

DESAIN DAN SIMULASI KONVERTER ZETA DENGAN MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) METODE INCREMENTAL CONDUCTANCE (IC) PADA PLTS

Firman Aldianto Sulo¹, Abil Huda²

^{1,2}Universitas Borneo Tarakan, Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

*firmanaldianto04@gmail.com

Abstract— PLTS is one of the alternative power plants that is being developed in Indonesia because it does not have a negative impact on the environment. The problem caused by the use of solar cells is that the output power of solar cells often does not reach the maximum of the actual power. For this reason, a way is needed to find and optimize the power output of PV, one of which is by implementing a Maximum Power Point Tracking (MPPT) system. Based on the analysis carried out in this study, the higher the irradiation value given to the PV, the higher the I_{sc} and V_{oc} values. The irradiation inputs used for testing are 500 W/m^2 , 800 W/m^2 , and 1000 W/m^2 . Based on the simulation results that have been carried out, the maximum power point of PV is 200.07 W with an output voltage of 12.02 and an output current of 16.69 A .

Keywords— PLTS, MPPT, Zeta converter, IC.

Intisari— PLTS adalah salah satu pembangkit listrik alternative yang sedang dikembangkan di Indonesia dikarenakan tidak berdampak buruk terhadap lingkungan. Permasalahan yang ditimbulkan pada penggunaan sel surya adalah daya keluaran sel surya yang seringkali tidak mencapai maksimal dari daya yang sebenarnya. Untuk itu dibutuhkan suatu cara untuk menemukan dan mengoptimalkan keluaran daya dari PV, salah satunya dengan menerapkan system Maximum Power Point Tracking (MPPT). Berdasarkan analisa yang dilakukan dalam penelitian ini, semakin tinggi nilai irradiansi yang diberikan pada PV maka nilai I_{sc} dan V_{oc} semakin meningkat. Masukan irradiansi yang digunakan untuk pengujian yaitu 500 W/m^2 , 800 W/m^2 , dan 1000 W/m^2 . Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, titik daya maksimum PV yaitu sebesar 200.07 W dengan tegangan output 12.02 dan arus output 16.69

Kata Kunci— PLTS, MPPT, Zeta converter, IC.

I. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah salah satu pembangkit listrik alternative yang sedang dikembangkan di Indonesia karena pembangkit listrik dengan tenaga surya ini nyaris tidak berdampak buruk terhadap lingkungan dibandingkan pembangkit listrik berbahan bakar lainnya [3].

Maximum Power Point Tracking (MPPT) adalah teknik dasar yang digunakan untuk mencari titik daya

maksimum panel surya dengan konstan [4]. Salah satu keuntungan penggunaan MPPT adalah cepat terpenuhinya kondisi equilibrium photovoltaic untuk kondisi yang diperlukan oleh beban dan yang dapat dipenuhi panel surya [2].

MPPT yang digunakan diantaranya yaitu algoritma Inkremental Conductance (IC) digunakan untuk menemukan titik daya maksimum keluaran PV agar tetap konstan. Pada penelitian ini, memfokuskan pada desain algoritma MPPT sel photovoltaic dengan menggunakan algoritma incremental conductance (IC) pada ZETA converter [7].

