

Analisis dan Simulasi Efisiensi Kinerja Sepic Konverter Berbasis Kontroler Konvensional

Destiarani^{1*}, I Ketut Wiryajati², I Nyoman Wahyu Satiawan³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Indonesia

¹dstiaraaa@gmail.com, ²kjatiwirya@unram.ac.id, ³nwahyus@unram.ac.id

ABSTRACT

The technology of components and electronic hardware has evolved to be able to produce a DC/DC current system for power, which is achieved by converting the DC power to higher or lower voltage. This DC voltage variable is commonly called the DC-DC Converter. This final task aims to find out the performance of the DC-DC Sepic Converter series design. The simulated testing of the system using SIMULINK/MATLAB software is subsequently obtained from the data analysis of the theoretical output voltage data and the monitoring of measurements that can be analyzed to determine the error level as well as the level of efficiency of the design of the sepic converter. The test was conducted by setting a constant input voltage of 12 V, a frequency of 50 kHz, with a duty cycle variation of 5% to 65% and a given load of 20 Ω . The result of the design of the Sepic Converter at the time of open loop mode with the value of duty Cycle of 5% produces a minimum voltage that is 0,38 V. Subsequently, when given the duty cycle value of 65%, the maximum voltage is 21,22 V error with the highest error rate of 1 V obtained at the 13th data trial. The average error value is 0,642 V and the standard deviation value is 0,453 V, the greatest efficiency point is 78,50% at the moment of the cycle duty value of 65. While the results of the testing of the Set of Sepic Konverters at the close loop mode, the input tension is given constantly 12 V. The configuration for the parameter value of PI is also constant, namely at the set point of 22,22 V, it is 21,97 V with an error difference 0,25 V.

Keywords: *Sepic Converter, Open Loop, Close Loop, Voltage*

ABSTRAK

Teknologi komponen dan perangkat keras elektronik telah berkembang hingga dapat menghasilkan sistem arus searah/DC untuk sumber daya, yang dicapai dengan mengubah daya DC menjadi tegangan lebih tinggi atau lebih rendah. Pengubah nilai tegangan DC ini biasa disebut DC-DC Konverter. Tugas akhir ini bertujuan untuk mengetahui performa dari rancangan rangkaian DC-DC Sepic Konverter. Pengujian sistem secara simulasi menggunakan software SIMULINK/MATLAB yang nantinya didapatkan data analisa data-data tegangan keluaran secara teoritis dan monitoring pengukuran yang dapat dianalisa untuk mengetahui tingkat error serta tingkat efisiensi dari rancangan sepic konverter. Pengujian dilakukan dengan mengatur tegangan inputnya konstan sebesar 12 V, frekuensi 50kHz, dengan variasi duty cycle dari 5% sampai 65% dan beban yang diberikan sebesar 20 Ω . Hasil dari perancangan Sepic Konverter pada saat mode *open loop* dengan nilai *duty cycle* 5% menghasilkan tegangan minimum yaitu 0,38 V. Selanjutnya saat diberikan nilai *duty cycle* 65% menghasilkan tegangan maksimum 21,22 V error yang paling tinggi dimana tingkat error yang paling tinggi yaitu 1 V didapatkan pada percobaan data yang ke-13. Nilai rata-rata errornya sebesar 0,642 V dan nilai standar deviasinya sebesar 0,453 V, titik efisiensi terbesarnya yaitu 78,50% pada saat nilai *duty cycle* 65%. Sedangkan hasil pengujian rangkaian Sepic Konverter pada saat mode close loop, tegangan masukan diberikan konstan yaitu 12 V, konfigurasi untuk nilai parameter PI juga tetap, dimana hasil respon tegangan keluarannya yang lebih optimal yaitu pada *set point* 22,22 V sebesar 21.97 V dengan selisih error 0,25 V.

