

RANCANG BANGUN PURWARUPA ZETA CONVERTER DENGAN MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) UNTUK OPTIMALISASI PENYERAPAN ENERGI PADA PHOTOVOLTAIC

Indra Amos Rolindo Siregar^{1*}, Noer Soedjarwanto¹, Anisa Ulya Darajat¹, Endah Komalasari¹

¹Universitas Lampung; Jl. Prof. Soemantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung 35145; +62 721 702767

Received: 6 Juni 2024

Accepted: 31 Juli 2024

Published: 7 Agustus 2024

Keywords:

Photovoltaic;
Zeta Converter,
DC-DC Converter;
Maximum Power Point
Tracking.

Correspondent Email:

amosee990@gmail.com

Abstrak. Panel surya berperan penting dalam menghasilkan energi terbarukan. Panel surya dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Namun, panel surya memiliki kelemahan dalam menghasilkan energi listrik yaitu daya serap yang dihasilkan tidak optimal apabila langsung dihubungkan ke beban. Metode yang dapat digunakan untuk mengatasi kelemahan tersebut yaitu dengan menggunakan dc-dc converter yang dapat mengontrol tegangan panel surya. Kemudian, dc-dc converter dikombinasikan dengan Maximum Power Point Tracking (MPPT) untuk melacak titik optimal dari panel surya. Dalam penelitian ini, digunakan zeta converter (ZC) yang mampu menaikkan dan menurunkan tegangan dengan MPPT Perturb and Observe (PnO). Hasil pengujian menunjukkan ZC dapat mengatur tegangan panel surya untuk mengoptimalkan penyerapan daya berdasarkan duty cycle dari MPPT PnO. Didapatkan hasil sistem dengan ZC dilengkapi MPPT PnO mampu mengoptimalkan penyerapan daya dari panel surya dengan kenaikan daya dari rata-rata pengujian sebesar 71,54% dibanding sistem tanpa ZC.

Abstract. Solar panels play a crucial role in generating renewable energy. Solar panels can convert solar energy into electrical energy. However, solar panels have a weakness in generating electrical energy, which is that the power absorption they produce is not optimal when directly connected to the load. A method that can be used to overcome this weakness is by using a dc-dc converter that can control the voltage of the solar panel. Then, the dc-dc converter is combined with Maximum Power Point Tracking (MPPT) to track the optimal point of the solar panel. In this study, a zeta converter (ZC) is used, which is capable of increasing and decreasing voltage with MPPT Perturb and Observe (PnO). The test results show that the ZC can regulate the voltage of the solar panel to optimize power absorption based on the duty cycle from MPPT PnO. Therefore, the system with ZC equipped with MPPT PnO relatively optimizes the power absorption from the solar panel with a power increase of 71.54% compared to the system without ZC.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi energi listrik terus berlanjut dengan pesat, salah satunya adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). PLTS memanfaatkan Photovoltaic (PV) untuk

mengubah energi panas matahari menjadi energi listrik, sebuah proses yang ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi karbon. Namun, efisiensi PV sangat bergantung pada kondisi cuaca, yang dapat mempengaruhi

intensitas penyerapan sinar matahari. Selain itu, penyerapan daya dari panel surya juga dipengaruhi oleh beban yang digunakan[1], [2].

Untuk mengatasi tantangan ini, pengendali Maximum Power Point Tracking (MPPT) dikembangkan. MPPT adalah algoritma yang melacak titik maksimum PV pada semua tingkat iradiasi, dan sering dikombinasikan dengan konverter dc-dc. Salah satu jenis konverter dc-dc yang dapat digunakan adalah *zeta converter*, yang memiliki riak tegangan output yang rendah dan polaritas yang sama dengan tegangan input[3]-[5].