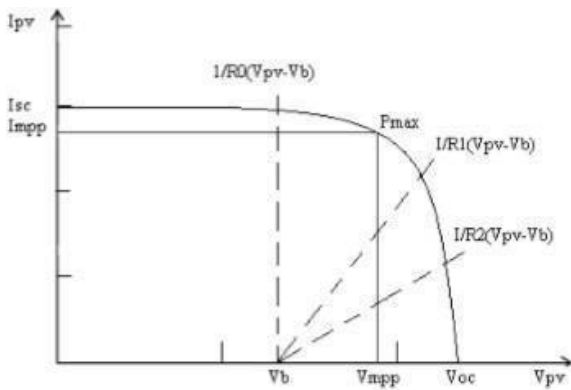
II. LANDASAN TEORI

A. Photovoltaik

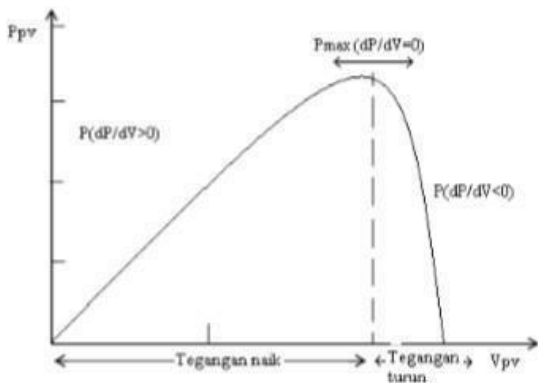
Energi radiasi matahari diubah menjadi energi listrik dengan mempergunakan pembangkit listrik tenaga surya atau disebut juga teknologi photovoltaic yang terbuat dari bahan semi konduktor lainnya, yang disebut solar cell. Teknologi selain 4 teknologi dari sumber energi yang tidak terbatas (cahaya matahari) juga terkenal ramah lingkungan sehingga memiliki daya guna yang tinggi. Teknologi ini membutuhkan area instalasi yang luas untuk dapat menyerap sinar matahari. Daya listrik sebesar 100 mW akan membutuhkan luas tanah hingga $60\text{-}70$ hektar. PV merupakan device yang memanfaatkan sinar matahari untuk dijadikan energy listrik dimana komponen utamanya berupa cell yang di bentuk dari layer tipe-n dan tipe-p [1].

B. MPPT

Ada tiga pendekatan utama untuk memaksimalkan ekstraksi daya dalam sistem skala menengah dan besar. Mereka adalah pelacakan sinar matahari, pelacakan titik daya maksimum (MPP) atau keduanya. Dari kedua pelacakan tersebut maka muncullah teknik MPPT. MPPT adalah metode yang digunakan untuk menjaga sistem photovoltaic bekerja dalam titik MPP (maximum power point). MPPT akan mempertahankan output pada di daya tertingginya, yaitu V_{mp} (voltage maximum power) dan I_{mp} (current maximum power). Untuk mempertahankan sistem dapat tetap bekerja pada MPP, maka metode atau algoritma MPPT telah banyak dikembangkan [5].



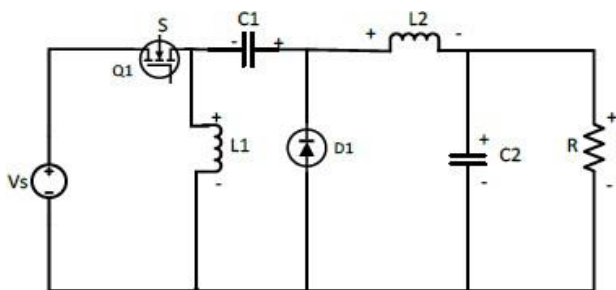
Gambar 1. Pengaruh Pembebanan Terhadap Kurva V-I



Gambar 2. Pengaruh Perubahan Daya Terhadap Perubahan

C. Zeta Konverter

Zeta Konverter adalah topologi baru dari Buck-Boost Konverter yang mana dapat menghasilkan tegangan keluaran positif dari tegangan masukan yang bervariasi, di atas atau di bawah tegangan keluaran [6]. Untuk topologi dari Zeta Konverter sendiri menggunakan topologi yang mirip dengan Buck Konverter. Seperti DC-DC Konverter pada umumnya, Konverter ini menggunakan teknik pensaklaran (switching) yang bekerja dengan membuka dan menutup saklar elektronik. Zeta Konverter menggunakan dua induktor, diode, dua kapasitor, dan MOSFET [4].

