumlah kapasitor yang dimiliki oleh *voltage lift cell* lebih banyak daripada konvensional.. DC-DC konverter merupakan rangkaian elektronika daya yang dapat mengubah tegangan DC menjadi tegangan DC yang nilai keluarannya dapat lebih besar atau lebih kecil dari tegangan masukan. Secara umum dc – dc konverter terbagi tiga yaitu *buck converter*, *boost converter*, dan *buck – boost converter*. Pada penelitian ini menggunakan *boost converter*, karena fungsi dari *boost converter* adalah menaikkan tegangan yang lebih besar daripada tegangan masukan. Penelitian ini menggunakan sumber tegangan dari *photovoltaic*. Tegangan yang dihasilkan dari *photovoltaic* nilainya terkadang tidak terlalu besar, maka dari itu dibutuhkan beberapa *photovoltaic* yang dipasang seri untuk menghasilkan tegangan keluaran yang lebih besar. *Boost Converter* merupakan konverter yang menghasilkan tegangan keluaran lebih besar nilainya daripada tegangan masukannya. *Boost converter* termasuk salah satu *switching converter* karena *boost converter* menggunakan elektronik *switch* yang dapat bekerja sebagai *ON* dan *OFF*. Pada

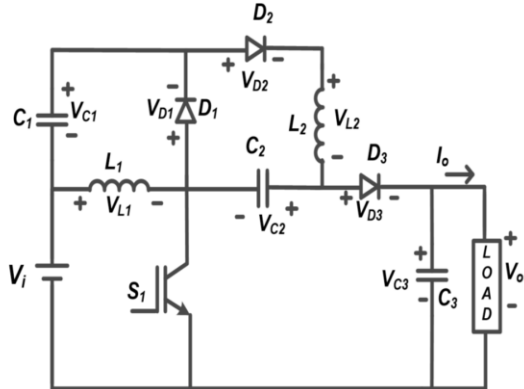
\* Korespondensi masramdhani@polinema.ac.id

a) Prodi Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Polinema.  
Jalan Soekarno-Hatta No. 9 Malang 65141

b) Prodi Jaringan Telekomunikasi Digital, Jurusan Teknik Elektro, Polinema.  
Jalan Soekarno-Hatta No. 9 Malang 65141

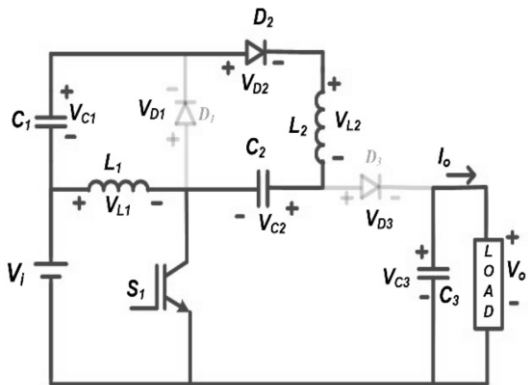
boost converter yang menjadi switch adalah transistor berupa MOSFET atau IGBT, maka dari itu boost converter termasuk dalam golongan konverter peralihan. Terdapat 2 sistem kendali yaitu system kendali terbuka dan system kendali tertutup.

2. Metodologi Penelitian



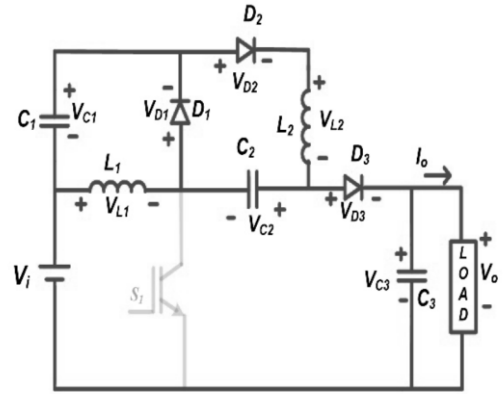
Gambar 2.1. Rangkaian Boost Converter Berbasis Voltage Lift Cell

Rangkaian boost converter ini bekerja saat kondisi Continuous Current Mode (CCM). Rangkaian ini bekerja dengan kondisi switch ON dan switch OFF. Pada saat simulasi yang dilakukan penelitian ini, diasumsikan rangkaian bekerja dalam kondisi komponen ideal.