Kata Kunci: *Sepic Konverter, Open Loop, Close Loop, Tegangan*

PENDAHULUAN

Teknologi komponen dan perangkat keras elektronik telah berkembang hingga dapat menghasilkan sistem arus searah/DC untuk sumber daya, yang dicapai dengan mengubah daya DC menjadi tegangan lebih tinggi atau lebih rendah. Pengubah nilai tegangan DC ini biasa disebut DC-DC Konverter. [1]

DC-DC Konverter adalah perangkat elektronik digital yang mengubah dari tegangan tinggi ke rendah dan sebaliknya. Konverter ini digunakan untuk mengukur perangkat elektronik portabel seperti ponsel, komputer, baterai, dll. Sirkuit perangkat elektronik ini terdiri dari banyak sub-sirkuit nilai permintaan tegangan. Sebagian besar konverter DC-DC mengatur nilai tegangan *output*. [2]

Ada 5 rangkaian dasar konverter DC-DC non isolasi yaitu *choppers DC, buck, boost, buck-boost, cuk*, dan *sepic*. [3] Konverter yang tepat harus memiliki beberapa karakteristik khusus, seperti menghasilkan nilai *ripple* arus yang relatif kecil, mampu mengurangi nilai komponen yang tidak diperlukan dalam perancangannya, mudah dalam hal integrasi konverter serta mampu menstabilkan karakteristik DC-DC konverter itu sendiri. [4]

Salah satu jenis Konverter *Switching* yang memiliki kemampuan untuk mengubah nilai tegangan keluaran DC dari tegangan rendah ke tegangan tinggi, maupun sebaliknya yaitu *Sepic* Konverter. Salah satu kelebihan dibandingkan dengan konverter *buck boost* atau konverter yang lainnya adalah polaritas tegangan keluarannya sama dengan polaritas tegangan masukannya. Selain itu, *Sepic* konverter ini memiliki kelebihan seperti nilai *ripple* tegangan yang rendah dan kapasitor yang terdapat pada konverter ini dapat berfungsi untuk mengamankan rangkaian apabila *switch* tidak berfungsi. [5]

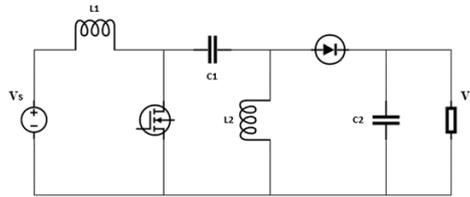
Pengontrol PI dapat digunakan dalam rangkaian konverter untuk membuat studi investigasi di samping metode kontrol arus histeresis. Pengontrol PI adalah studi khusus pengontrol PID di mana Derivatif dari system ini tidak digunakan. Kurangnya aksi Derivatif membuat sistem lebih stabil di wilayah *steady state* jika terjadi data yang *overshoot*. Ini karena kinerja Derivatif lebih sensitif terhadap *input* frekuensi yang lebih tinggi. Dalam *sepic* konverter, frekuensi *switching* sangat tinggi dan karenanya, pengontrol PI dipilih untuk mengamati kinerja keseluruhan. [6]

Dalam penelitian ini dirancang sebuah rangkaian *Sepic* Konverter untuk mendapatkan tegangan keluaran dalam 2 kondisi yaitu dapat beroperasi untuk menghasilkan nilai tegangan yang lebih rendah maupun lebih tinggi dari tegangan masukannya. Dalam tugas akhir perancangan *Sepic* konverter ini memiliki tujuan untuk mengetahui tingkat performa keberhasilan dalam menghasilkan tegangan keluaran yang stabil dari *SEPIC* Konverter saat nilai *duty cycle* nya divariasikan. Pengujian sistem secara simulasi menggunakan *software* MATLAB/SIMULINK.

Sepic Konverter

SEPIC (Single Ended Primary Inductor Converter) adalah converter DC/DC yang memiliki kemampuan untuk meningkatkan atau menurunkan tegangan yang dihasilkannya, mirip

dengan prinsip kerja *converter buck-boost*. Dengan mengubah nilai *duty cycle* pada MOSFET ke dalam rentang waktu yang diinginkan, tegangan keluaran pada Sepic dapat diatur. Pada saat nilai *duty cycle* yang diberikan di bawah 50%, konverter ini berfungsi sebagai penurun tegangan, tetapi pada saat nilai *duty cycle* yang diberikan di atas 50%, ia berfungsi sebagai penaik tegangan.[8] Rangkaian Sepic Konverter dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian Skematik Sepic Konverter