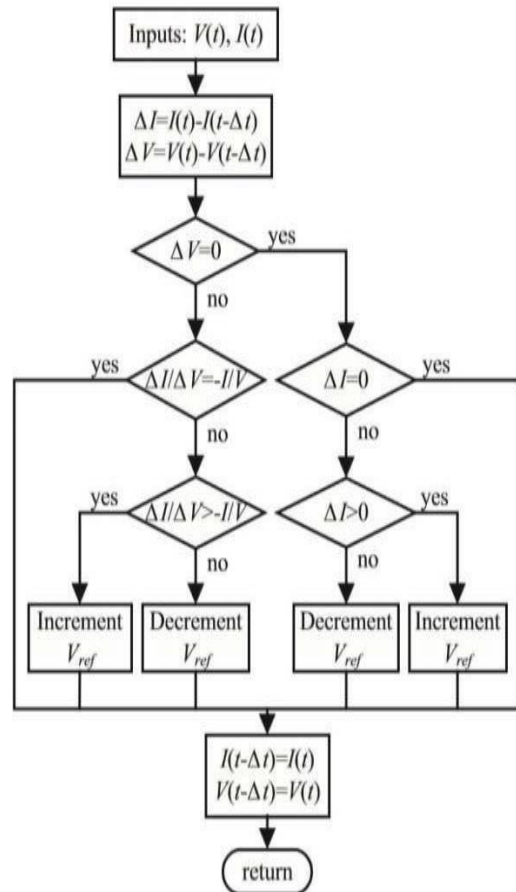


Gambar 3. Zeta Konverter

D. Algoritma Incremental Conductance

Metode Incremental Conductance (IC) bekerja berdasarkan gradien kurva P- V atau kurva P-I karakteristik sel surya [5]. Titik kerja maksimum sel surya terletak pada nilai tegangan yang berbeda untuk setiap kondisi lingkungan yang berbeda, disebut juga VMPP. MPPT memberikan Vref agar titik kerja sel surya terdapat

nilai VMPP tersebut. Algoritma Incremental Conductance digunakan untuk mengatasi masalah yang ditimbulkan oleh algoritma P&O. Dasar algoritma ini adalah kurva kemiringan P-V. Pengontrolan dilakukan dengan menaikkan atau menurunkan tegangan MPPT [5].



Gambar 4. Algoritma Incremental Conductance

III. METODE PENELITIAN

A. Tahapan Penelitian

Dalam metodologi penelitian ini, dibuat langkah-langkah dalam melaksanakan penelitian sebagai berikut :

- Studi Literatur

Studi Literatur dilakukan yaitu dengan mengambil materi dari beberapa buku, judul jurnal, paper maupun skripsi- skripsi yang telah ada sebelumnya, dijadikan acuan maupun referensi penelitian untuk dikembangkan lebih lanjut untuk melakukan penelitian.
- Perancangan Sistem

Tahapan kedua adalah mendesain dan mensimulasikan converter ZETA dengan MPPT metode IC pada PLTS dan plan secara keseluruhan.
- Pengujian

Tahapan selanjutnya yaitu melakukan simulasi menggunakan software PSIM
- Analisa dan Kesimpulan

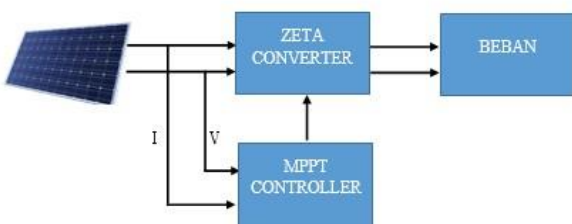
Data yang sudah didapat, selanjutnya akan di analisis dan di simpulkan berdasarkan hasil perhitungan perbandingan serta analisis.



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

B. Rancangan Alat yang Dibuat

Pada umumnya, perancangan sistem MPPT yang akan dibuat pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 6. Rangkaian Regulator Tegangan AC 1 fasa

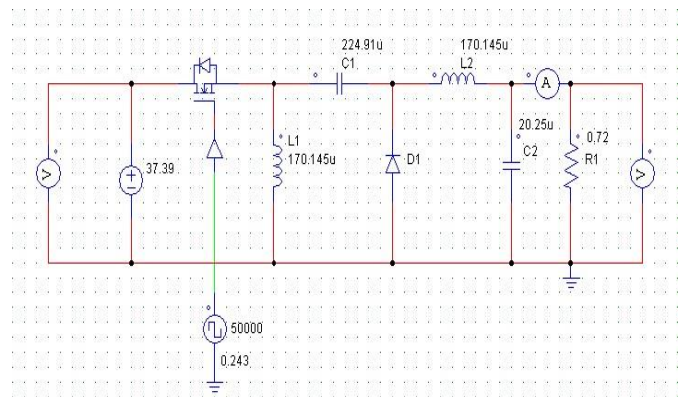
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pemodelan Zeta Konverter