Gambar 2.2. Rangkaian Boost Converter Berbasis Voltage Lift Cell kondisi S1 ON

Pada saat mode ON, S1 akan ON dan dioda D3 OFF. Dalam mode ini saklar S1 ON mengirim daya pada L1 dan C1 – L2 – C2. Tegangan yang muncul pada L1 pada mode ini adalah tegangan input dan tegangan pada L2 adalah Vi+VC1+VC2. Tegangan yang melewati C1 dan C2 adalah VC1 dan VC2 serta dalam keadaan stabil. Dioda 1 dan dioda 3 dalam keadaan OFF dan bersifat terbalik. Jadi induktor L1 dan L2 sedang dalam pengisian, C1 sedang dalam pemakaian, C2 sedang dalam pengisian daya dan kapasitor C3 sedang digunakan. Pengisian dan pemakaian induktor dan kapasitor terjadi secara linear dan konstanta waktu bernilai tinggi. Nilai arus induktor dan tegangan kapasitor ditentukan berdasarkan frekuensi dari saklar.



Gambar 2.3. Rangkaian Boost Converter Berbasis Voltage Lift Cell kondisi S1 OFF

Pada saat kondisi OFF, maka S1 akan OFF dan dioda 3 akan ON. Dikondisi ini diode 1, 2, 3 akan bersifat maju atau searah. Induktor L1 dan L2 akan melepas beban melalui kapasitor C1 dan resistor beban dihubungkan sejajar dengan kapasitor C3. Induktor L2 melepas beban melalui resistor dan kapasitor C3. Begitu C1 dan C3 dalam mode pengisian dan C2 dalam pengisian, maka tegangan yang muncul disebatang induktor L1 adalah VC1 dan di induktor L2 adalah VC2. Arus yang mengalir melalui dioda adalah jumlah arus yang melalui C2 dan L2.

Tabel 2.1. Tabel Gain Tegangan

TABLE I COMPARISON BETWEEN DIFFERENT BOOST CONVERTERS					
Element number/Converter	Switch	Inductor	Capacitor	Diode	Voltage gain in CCM
Conventional boost converter	1	1	1	1	$\frac{1}{1-D}$
Presented in [11]	2	2	4	4	$\frac{4}{1-D}$
Presented in [13]	8	4	4	-	$\frac{2n}{1-D}$
Presented in [16]	1	2	2	3	$\frac{1}{(1-D)^2}$
Presented in [20]	2	2	4	4	$\frac{4}{1-D}$
Presented in [27]	2	3	4	3	$\frac{2}{1-D}$
Presented in [29]	2	3	3	4	$\frac{2}{D(1-D)}$
Proposed topology	1	2	3	3	$\frac{1+D}{1-D}$

Dari tabel tersebut rangkaian boost converter berbasis voltage lift cell menggunakan 1 switch, 2 induktor, 3 kapasitor, dan 3 dioda, maka digunakan rumus gain tegangan sebagai berikut :

$$M = \frac{1 + D}{1 - D}$$

$$\frac{V_{Out}}{V_{in}} = \frac{1 + D}{1 - D}$$

Maka untuk menentukan tegangan keluaran dari boost converter berbasis voltage lift cell adalah

$$V_{Out} = \frac{1 + D}{1 - D} V_{in}$$

Perhitungan duty cycle, Pada rangkaian ini akan dihubungkan langsung dengan beban. Tegangan DC yang keluar pada rangkaian ini akan diubah oleh inverter menjadi tegangan AC. Di Indonesia tegangan AC ( tegangan RMS ) adalah sebesar 220 Volt, karena sifat dari tegangan AC dan DC berbeda maka yang tegangan yang digunakan adalah tegangan puncak dari tegangan puncak 220 Volt.