Penelitian ini bertujuan untuk membuat perangkat purwarupa berupa *zeta converter* dengan algoritma MPPT *Perturb and Observe* (PnO), berdasarkan masalah tersebut. Perangkat tersebut akan mengendalikan tegangan panel surya berdasarkan *duty cycle* yang diberikan oleh MPPT PnO. Sehingga, diharapkan penyerapan daya dari PV menjadi lebih optimal.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sel Surya

Konversi energi dari cahaya matahari menjadi energi listrik dilakukan oleh komponen yang disebut sel surya atau sel *photovoltaic* (sel PV). Proses pengubahan ini disebut efek *photovoltaic*. Sel surya terdiri dari bahan semikonduktor yang mampu menyerap cahaya matahari dan menghasilkan aliran listrik melalui efek *photovoltaic*[6], [7].

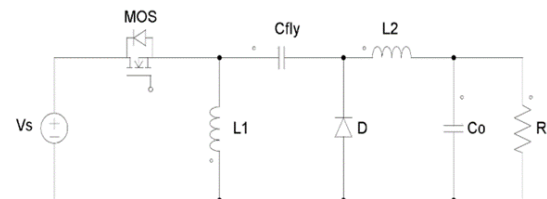
2.2 Zeta Converter

Dalam topologi rangkaian *zeta converter* diperlukan komponen yaitu sebuah MOSFET sebagai komponen pensaklaran, sebuah dioda, dua buah kapasitor, dan dua buah induktor. Rangkaian tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.1. Konverter akan bekerja dalam dua kondisi, yaitu ketika MOSFET hidup (*switch on*) atau MOSFET mati (*switch off*).

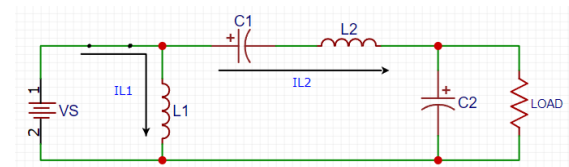
Pada kondisi pertama ketika *switch on*, rangkaian ekuivalennya ditunjukkan pada Gambar 2.2. Selama kondisi ini, sumber akan mengalir ke rangkaian dan mengisi semua komponen pasif. Diasumsikan bahwa kapasitor C1 dan C2 sudah terisi daya. Induktor L1 diisi oleh sumber sedangkan kapasitor C1 mengisi induktor L2 dan L2 memberikan arus kontinu ke beban. Dioda D menjadi bias mundur

sehingga tidak dapat mengalir arus atau bertindak sebagai sirkuit terbuka.

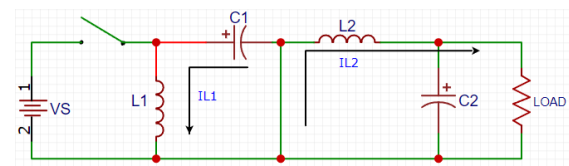
Kondisi selanjutnya adalah saat *switch off*, seperti pada Gambar 2.3. Selama mode ini, dua induktor yaitu L1 dan L2 menyuplai Listrik ke rangkaian. Kapasitor C1 diisi oleh induktor L1 dan induktor L2 menyediakan arus ke beban [4], [8].



Gambar 2.1 Rangkaian *zeta converter*



Gambar 2.2 Kondisi *switch on*



Gambar 2.3 Kondisi *switch off*

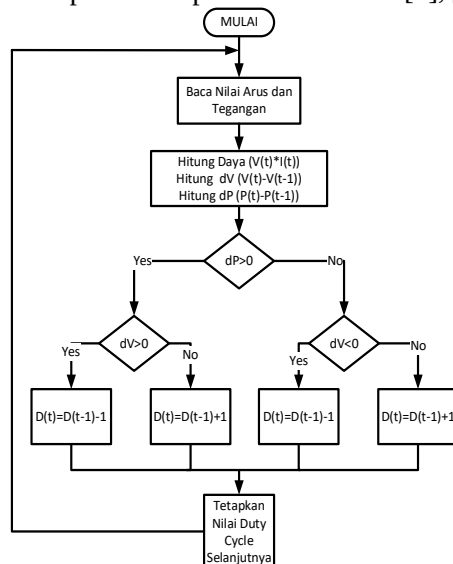
2.3 Maximum Power Point Tracking (MPPT)