Setelah didapatkan hasil spesifikasi nilai komponen yang telah didapatkan melalui proses perhitungan, maka langkah selanjutnya yaitu membuat pemodelan zeta converter menggunakan software PSIM. Pada rangkaian Zeta Converter, komponen-komponen dasar yang akan digunakan dalam simulasi ini yaitu terdiri dari induktor, kapasitor, dioda, mosfet, dan resistor sebagai beban. Penentuan spesifikasi dari Zeta Converter ini nantinya akan disesuaikan dengan karakteristik dari panel surya yang akan digunakan. Pemodelan rangkaian Zeta Converter dapat dilihat pada Tabel.1 berikut ini.

Tabel I
DataSpesifik Zeta Converter

Komponen	Nilai
Duty Cycle	24.3%
L1 (Induktor 1)	170.145 uH
L2 (Induktor 2)	170.145 uH
C1 (Kapasitor 1)	224.91 uF
C2 (Kapasitor 2)	20.25 uF
Cs (Kapasitor Sumber)	72.18294 uF
R (Resistor Beban)	0.72 ohm



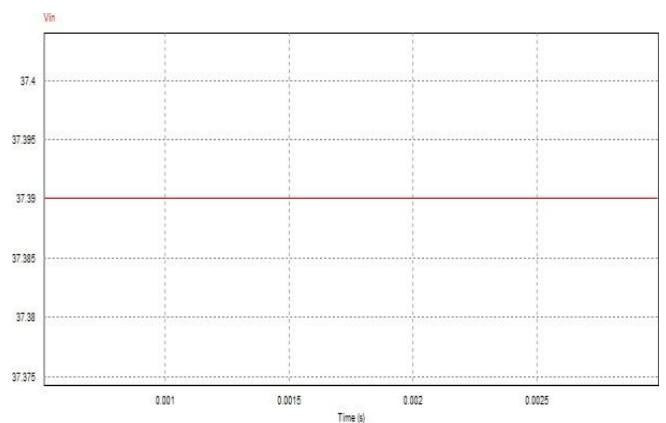
Gambar 7. Pemodelan zeta converter pada software PSIM

B. Pengujian Zeta Konverter

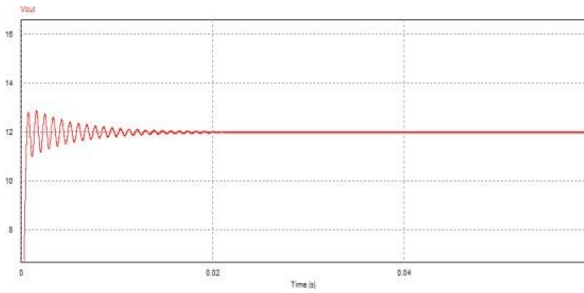
Setelah tahap perhitungan nilai data spesifik dan tahap pemodelan, selanjutnya adalah tahap pengujian terhadap konverter tersebut. Pada pengujian rangkaian Zeta Converter ini yaitu bertujuan untuk mengetahui apakah nilai keluaran dari rangkaian simulasi sudah sesuai dengan hasil nilai data parameter yang digunakan sebelumnya. Namun dalam pengujian ini hanya berfokus kepada daya keluaran, tegangan keluaran, dan arus keluaran. Berikut adalah hasil pengujian zeta converter.