$$V_{puncak} = V_{RMS} \times \sqrt{2}$$

$$V_{puncak} = 220 \text{ Volt} \times \sqrt{2}$$

$$V_{puncak} = 311,12 \text{ Volt}$$

Dari perhitungan tersebut maka nilai DC yang dibutuhkan untuk nilai acuan tegangan keluaran dari boost converter ini adalah sebesar 311 Volt. Untuk mengantisipasi rugi – rugi yang terjadi pada inverter dan penghantar maka tidak mungkin untuk menggunakan tegangan keluaran sebesar 311 Volt. Maka dari itu untuk penelitian ini telah ditentukan bahwa nilai tegangan keluaran yang disetting adalah sebesar 400 Volt. Untuk penelitian ini tegangan masukan sebesar 100 Volt. Hal ini dikarenakan untuk meminimalisir jumlah sumber inputan ( photovoltaic ) dan untuk mengantisipasi nilai duty cycle yang akan berubah – ubah ketika tegangan input berubah.

$$V_{Out} = \frac{1 + D}{1 - D} V_{in}$$

$$400 \text{ V} = \frac{1 + D}{1 - D} 100 \text{ V}$$

$$400 (1 - D) = (1 + D)100$$

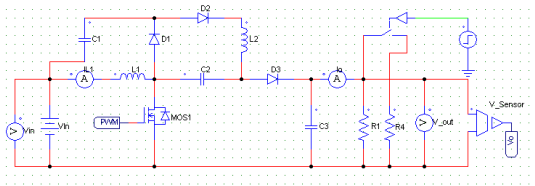
$$400 - 400 D = 100 + 100 D$$

$$400 - 100 = 400 D + 100 D$$

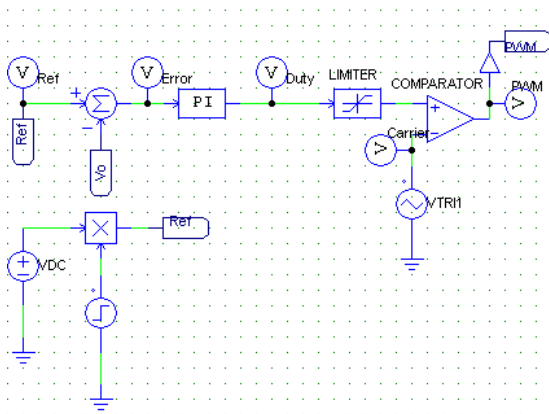
$$300 = 400 D$$

$$D = 0,6$$

Jadi dengan nilai outputan DC sebesar 400 Volt memiliki nilai duty cycle minimal sebesar 0,6



Gambar 2.4. Topology Boost Converter Berbasis Voltage Lift Cell



Gambar 2.5. Rangkaian Kontrol

Spesifikasi umum pada desain ini menggunakan inputan tegangan dari photovoltaic ( PV ) sebesar 100 Volt dan akan digunakan pada rumah dengan kapasitas 3300 Watt. Pada katalog PV yang akan digunakan sebagai berikut :

- Daya Output : 250 Watt
- Daya Output toleransi : ± 3%

- Tegangan Maksimum : 27,6 Volt
- Arus Maksimum : 9,06 A
- Open Circuit Voltage : 32,1 Volt
- Short Circuit Current : 9,51 A

Dari katalog PV tersebut kita akan menggunakan

$$Jumlah \ PV = \frac{Tegangan \ Inputan}{Tegangan \ Max. \ PV}$$

$$Jumlah \ PV = \frac{100 \ Volt}{27,6 \ Volt}$$

$$Jumlah \ PV = 3,62 ( 4 ) \text{ Buah}$$

Dengan perhitungan tersebut dibutuhkan 4 PV dengan kapasitas maksimum PV 27,6 Volt.