Maximum Power Point Tracking (MPPT) adalah teknik yang digunakan untuk menjaga sistem PLTS dapat bekerja dalam titik maksimum. Teknik ini digunakan untuk memastikan dan mempertahankan agar penyerapan daya dari PV dapat maksimal meskipun kondisi lingkungan (radiasi dan suhu) yang berubah-ubah. Salah satu teknik MPPT ialah *Perturb and Observe* (PnO). Teknik tersebut akan mengamati data tegangan dan daya dari PV kemudian memberikan gangguan agar tegangan dan daya dari PV akan berubah. Kemudian, perubahan tersebut akan diamati ulang oleh teknik tersebut sehingga dapat ditentukan besar *duty cycle* yang tepat untuk mengejar titik maksimum dari sistem PLTS[3], [9], [10].

3. METODE PENELITIAN

3.1 Perturb and Observe (PnO)

Algoritma *Perturb and Observe* (PnO) merupakan salah satu teknik MPPT yang digunakan untuk melacak titik maksimum panel surya. Algoritma ini akan menghasilkan nilai *duty cycle* untuk pelacakan titik maksimum panel surya. Proses awal dari algoritma ini adalah membaca nilai tegangan dan daya dari panel surya. Data tegangan dan daya akan dibandingkan berdasarkan waktu yaitu data sekarang akan dibandingkan dengan data sebelumnya. Dari perbandingan tersebut MPPT akan mengubah *duty cycle*. *Flowchart* teknik tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.1. [9], [10]



Gambar 3.1 *Flowchart* Algoritma MPPT PnO

3.2 Desain Zeta Converter

Perlu dibuat penentuan spesifikasi *zeta converter*. Spesifikasi panel surya juga berperan untuk menentukan spesifikasi dari *zeta converter*. Spesifikasi panel surya dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Spesifikasi panel surya 50 WP

Voltage at Pmax (Vmp)	18V
Current at Pmax (Imp)	2,78A
Open-Circuit Voltage (Voc)	22,11V
Short-Circuit Current (Isc)	2,94A

Tabel 3.2 Spesifikasi desain

PARAMETER	NOM	UNITS
P_{IN}	50	W
$V_{IN}(min)$	10	V

PARAMETER	NOM	UNITS
$V_{IN}(max)$	22	V
I_{IN}	2,78	A
P_{OUT}	50	W
V_{OUT}	12	V
I_{OUT}	5	A
R	4	Ω
f_{sw}	30000	Hz
ΔIL	30	%

Parameter yang ditentukan untuk merancang *zeta converter* ditunjukkan pada Tabel 3.2. Berdasarkan parameter tersebut, dilakukan perhitungan nilai komponen *zeta converter*. Komponen yang termasuk dalam perhitungan *zeta converter* ialah induktor ($L1$ & $L2$) dan kapasitor. Perhitungan nilai komponen tersebut diperlukan untuk membuat konverter beroperasi dalam *Continuous Conduction Mode* (CCM) [4], [8], [11].

1. Perhitungan nilai *duty cycle*

$$D = \frac{V_{out}}{V_{in} + V_{out}} \quad (3.1)$$

$$D_{max} = \frac{V_{out}}{V_{in_{min}} + V_{out}} \quad (3.2)$$

$$D_{max} = \frac{12V}{10V + 12V} = \frac{12V}{22V} = 0,5455$$

$$D_{min} = \frac{V_{out}}{V_{in_{max}} + V_{out}} \quad (3.3)$$

$$D_{min} = \frac{12V}{22V + 12V} = \frac{12V}{34V} = 0,3529$$

2. Perhitungan arus *input* maksimal

$$I_{inMax} = I_{OUT} \times \left(\frac{D_{max}}{1 - D_{max}} \right) \quad (3.4)$$