Sepic Konverter memiliki prinsip kerja dimana ketika mosfet dalam kondisi *on*, induktor L1 akan diisi oleh tegangan *input* dan L2 akan diisi melalui kapasitor C1. Dalam kondisi *on*, pada sisi kapasitor *output* tidak ada energi yang masuk atau tersalurkan. Kemudian saat mosfet dalam kondisi *off*, Induktor L1 dan L2 akan menyalurkan daya ke sisi beban. Selama *cycle* dalam keadaan *off*, pada sisi kapasitor kopling (*cs*) akan di isi oleh induktor L1 dan kemudian selama *cycle* dalam kondisi *on* akan diisi lagi oleh induktor L2. Sepic akan berubah menjadi *boost converter* melalui induktor L1 dan saklar. Hal ini memiliki kemampuan untuk meningkatkan tegangan keluaran sehingga lebih tinggi dari tegangan masukannya. [9]

Untuk mencari tegangan keluaran pada Sepic Konverter, dapat menggunakan persamaan :

$$V_o = V_i \left(\frac{D}{1 - D} \right) \dots \dots \dots (1)$$

Untuk mencari nilai errornya digunakan persamaan :

$$E_{absolute} = V_{terukur} - V_{teoritis} \dots \dots \dots (2)$$

Untuk menentukan nilai standar deviasi digunakan persamaan : [10]

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \dots \dots \dots (3)$$

METODE PENELITIAN

Pada pengujian Sepic Konverter ini digunakan metode penelitian dengan model simulasi rangkaian Sepic Konverter dengan 2 mode rangkaian, yaitu perancangan rangkaian *open loop* dan rangkaian *close loop* yang dilakukan pengujiannya dengan mensimulasikan menggunakan Simulink MATLAB. Pada saat pengujian rangkaian *open loop* untuk hasil tegangan keluaran dari pengujian rangkaian *open loop* ini berubah-ubah atau bersifat fluktuatif karena dipengaruhi oleh perubahan nilai *duty cyclenya* yang bervariasi. Untuk pengujian rangkaian *close loop* untuk tegangan keluarannya akan dikendalikan dengan kontrol PI agar mendekati nilai *set point* yang diinginkan.

A. Perancangan Sepic Konverter

Pada Perancangan SEPIC Konverter, dilakukan proses perancangan rangkaian dengan simulasi pada Simulink MATLAB. Selanjutnya Menentukan nilai dari masing-masing parameter yang akan digunakan dalam merancang dan mensimulasikan SEPIC Konverter. Dibawah ini disajikan tabel untuk Perancangan SEPIC Konverter menggunakan parameter yang telah ditentukan penulis

Tabel 1. Parameter Perancangan Sepic Konverter

Variabel	Nilai
Tegangan <i>Input</i>	12 V
Tegangan <i>Output</i>	0,63 Vdc - 22 Vdc
<i>Frekuensi Switching (F)</i>	50 KHz
<i>Duty Cycle</i>	5% - 65%
Arus	1,1 A
<i>Ripple Tegangan</i>	1%

Setelah ditentukan parameter Sepic konverter dengan nilai dari masing-masing parameter yang tercantum pada tabel di atas, tahap selanjutnya yaitu membutuhkan nilai serta jenis komponen yang akan digunakan untuk perancangan secara kompleks. Untuk menentukan komponen yang tepat, digunakan persamaan berikut dapat digunakan :

1. Menentukan nilai Duty cycle

$$D_{max} = \frac{V_o}{V_{in} + V_o} = \frac{22}{12 + 22} = 65\%$$

$$D_{min} = \frac{V_o}{V_{in} + V_o} = \frac{0,63}{12 + 0,63} = 5\%$$

2. Menentukan nilai inductor

$$L = \frac{V_{in} \times D_{max}}{\Delta IL \times f}$$
$$L = \frac{12 \times 0,65}{0,69 \times 50 \text{ KHz}}$$
$$L = 226 \mu\text{H}$$

Didalam perancangan ini, kedua induktor (L1 & L2) yang digunakan adalah identik, maka nilai keluaran kedua induktor yang digunakan juga sama. Besar induktor yang digunakan harus lebih dari 0,2 μH , atau setidaknya 25% lebih besar dari nilai perhitungan.