Tabel II
Hasil Pengujian zeta converter

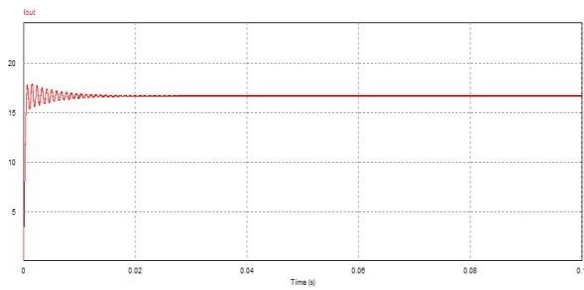
Parameter	Nilai
Daya Keluaran (Po)	200.3 W
Tegangan Keluaran	12.01 V
Arus Keluaran	16.68 A



Gambar 8. GelombangTegangan Input Zeta Converter

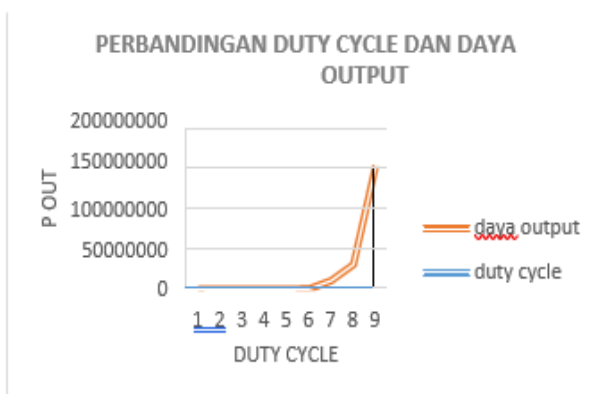


Gambar 9. Gelombang Tegangan Keluaran Pada Zeta Converter

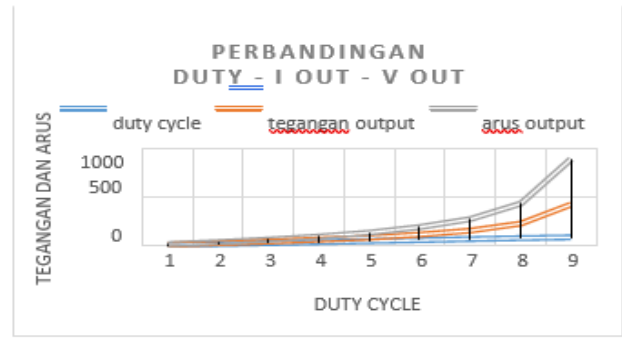


Gambar 10. Gelombang Arus Keluaran Zeta Converter

Pengujian rangkaian Zeta Converter ini juga bertujuan untuk mengetahui nilai dari rangkaian berdasarkan perbandingan daya output dan daya input. Pengujian Zeta converter dilakukan dengan melihat dari perbandingan duty cycle dan juga output tegangan, arus, dan daya. Pada pengujian ini menggunakan masukan duty cycle yang dilakukan secara variasi dengan kelipatan sebesar 10%. Dari pengujian yang dilakukan akan dapat diketahui nilai perbandingan antara daya output, tegangan output, dan arus output. Mengacu pada teori, pada dasarnya Zeta Converter dapat menghasilkan tegangan keluaran yang terbalik tanpa menggunakan trafo dan menghasilkan tegangan keluaran yang lebih rendah (buck) maupun lebih tinggi (boost) dari tegangan masukan. Untuk lebih jelasnya, berikut merupakan hasil pengujian dari masukan duty cycle yang juga dibandingkan dengan hasil perhitungan.



Gambar 11. Kurva pengaruh duty cycle terhadap daya output



Gambar 12. Kurva pengaruh duty cycle terhadap arus output dan tegangan output

C. Pemodelan Photovoltaik

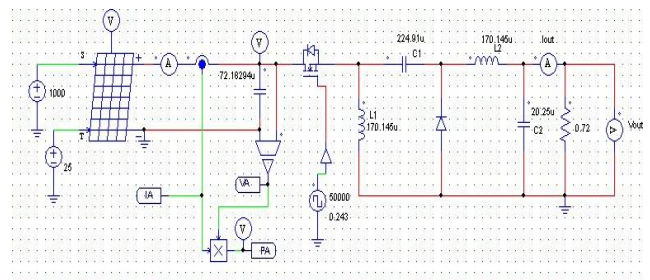
Pada penelitian modul PV yang digunakan pada simulasi ini adalah Modul Solarland USA SLP200S-24H dengan spesifikasi sesuai dengan datasheet yang ditunjukkan pada Tabel. Berikut adalah tabel dan gambar spesifikasi photovoltaic Modul Solarland USA SLP200S-24H yang akan digunakan.