$$= 5 \times \left(\frac{0,5455}{1 - 0,5455} \right)$$

$$= 6A$$

3. Perkiraan *ripple* arus induktor

$$\Delta I_{L(PP)} = K \times I_{INmax} \quad (3.5)$$

$$= 30\% \times 6A$$

$$= 0,18A$$

4. Perhitungan induktor ($L1$ & $L2$)

$$L1 = L2 = \frac{V_{INMIN} \times D_{Max}}{\Delta I_{L(PP)} \times f_{sw}}$$

$$= \frac{10V \times 0,545}{0,18A \times 30kHz}$$

$$\cong 100\mu H$$

5. Perhitungan kapasitor kopling

$$C_c = \frac{D_{max} \times I_{OUT}}{\Delta V \times V_{out} \times f_{sw}} \quad (3.6)$$

$$= \frac{0,5455 \times 6A}{0,18V \times 12 \times 30000}$$

$$\cong 200 \mu F$$

6. Perhitungan kapasitor *input* dan *output*

$$C_{IN} = \frac{D_{max} \times I_{OUT}}{\Delta V_{in} \times V_{IN(max)} \times f_{sw}} \quad (3.7)$$

$$= \frac{0,5455 \times 6 A}{0,18 V \times 22 \times 30000}$$

$$\cong 500 \mu F$$

$$C_{OUT} = \frac{D_{min}}{8 \times \Delta V \times f_{sw}} \quad (3.8)$$

$$= \frac{0,3529}{8 \times 0,01 \times 30000}$$

$$\cong 200 \mu F$$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Zeta Converter (ZC)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kerja *zeta converter* (ZC) untuk menaikkan ataupun menurunkan tegangan. Pengujian *zeta converter* dilakukan dengan memberikan tegangan masukan serta *duty cycle* sesuai dengan Tabel 4.1 pada beban sebesar 12 Ω .

Tabel 4.1 Tegangan masukan dan *duty cycle*

VIN (V)	Duty Cycle (%)
10	54,55
15	44,44
18	40
22	35,29

Tabel 4.2 Hasil pengujian *zeta converter*

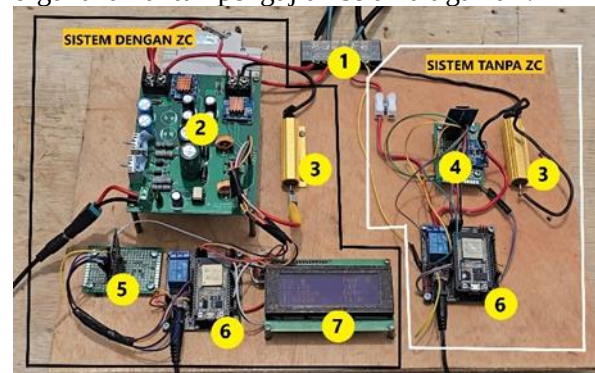
Beban (Ohm)	V _{IN} (V)	I _{IN} (A)	V _{OUT} (V)	I _{OUT} (A)
12	10,10	1,62	12,00	0,97
	15,38	1,22	12,70	1,02
	18,01	1,05	12,70	1,02
	22,00	0,90	12,90	1,04

Terlihat bahwa *zeta converter* mampu mengatur tegangan sesuai dengan *duty cycle*

yang digunakan pada Tabel 4.2. Ketika *duty cycle* yang digunakan di atas 50% maka *zeta converter* bekerja untuk menaikkan tegangan. Ketika *duty cycle* di bawah 50% *zeta converter* bekerja untuk menurunkan tegangan.

4.2 Pengujian Dengan Panel Surya

Pengujian ini meliputi pengujian sistem tanpa *zeta converter* dan sistem *zeta converter* dilengkapi MPPT PnO. Panel surya akan dihubungkan ke kedua sistem sebagai sumber listrik. Berikut adalah tampak purwarupa alat kedua sistem pada Gambar 4.1 yang akan digunakan untuk pengujian selama tiga hari.