3. Menentukan nilai kapasitor

$$C = \frac{I_{out} \times D_{max}}{\Delta V_{ripple} \times f}$$

$$C = \frac{1 \times 0,65}{0,22 \times 50 \text{ KHz}}$$

$$C = 59,09 \mu\text{F}$$

Minimal 25% dari hasil perhitungan adalah besar kapasitas kapasitor input yang digunakan. Dengan demikian, ukuran kapasitor 100 μF digunakan untuk memperkecil ripple tegangan yang dirancang untuk konverter Sepic Converter.

4. Menentukan nilai resistor

$$R = \frac{V_{out}}{I_{out}}$$

$$R = \frac{22}{1,1}$$

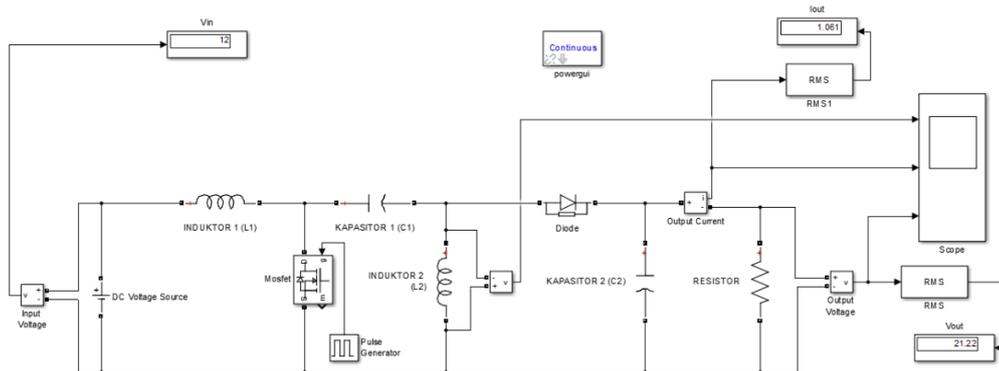
$$R = 20 \text{ ohm}$$

Tabel 2. Daftar jenis dan nilai komponen

Komponen	Nilai
Induktor (L1 & L2)	330 μH
Kapasitor (C1 & C2)	100 μF
Resistor (R)	20 Ohm

Perancangan untuk Pengujian SEPIC Konverter *Open Loop*

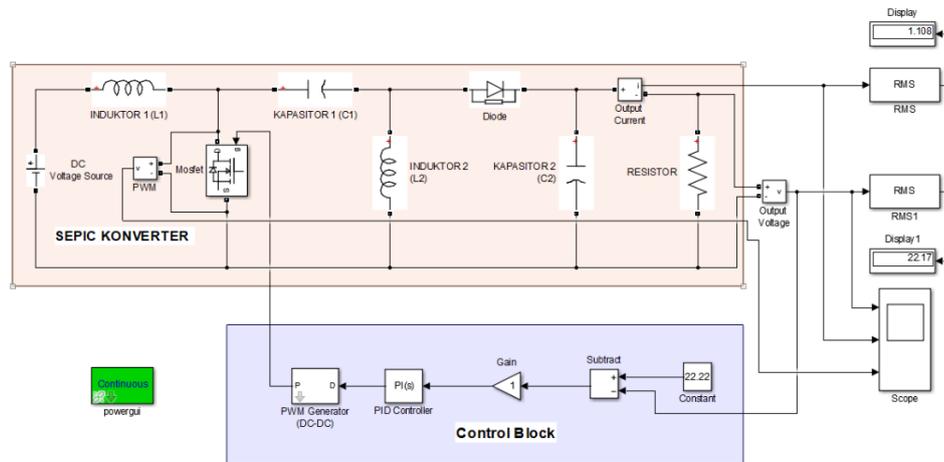
Pada perancangan untuk pengujian ini dilakukan simulasi pada mode operasi SEPIC Konverter *open loop*. Simulasi ini dilakukan dengan mengatur tegangan *inputnya* konstan sebesar 12 V, frekuensi 50kHz, dengan variasi *duty cycle* dari 5% sampai 65%. Pemodelan rangkaian Sepic Konverter *open loop* dapat dilihat pada Gambar 2