Tabel III

Spesifikasi datasheet Modul Solarland USA SLP200S-24H

Parameter	Nilai
Tested at	1000 W/m ²
Suhu Permukaan	25 °C
P _{max}	200 W
V _{mpp}	37.39 V
I _{mpp}	5.35 A
V _{oc}	45.5 V
R _s	0.4921 ohm
I _L	5.803 A
I ₀	6.44 e-11
Cell/Module	72

Setelah pemodelan Zeta konverter dapat bekerja, maka modul photovoltaic dapat digabungkan dengan Zeta converter sehingga terbentuk suatu sistem. Pada pemodelan sistem ini algoritma MPPT masih belum digabungkan sehingga untuk menjalankan sistem ini mengandalkan PWM yang belum terhubung dengan SIMVIEW, dan duty cycle nya diatur secara manual menyesuaikan perhitungan duty cycle sebelumnya. PWM adalah pengganti blok pulse generator yang fungsinya hampir sama dengan pulse generator, dimana keluaran output PWM terhubung dengan mosfet. Pada pemodelan photovoltaic ini juga ditambahkan kapasitor yang berfungsi sebagai filter. Berikut adalah pemodelan photovoltaic yang akan digunakan.



Gambar.13 Pemodelan photovoltaic tanpa algoritma MPPT

D. Pengujian Photovoltaik

Pada pengujian ini, suhu modul ditetapkan pada nilai yang sama untuk setiap nilai irradianse, yakni sebesar 25 °C. nilai tersebut ditetapkan berdasarkan technical data at Standart Test Conditions (STC) untuk modul sistem PV. STC merupakan standar industri untuk menguji kinerja modul PV dengan menentukan suhu permukaan sel 25 °C dan radiasi 1000 W/m². Pada suhu tersebut daya yang bisa dihasilkan oleh modul surya paling maksimal. Suhu yang diatur pada nilai tersebut diharapkan dapat menghasilkan daya yang lebih besar daripada suhu permukaan modul surya yang lebih tinggi pada irradianse yang akan dilakukan pengujian.

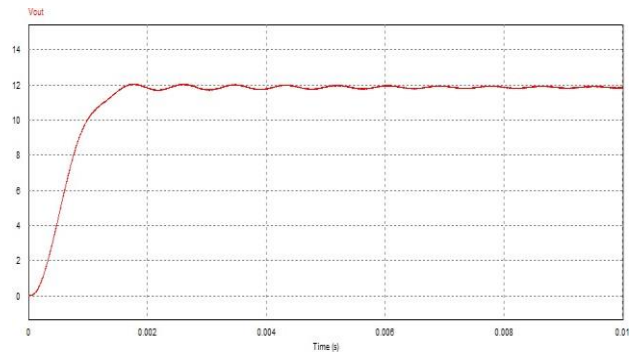
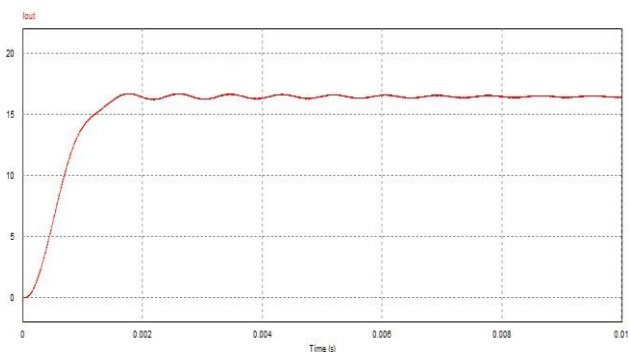
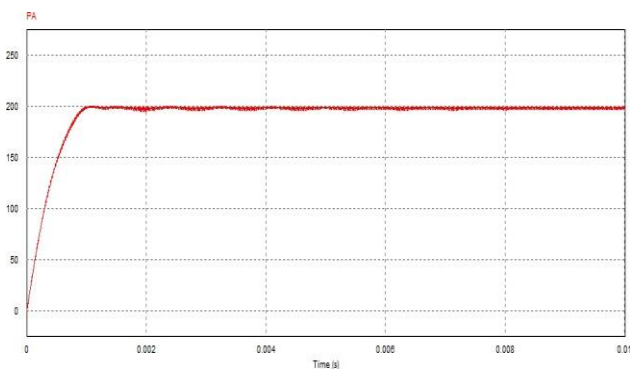
Pada Tabel 4 dapat dilihat perbandingan hasil keluaran dari pengujian modul surya pada temperature 25°C dengan tingkat intensitas cahaya 1000 W/m yang di bandingkan dengan hasil nilai datasheet dari system photovoltaic modul Solarland USA SLP200S-24H dan juga nilai error parameternya.