Gambar 4.1 tampilan purwarupa alat keterangan :

1. Terminal Input (Menghubungkan panel surya ke kedua sistem)
2. Zeta Converter
3. Resistor
4. Rangkaian *sdcard* dan sensor arus dan tegangan (sistem tanpa *zeta converter*)
5. Rangkaian Modul SdCard
6. Mikrokontroler
7. LCD (Sistem dengan *zeta converter*)

Tabel 4.3 Hasil pengujian sistem *zeta converter* dilengkapi MPPT PnO

Jam	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Duty Cycle (%)
7.00	16,00	0,28	4,59	16,40
8.00	16,53	0,85	13,96	27,40
9.00	15,39	1,73	26,43	37,07
10.00	15,22	1,76	26,30	36,94
11.00	14,45	2,28	32,80	41,69
12.00	14,78	2,03	29,79	39,68

Jam	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Duty Cycle (%)
13.00	16,34	0,85	14,00	27,46
14.00	16,14	0,30	4,83	18,33
15.00	17,04	0,46	7,85	20,86
16.00	15,08	0,23	3,47	16,92

Tabel 4.4 Hasil pengujian sistem tanpa *zeta converter*

Jam	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
7.00	1,23	0,31	0,41
8.00	3,61	0,94	3,51
9.00	7,30	1,95	14,57
10.00	7,96	1,98	17,10
11.00	10,43	2,58	26,74
12.00	9,35	2,30	22,40
13.00	5,36	1,30	9,33
14.00	1,45	0,35	0,52
15.00	1,65	0,40	0,72
16.00	1,14	0,28	0,32

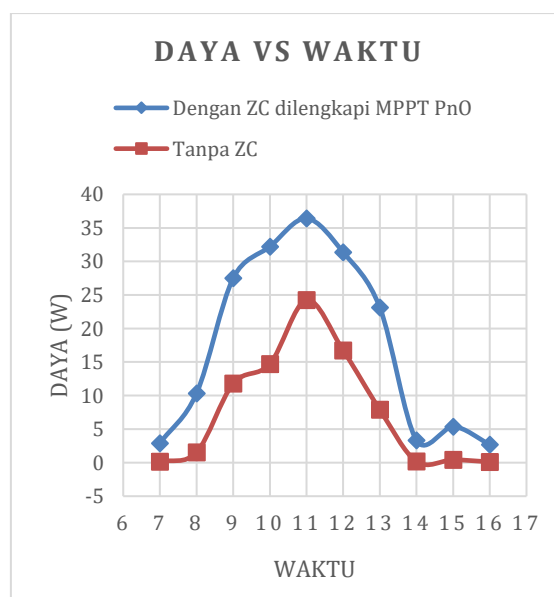
Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 merupakan data rata-rata yang diambil dari pengujian selama tiga hari setiap jamnya. Dari Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 dibuat perbandingan penyerapan daya yang disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Perbandingan daya serap dari panel surya dari kedua sistem

Jam	Daya (W)	
	<i>Zeta Converter</i> dilengkapi MPPT PnO	Tanpa <i>Zeta Converter</i>
7.00	4,59	0,41
8.00	13,96	3,51
9.00	26,43	14,57

Jam	Daya (W)	
	<i>Zeta Converter</i> dilengkapi MPPT PnO	Tanpa <i>Zeta Converter</i>
10.00	26,30	17,10
11.00	32,80	26,74
12.00	29,79	22,40
13.00	14,00	9,33
14.00	4,83	0,52
15.00	7,85	0,72
16.00	3,47	0,32

Dapat dilihat dari Tabel 4.3-4.5 bahwa sistem *zeta converter* dilengkapi MPPT PnO lebih unggul untuk optimalisasi penyerapan daya dari panel surya. Penyerapan daya pada sistem *zeta converter* dilengkapi MPPT PnO memiliki selisih lebih besar 22,66% dibanding sistem tanpa *zeta converter* pada saat puncak atau jam 11.00 WIB. Untuk penyerapan daya selama pengujian yang didapat dari rata-rata pengujian mulai jam 7.00 sampai 16.00 WIB, maka sistem *zeta converter* dilengkapi MPPT PnO mampu menyerap daya lebih besar 71,54% dibanding sistem tanpa *zeta converter*. Kurva perbandingan daya disajikan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Kurva perbandingan daya kedua sistem