Gambar 2. Simulink Model Rangkaian Sepic *Open Loop*

Perancangan untuk Pengujian Buck-Boost Konverter *Close Loop*

Pada perancangan rangkaian Sepic Konverter *close loop* dilakukan dengan mengkonfigurasi nilai pengendali PI pada sistem kontrol rangkaian sepic konverter.



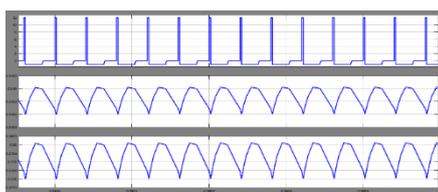
Gambar 3. Simulink Model Rangkaian Sepic Konverter *Close Loop*

HASIL DAN PEMBAHASAN

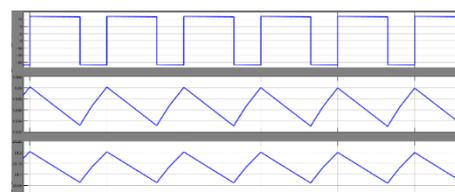
Pengujian dilakukan untuk mengetahui keberhasilan dari sistem kerja Sepic konverter baik rangkaian *open loop* maupun *close loop*. Pertama, pengujian dilakukan dengan mengukur nilai tegangan keluaran saat nilai *duty cycle* berubah. Ini menghasilkan perbedaan (*error*) antara hasil pengukuran dan perhitungan. Pengujian kedua dilakukan dengan menggunakan kendali PI untuk menentukan nilai tegangan keluaran sesuai dengan *set point* yang diinginkan.

A. Simulasi Pengujian Rangkaian Sepic Konverter *Open Loop*

Pada percobaan ini, dilakukan simulasi pengujian dengan mengatur tegangan input konstan sebesar 12 V dengan beban yang diberikan sebesar 20 Ω. penulis menggunakan 2 sampel yang akan ditampilkan dari nilai *duty* untuk melihat sinyal dari gelombang PWM, nilai tegangan keluaran serta nilai arus keluaran. Dari gambar yang menunjukkan gelombang hasil keluaran pengujian ini juga menampilkan perbandingan kondisi tinggi (*Ton*) dengan kondisi rendah (*Toff*), yang menunjukkan bahwa hasil keluaran sinyal gelombang PWM dipengaruhi karena ada perubahan nilai *duty cycle*. kondisi sepic konverter dalam mode *Buck*(menurunkan) apabila nilai *duty cycle* nya kurang dari 50%, sebaliknya sepic konverter dalam mode *Boost* (menaikkan) apabila nilai *duty cyclenya* lebih dari 50% yang diinputkan. Hasil sinyal keluaran dari pengujian ini ditampilkan pada gambar dibawah ini:



(a) 5%



(b) 65%

Gambar 4. (a) *duty cycle* 5%, (b) *duty cycle* 65%

Berdasarkan hasil gelombang diatas, dapat dianalisa bahwa ketika *duty cycle* bernilai 5%, didapatkan nilai tegangan keluaran yang lebih kecil dari tegangan masukannya, ini menunjukkan bahwa operasi ini pada mode *buck* (menurunkan). Pada gambar hasil pengujian diatas juga dapat dilihat bahwa gelombang yang dihasilkan memiliki jarak yang paling rapat pada nilai *duty cycle* 5% dibandingkan dengan hasil keluaran gelombang dengan *duty cycle* 65%. Sebaliknya, saat pengujian menggunakan nilai *duty cycle* maksimal 65%, dihasilkan nilai tegangan keluaran yang lebih besar dari tegangan masukannya, ini menunjukkan bahwa operasi pada mode *boost* (menaikkan), dimana hasil gambar keluaran gelombangnya lebih melebar. Ini menunjukkan bahwa lebar pulsa pada PWM berbanding lurus dengan tegangan keluaran.