Tabel IV

Data Hasil Perbandingan Parameter datasheet dengan hasil simulasi

Parameter	Datasheet	Hasil Simulasi	Error
Pmax	200.03 W	200.07 W	0.02%
Vmpp	37.39 V	37.37 V	0.05%
Impp	5.35 A	5.30 A	0.9%

Dari tabel diatas menunjukkan adanya error antara hasil pengujian dari pada datasheet. Nilai error tertinggi terdapat pada arus senilai ± 0.9%. Nilai error yang diperoleh masih dalam batas toleransi yang ada pada datasheet yang mengacu pada tabel spesifikasi. Hal ini menjelaskan model matematis dan simulasi sudah baik dan dapat digunakan.



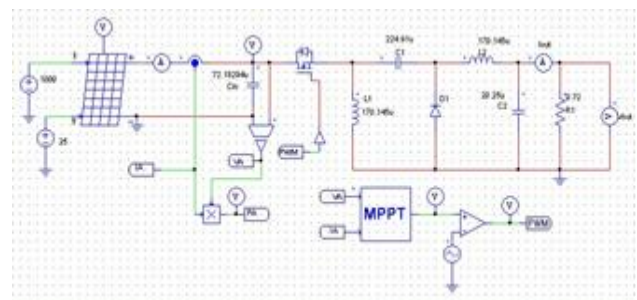
Gambar 14. Kurva gelombang output photovoltaik

E. Pemodelan Sistem Kendali MPPT IC

Sistem kendali MPPT merupakan system untuk mencari titik daya maksimum pada photovoltaik dengan menggunakan algoritma tertentu dan bekerja berdasarkan karakteristik P-V dengan mengubah titik kerja photovoltaic agar PV mendapatkan efisiensi yang paling tinggi.

Berdasarkan penjelasan pada bab sebelumnya, algoritma IC merupakan algoritma yang dikembangkan berdasarkan gradien kurva karakteristik P-V dari sel surya yang mana nilai MPP akan tercapai apabila $dP/dV = 0$. Besaran tegangan dan arus keluaran dari panel surya merupakan parameter penting yang dibutuhkan algoritma IC untuk mengetahui MPP dari panel surya. Nilai MPP dapat dihitung dengan memperhatikan hubungan antara dI/dV (incremental conductance) dan I/V (instantaneous conductance).

Untuk pemodelan rangkaian Zeta converter yang telah dihubungkan dengan sistem MPPT Incremental Connductance dapat dilihat pada Gambar 15 berikut ini.



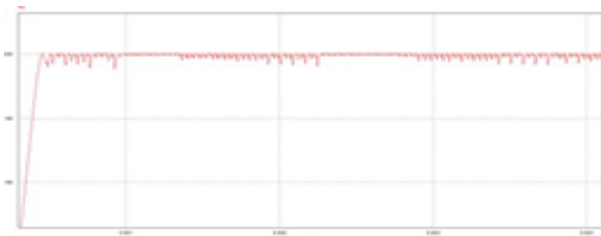
Gambar.15 Pemodelan rangkaian Zeta converter dengan c block system MPPT

F. Pengujian Sistem Kendali MPPT IC

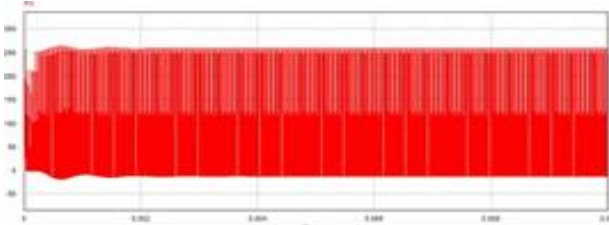
Dalam pengujiannya sendiri yaitu dengan cara pengujian kapasitor dan juga pengujian dengan menggunakan resistor sebagai beban. Untuk pengujian dengan menggunakan system MPPT Incremental Conductance ini hanya berfokus pada daya output keluaran pada Zeta converter.