Sebelum menentukan nilai induktor, dapat dilakukan perhitungan nilai arus dari induktor agar dapat mengetahui nilai arus yang akan melewati induktor.

$$I_L = I_o \frac{1 + D}{1 - D}$$

$$I_L = 8,25 \frac{1 + 0,6}{1 - 0,6}$$

$$I_L = 33 \text{ A}$$

Nilai arus ripple untuk induktor

$$\Delta I_L = 20\% \times 33 \text{ A}$$

$$\Delta I_L = 6,6 \text{ A}$$

Sehingga dapat ditentukan nilai induktor yaitu

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

$$L_1 = \frac{100 \cdot 0,6}{6,6 \cdot 10.000}$$

$$L_1 = 0,9 \text{ mH}$$

$$L_2 = \frac{V_{C2} (1 - D)}{\Delta I_L f_s}$$

$$L_2 = \frac{150 (1 - 0,6)}{6,6 \cdot 10.000}$$

$$L_2 = 0,9 \text{ mH}$$

Menghitung nilai kapasitor

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

$$V_C = 100 \frac{0,6}{1 - 0,6}$$

$$V_C = 150 \text{ V}$$

Nilai tegangan ripple kapasitor adalah

$$\Delta V_C = 20\% \times 150 \text{ V}$$

$$\Delta V_C = 30 \text{ V}$$

Sehingga dapat ditentukan nilai kapasitor sebagai berikut

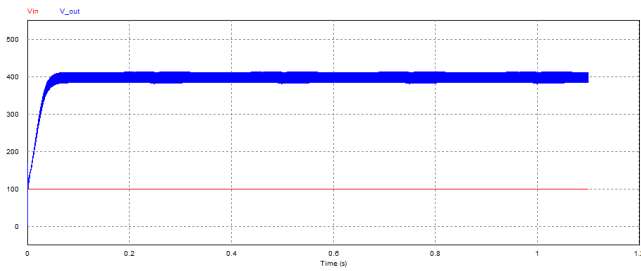
$$C_1 = C_2 = C_3 = \frac{I_o D}{\Delta V_C f_s}$$

$$C_1 = C_2 = C_3 = \frac{8,25 \cdot 0,6}{30 \cdot 10.000}$$

$$C_1 = C_2 = C_3 = 17 \mu F$$

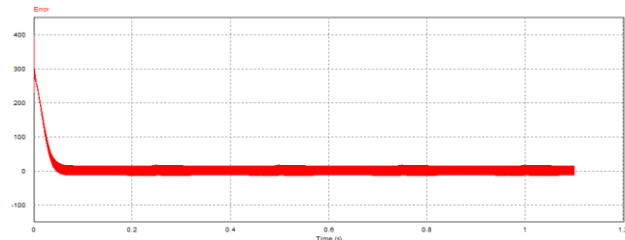
Berikut adalah hasil simulasi dari Boost Converter berbasis Voltage – Lift cell dengan spesifikasi tegangan inputan adalah 100 Volt, Induktor 1 adalah 0,9 mH, Induktor 2 adalah 0,9 mH, Kapasitor 1 dan 2 adalah 17 μF, dan kapasitor 3 adalah 17 μF.