B. Hasil Pengujian dan Analisa Sepic Konverter *Open Loop*

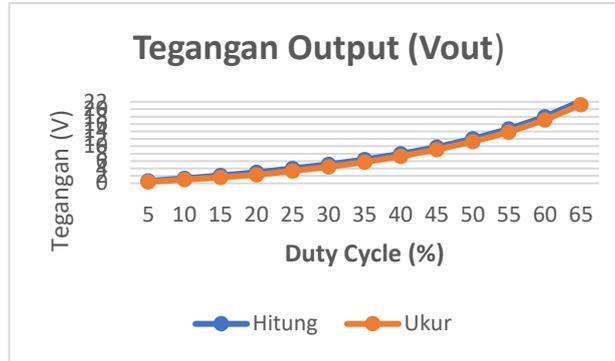
Pada pengujian ini nilai *duty cycle* bervariasi dengan tegangan masukan 12V, Dalam pengujian ini, nilai *duty cycle* berubah dengan tegangan masukan 12V, beban yang digunakan 20Ω untuk mengukur dan mengetahui nilai tegangan keluaran, arus *output* serta untuk menghitung daya *input* dan *output*. Untuk hasil pengujian, dapat dilihat pada tabel yang disajikan dibawah ini :

Tabel 3. Hasil Pengujian simulasi SEPIC Konverter *open loop*

Duty Cycle (%)	Vin (V)	Iin (A)	Pin (W)	Vout (V)		Error (Selisih)	Iout (A)	Pout (W)	Efisiensi (%)
				Hitung	Ukur				
5	12	0,0012	0,0144	0,63	0,38	0,25	0,0189	0,007182	0,58
10	12	0,01209	0,14508	1,33	0,98	0,35	0,0492	0,048216	0,33
15	12	0,01201	0,14412	2,12	1,62	0,5	0,0808	0,130896	0,98
20	12	0,014	0,168	3	2,29	0,71	0,1148	0,262892	1,56
25	12	0,016	0,192	4	3,29	0,71	0,1647	0,541863	2,82
30	12	0,01714	0,20568	5,14	4,43	0,71	0,2216	0,981688	4,77
35	12	0,01846	0,22152	6,46	5,74	0,72	0,2873	1,649102	7,44
40	12	0,0199	0,2388	8	7,27	0,73	0,363	2,63901	11,0
45	12	0,0200	0,2400	9,81	9,07	0,74	0,453	4,10871	17,11
50	12	0,0203	0,2436	12	11,23	0,77	0,5616	6,306768	25,86
55	12	0,0206	0,2472	14,66	13,85	0,81	0,692	9,5842	38,80
60	12	0,0218	0,2616	18	17,09	0,91	0,85	14,5265	55,52
65	12	0,0239	0,2868	22,22	21,22	1	1,061	22,51442	78,50

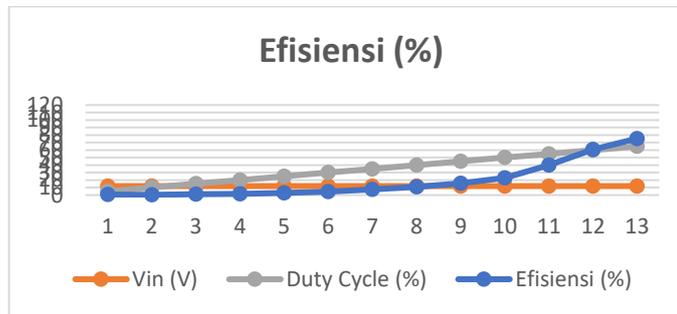
Dari Tabel 3 diatas dapat diketahui bahwa hasil pengujian dari rangkaian Sepic Konverter mampu menghasilkan tegangan keluaran sesuai dengan prinsip dari sepic Konverter saat nilai *duty cycle* yang diberikan <50% maka Sepic konverter akan bekerja dalam mode operasi menurunkan tegangan (*buck*), sebaliknya pada saat nilai *duty cycle*

yang diberikan >50% maka Sepic Konverter akan bekerja dalam mode operasi menaikkan tegangan (*boost*), dengan nilai polaritasnya tetap sama.