5. KESIMPULAN

- a. *Zeta Converter* akan menurunkan tegangan ketika *duty cycle* dibawah 50%, sebaliknya *duty cycle* di atas 50% akan menaikkan tegangan. Hal ini dibuktikan ketika *duty cycle* sebesar 35,29% dan VIN 22V maka VOUT yang dihasilkan adalah 12V. Lalu, ketika *duty cycle* sebesar 54,55% dan VIN 10V maka VOUT yang dihasilkan adalah 12V.
- b. Daya serap pada sistem dengan ZC yang dilengkapi MPPT PnO lebih optimal dibanding sistem tanpa ZC. Hal ini dibuktikan ketika daya serap dengan ZC yang dilengkapi MPPT PnO mengalami kenaikan sebesar 71,54% dibanding tanpa ZC dari rata-rata pengujian mulai jam 7.00 sampai 16.00 WIB selama tiga hari.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] IESR (2021), "Indonesia Energy Transition Outlook 2022. Tracking Progress of Energy Transition in Indonesia: Aiming for Net-Zero Emissions by 2050," Jakarta, Dec. 2021.
- [2] Samsurizal, Christiono, and Andi Makkulau, "Evaluasi Sudut Kemiringan Terhadap Pengaruh Irradiance Pada Array Photovoltaic Jenis Monocrystalline," *Jurnal Ilmiah Setrum*, vol. 8, no. 1, pp. 28–34, Jun. 2019.
- [3] S. Sengar, "Maximum Power Point Tracking Algorithms for Photovoltaic System: A Review," *International Review of Applied Engineering Research*, vol. 4, no. 2, pp. 147–154, 2014.
- [4] A. Admane and H. Naidu, "Analysis and Design Of Zeta Converter," *INTERNATIONAL JOURNAL FOR INNOVATIVE RESEARCH IN MULTIDISCIPLINARY FIELD*, vol. 4, no. 4, pp. 161–167, 2018.
- [5] N. Siddharthan and B. Balasubramanian, "Performance evaluation of SEPIC, Luo and ZETA converter," *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, vol. 10, no. 1, pp. 374–380, Mar. 2019, doi: 10.11591/ijpeds.v10.i1.
- [6] B. H. Purwoto, Jatmiko, M. F. Alimul, and I. Fahmi Huda, "EFISIENSI PENGGUNAAN PANEL SURYA SEBAGAI SUMBER ENERGI ALTERNATIF," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 18, no. 1, pp. 10–14, 2018.
- [7] B. Budiarto, N. Soedjarwanto, F. X. A. Setyawan, and Z. Huda, "RANCANG BANGUN PERALATAN THREE STAGES CHARGING BATERAI MENGGUNAKAN BUCK BOOST CONVERTER DENGAN SEL SURYA BERBASIS MIKROKONTROLER ARDUINO," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 10, no. 2, Apr. 2022, doi: 10.23960/jitet.v10i2.2528.
- [8] J. Falin, "Designing DC/DC converters based on ZETA topology," *Analog Applications Journal*, pp. 16–20, 2010.
- [9] I. Winarno and L. Natasari, "MAXIMUM POWER POINT TRACKER (MPPT) BERDASARKAN METODE PERTURB AND OBSERVE DENGAN SISTEM TRACKING PANEL SURYA SINGLE AXIS," in *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*, 2017.
- [10] S. Salman, X. Ai, and Z. Wu, "Design of a P-&-O algorithm based MPPT charge controller for a stand-alone 200W PV system," *Protection and Control of Modern Power Systems*, vol. 3, no. 1, Dec. 2018, doi: 10.1186/s41601-018-0099-8.
- [11] R. N. Hasanah et al., "Design of PI sliding mode control for Zeta DC–DC converter in PV system," *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences*, vol. 70, no. 3, Jun. 2022, doi: 10.24425/bpasts.2022.140952.