a. Tegangan keluaran



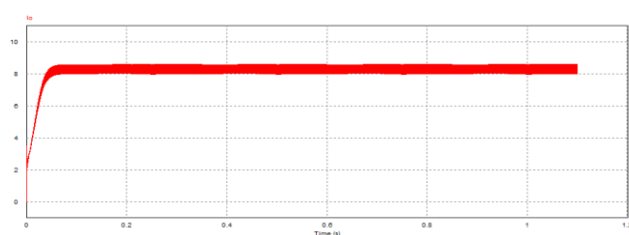
**Gambar 2.6. Tegangan Keluaran**

b. Error



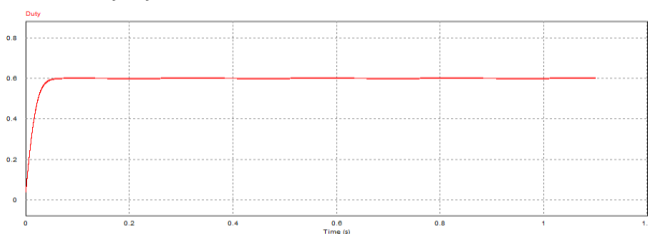
**Gambar 2.7. Error**

c. Arus Keluaran



**Gambar 2.8. Arus Keluaran**

d. Duty Cycle



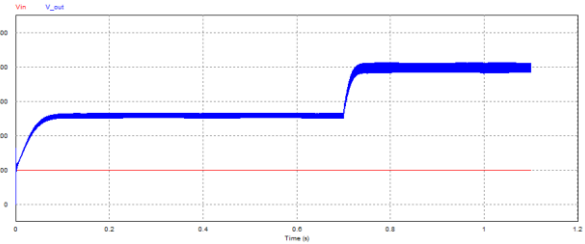
**Gambar 2.9. Duty Cycle**

Dari hasil tersebut didapatkan nilai tegangan keluaran sebesar 400 Volt dengan nilai arus 8,25 A, nilai duty cycle sebesar 0,6, dan nilai error mencapai nilai 0.

Performa *close-loop*, dalam hal ini dilakukan pengujian dengan nilai dibawah dari nilai performa maksimum PV saat bekerja. Nilai yang digunakan pada pengujian ini sebesar 75% hingga 25% dari nilai tegangan 72 Volt. Dari data yang dilakukan didapatkan hasil semakin tinggi tegangan input performa *close-loop* maka semakin baik juga performa yang diperoleh.

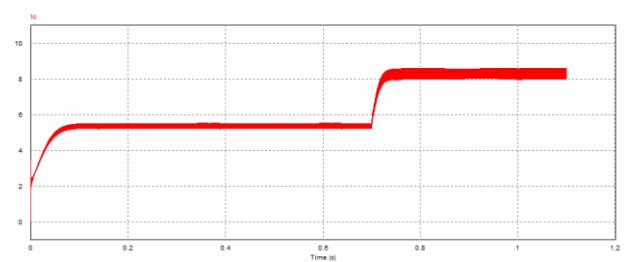
Referensi tegangan output, Pada pengujian ini ditujukan untuk pengaturan tegangan keluar yang bisa disetting sesuai dengan tegangan keluaran yang diinginkan. Tegangan keluaran yang digunakan pada pengujian ini adalah sebesar 150 Volt lalu menjadi 311 Volt