Gambar 5. Grafik perbandingan tegangan

Dari Gambar Grafik 5 diatas, saat nilai *duty cycle* yang diberikan kurang dari 50%, tegangan keluaran yang dihasilkan lebih rendah daripada tegangan masukannya, ini berarti sepic konverter bekerja dalam mode operasi *buck* (menurunkan). Sebaliknya saat nilai *duty cycle* yang diberikan lebih dari 50%, tegangan keluaran yang dihasilkan lebih tinggi dari tegangan masukannya, ini berarti sepic konverter bekerja dalam mode *boost* (menaikkan). Tegangan maksimum yang dapat dihasilkan konverter adalah 21,22 V, dengan polaritas yang sama dengan tegangan masukan.

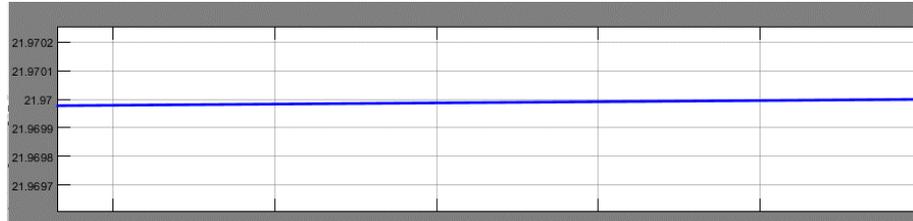


Gambar 6. Grafik nilai efisiensi

Dari Gambar Grafik 6 hasil pengujian diatas dapat dilihat pada saat *duty cycle* 65% yaitu titik efisiensi tertinggi dari Sepic Konverter ini dengan nilai 78,50%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan tegangan saat pengujian di Simulink dengan nilai perhitungan dengan nilai error yang paling tinggi yaitu sebesar 1 V pada percobaan data yang ke-13. Didapatkan juga nilai error rata-rata sebesar 0,642 V, dengan perhitungan nilai deviasi standar sebesar 0,453 V. Dari hasil nilai standar deviasi ini menunjukkan bahwa terdapat nilai yang berubah-ubah dalam pengukuran nilai error yang mempengaruhi nilai efisiensi konverter.

C. Pengujian Simulasi Rangkaian Sepic Konverter *Close Loop* menggunakan Parameter PI

Pada percobaan ini dilakukan dengan mengkonfigurasi nilai pengendali PI pada sistem kontrol yang sudah diinputkan pada rangkaian simulasi sepic konverter untuk mencapai nilai *set point* yang diinginkan. Hasil keluaran dari pengujian ini ditampilkan pada gambar dibawah ini :



Gambar 7. Gambar *output* menggunakan kendali PI

Dari hasil simulasi Gambar 7 diatas untuk percobaan Sepic konverter *close loop* dapat diketahui bahwa *set point* yang diatur 22,22 V menghasilkan output 21,97 yang berarti hasil keluaran yang didapatkan mendekati nilai *set point* yang diinginkan. Untuk Hasil pengujian pada data yang lain, ditampilkan dalam tabel dibawah ini :

Tabel 4. Hasil Percobaan menggunakan parameter PI

Set Point (V)	Vin (V)	PI		Vout (V)
		Kp	Ki	
0,63	12	0.06	1.1	0.67
1,33	12	0.06	1.1	1.22
2,12	12	0.06	1.1	1.96
3	12	0.06	1.1	2.78
4	12	0.06	1.1	3.72
5,14	12	0.06	1.1	4.80
6,46	12	0.06	1.1	6.05
8	12	0.06	1.1	7.51
9,81	12	0.06	1.1	9.23
12	12	0.06	1.1	11.53
14,66	12	0.06	1.1	13.91
18	12	0.06	1.1	17.8
22,22	12	0.06	1.1	21.97

Berdasarkan hasil pengujian yang ditampilkan pada Tabel 4, dapat dilihat dimana tegangan masukan yang diinputkan dengan nilai konstan yaitu 12 V dan konfigurasi dari nilai parameter PI tetap, serta nilai *set point* diatur dari hasil perhitungan 13 data dari tegangan keluaran minimum sampai maksimum. hasil respon tegangan keluarannya yang lebih optimal yaitu pada *set point* 22,22 V dimana selisih *error* 0,25 V.

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian Sepic konverter secara keseluruhan yang sudah dilakukan dengan operasi Simulink MATLAB dapat diambil kesimpulan bahwa hasil perancangan Sepic konverter pada saat mode *open loop* dengan nilai *duty cycle* 5% menghasilkan tegangan minimum yaitu 0,38 V. Selanjutnya saat diberikan nilai *duty cycle* 65% menghasilkan tegangan maksimum 21.22 V. Hasil perhitungan nilai error yang paling tinggi 1 V didapatkan pada percobaan data yang ke-13. Untuk nilai rata-rata errornya sebesar 0,642 V dan nilai standar deviasinya sebesar 0,453 V yang menunjukkan bahwa terdapat nilai yang berubah-ubah dalam pengukuran nilai error yang mempengaruhi nilai efisiensi konverter. Hasil pengujian menunjukkan juga nilai efisiensi terbesarnya yaitu 78,50% pada saat nilai *duty cycle* 65%.

Sedangkan pada hasil pengujian rangkaian sepic konverter pada saat mode *close loop*, tegangan masukan diberikan konstan yaitu 12 V, konfigurasi untuk nilai parameter PI juga tetap, dimana hasil respon tegangan keluarannya yang lebih optimal yaitu pada *set point* 22,22 V dimana selisih *error* 0,25 V.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada Dosen Pembimbing yang telah memberikan banyak pengarahan selama mengerjakan pengujian ini. Terima kasih kepada semua pihak di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, beserta terima kasih kepada kedua orang tua saya atas dukungan yang diberikan dan semua rekan angkatan prodi Teknik Elektro Universitas Mataram.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Buntulayuk, F. A. Samman, and Y. Yusran, "Rancangan DC-DC Converter untuk Penguatan Tegangan," *Jurnal Penelitian Enjiniring Fakultas Teknik Unhas*, vol. 21, no. 2, 2017.
- [2] R. F. Rajakumari and M. S. Ramkumar, "Design considerations and performance analysis based on ripple factors and switching loss for converter techniques," *Mater Today Proc*, vol. 37, pp. 2681–2686, 2021.
- [3] M. I. Hanafi, "Implementasi SEPIC Converter Pada Tegangan Keluaran Menggunakan Metode Kontrol PID," 2017.
- [4] D. Almanda and P. G. Chamdareno, "Perbandingan Kinerja Konverter Buck Boost Dan Konverter Sepic Sebagai Charger Baterai Berbasis Panel Surya," *Prosiding Semnastek*, 2019.
- [5] A. I. Gemilang, I. Purnama, and B. S. Aprillia, "Regulasi Tegangan Pada Konverter Sepic Dengan Metode Fuzzy Logic," *eProceedings of Engineering*, vol. 8, no. 5, 2021.
- [6] M. M. Nishat, M. A. M. Oninda, F. Faisal, and M. A. Hoque, "Modeling, simulation and performance analysis of SEPIC converter using hysteresis current control and PI control method," in *2018 International Conference on Innovations in Science, Engineering and Technology (ICISSET)*, IEEE, 2018, pp. 7–12.
- [7] F. T. W. 2020. Putra, "Rancang Bangun DC-DC Sepic Converter Dengan Kontrol Mppt Pada Panel Surya Berbasis PID (Doctoral dissertation).".

- [8] A. R. Harittsa, "Rancang Bangun Konverter Sepic Untuk Pengisian Baterai 48 V Berbasis Fuzzy Logic.," 2019, Universitas Jember, Jember, 2019.
- [9] T. Hardianto and M. Gozali, "mplementasi Single Ended Primary Inductance Converter (Sepic) Pada Sistem Panel Surya".
- [10] B. Y. Zulfikar Valianda, "RANCANG BANGUN KONVERTER SEPIC DENGAN MONITORING BERBASIS LABVIEW," 2018.