a. Tegangan Keluaran



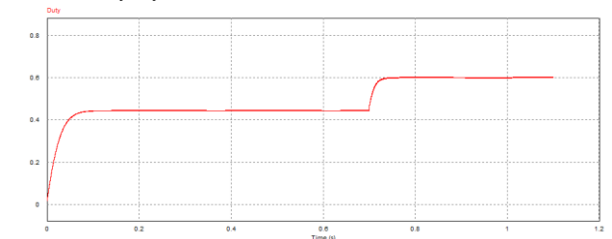
**Gambar 2.10. Tegangan Keluaran**

b. Arus Keluaran



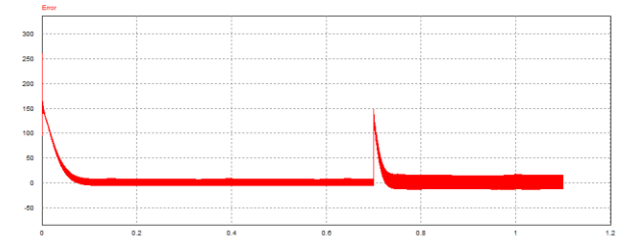
**Gambar 2.11. Arus Keluaran**

c. Duty Cycle



**Gambar 2.12. Duty Cycle**

d. Error



**Gambar 2.13. Error**

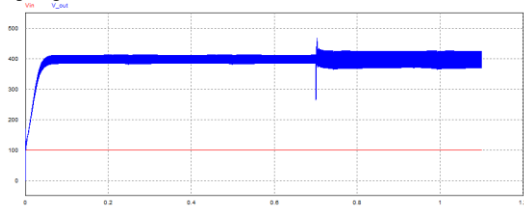
Dari data tersebut *close-loop* masih bekerja dengan baik ketika ada permintaan tegangan yang berbeda dari tegangan 200 Volt dan naik menjadi 400 Volt. Pada nilai arus di tegangan 200 Volt menjadi naik ketika tegangan naik menuju 400 Volt. Hal ini disebabkan karena tegangan berbanding lurus dengan nilai arus.

Nilai duty cycle juga mengalami perubahan, ketika tegangan 200 Volt memiliki nilai duty cycle sebesar 0,42, sedangkan pada saat tegangan 400 Volt memiliki nilai duty cycle sebesar 0,6. Hal ini disebabkan karena nilai tegangan output berbanding lurus dengan nilai duty cycle ( semakin besar nilai tegangan output maka semakin besar nilai duty cycle ).

Pada pengujian ini bekerjanya *close-loop* dapat dilihat pada nilai error pada saat perubahan tegangan, nilai error menjadi besar yaitu sebesar 200, tetapi setelah itu nilai error menjadi 0 kembali. Hal ini membuktikan bahwa *close-loop* masih bisa mengantisipasi hal tersebut.

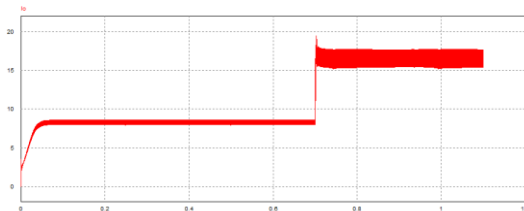
Perubahan beban mendadak / *disturbance*, Pengujian ini untuk mengetahui kemampuan dari controller ketika ada gangguan.

## a. Tegangan Keluaran



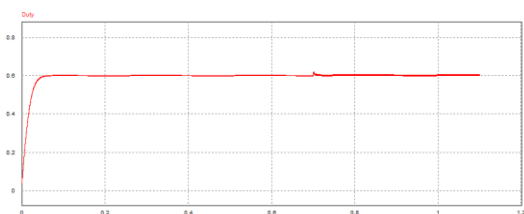
Gambar 2.14. Tegangan Keluaran

## b. Arus Keluaran



Gambar 2.15. Arus Keluaran

## c. Duty Cycle



Gambar 2.16. Duty Cycle

## d. Error



Gambar 2.17. Error

Berdasarkan hasil simulasi tersebut dapat dilihat terjadi gangguan perubahan beban yang memengaruhi tegangan keluaran dan arus keluaran. Pada tegangan output terlihat adanya lonjakan pada gelombang tegangan keluaran. Sehingga mengakibatkan ketidakstabilan pada tegangan keluaran. Tetapi setelah itu kembali stabil, karena adanya perbaikan error yang dilakukan oleh close – loop sehingga tegangan kembali sesuai dengan nilai set pointnya yaitu sebesar 400 Volt.

Akibat dari perubahan beban mendadak juga memberikan dampak pada arus keluaran. Terlihat dari hasil simulasi, arus keluaran sebelum gangguan memiliki nilai arus sebesar 8,25 A, sedangkan setelah ada gangguan, nilai arus menjadi lebih besar yaitu sebesar 16 A. Pada pengujian ini bekerjanya close-loop dapat dilihat pada nilai error pada saat perubahan beban mendadak, nilai error menjadi besar yaitu sebesar 140, tetapi setelah itu nilai error menjadi 0 kembali. Hal ini membuktikan bahwa close-loop masih bisa mengantisipasi hal tersebut.

## 3. Kesimpulan

Setelah mendapatkan hasil simulasi dan melakukan analisa pada hasil yang didapat, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Rangkaian *boost converter* berbasis *voltage lift cell* dengan konfigurasi 1 switch, 3 dioda, 2 induktor, dan 3 kapasitor mampu menaikkan tegangan inputan dari 100 Volt hingga menjadi 400 Volt.
2. Rangkaian *boost converter* berbasis *voltage lift cell* dapat disimulasikan dengan baik menggunakan software PSIM. Hasil keluaran yang didapat dari simulasi sama dengan hasil analisis perhitungan walaupun tidak semua hasil simulasinya sama dengan hasil perhitungan. Hal ini disebabkan karena adanya pengaruh ketelitian yang dimiliki oleh software PSIM.
3. Rangkaian ini memiliki batasan pada performa yaitu pada tegangan inputan. Batas tegangan input yang menjadi nilai minimal adalah sebesar 25 Volt ( 25% dari nilai maksimum yaitu 100 Volt)
4. Rangkaian ini mampu menghadapi perubahan tegangan yang diinginkan dan perubahan beban secara mendadak. Terbukti dari hasil simulasi, ketika ada perubahan tegangan output dan perubahan beban mendadak yang mengakibatkan nilai error besar, rangkaian ini mampu mengatasi nilai error yang besar tersebut menjadi kembali menjadi 0.

## 4. Saran

Saran yang dapat diberikan pada penelitian berikutnya:

1. Membuat alat dari rangkaian *boost converter* berbasis *voltage lift cell*.

## Daftar Pustaka

- [1] Agustian, Indra. 2013. *Definisi Sistem Kendali*. 04 juni. Diakses Juli 15,2021. <http://te.unib.ac.id/lecturer/indraagustian/2013/06/definisi-sistem-kendali/>.
- [2] F.M. Shahir, E. Babaei, Mehran Sabahi, Sara Laali. (2015). A New DC-DC Converter Based on Voltage Lift Technique. *Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran*.
- [3] F.M. Shahir, E. Babaei, Murtaza Farsadi. (2019). Extended Topology for Boost DC-DC Converter. *IEEE Trans. Power Elect, Iran*.
- [4] F.M. Shahir, E. Babaei. (2017). Voltage-Lift Technique Based Non-Isolated Boost DC-DC Converter : Analysis and Design. *IEEE Trans. Power Elect, Iran*.
- [5] Hart, D.W. (2011). *Power Electronics*. New York: McGraw-Hill.
- [6] Ir. Chairuzzaini, 1998. Pengenalan Metode Ziegler – Nichol pada Perancangan Kontroler pada PID. Diakses Juli 15, 2021. <https://www.elektroindonesia.com/elektro/tutor12.html>.
- [7] Ping Yang, Jianping Xu, Guohua Zhou, Shiyu Zhang. (2012). A New Quadratic Boost Converter with High Voltage Step-Up Ratio and Reduced Voltage Stress. *Proceedings of 7th International Power Electronics and Motion Control Conference, Harbin: 2-5 Juni 2012*. Hal. 1164-1168.
- [8] Preti Tyagi, V.C Kotak, V.P. Sunder Singh. (2014). Design High Gain Dc-Dc Boost Converter With Coupling Inductor And Simulation In Psim. *Research Scholar [Etrx.], Dept of*

*Electronics Engg, Shah & Anchor Kutchhi Engineering College, Mumbai India.*

- [9] Venkata Ramaniah, Nair Syam, dkk. (2019). Design and Analysis of Voltage Lift Technique Based Boost DC-DC Converter. *Department of Electrical Engineering, National Institute of Technology, Calicut Kerala, India-673601.*
- [10] Ziegler, J. G. dan N.B. Nichols, 1942, *Optimum Setting for Automatic Controllers*, Tans. ASME, vol. 64, pp. 759-768