• Pengujian Kapasitor

Dalam pengujian ini bertujuan untuk melihat gelombang daya output Zeta Converter dengan mengubah kapasitor input, pengujian ini juga membuktikan kapasitor input berfungsi sebagai filter untuk memperkecil riak tegangan.



Gambar 16. Pengujian output daya dengan kapasitor sebesar 72.18294 uF

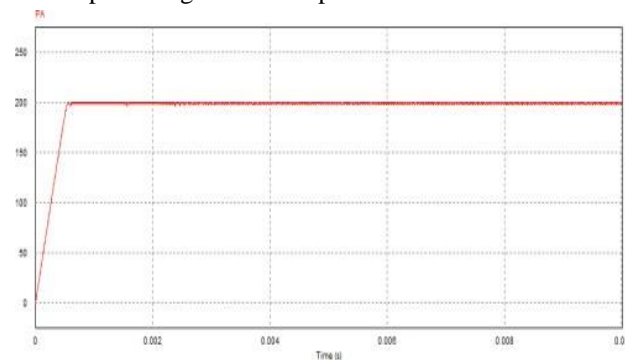


Gambar 17. Pengujian output daya dengan kapasitor sebesar 72.18294 nF

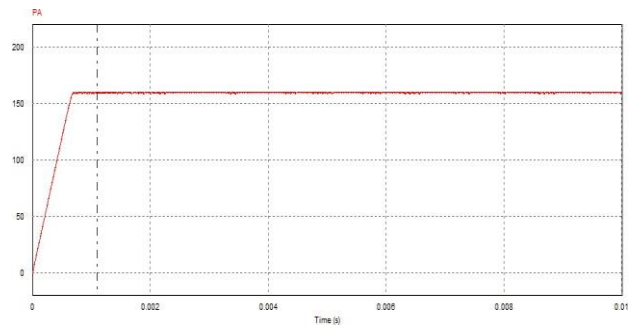
Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat dilihat dari kedua gelombang di atas memiliki perbedaan. Ketika pengujian menggunakan kapasitor bernilai 72.18294 uF, gelombang daya keluaran yang dihasilkan lebih stabil pada daya 200 W. berbeda dengan kapasitor yang bernilai 72.18294 nF, yang dimana gelombang daya output yang dihasilkan memiliki gelombang yang tidak teratur walapun gelombang tertinggi berada pada 200 W juga, namun gelombang dayanya naik turun secara cepat dan drastis, atau dapat dikatakan tidak stabil pada daya output 200 W.

• Pengujian Resistor Sebagai Beban

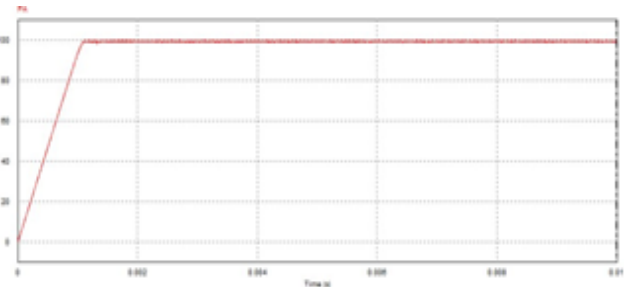
Pada pengujian ini dilakukan dengan menggunakan resistor sebagai beban, yang dimana apabila daya keluaran yang dihasilkan tidak sesuai dengan parameter sebelumnya, resistor akan diubah atau dinaikkan nilainya untuk mendapatkan nilai daya keluaran yang sesuai. Perubahan nilai pada resistor menggunakan rumus tegangan yaitu $V=I.R$, sedangkan untuk mendapatkan nilai arus menggunakan rumus daya yaitu $P=V.I$. namun apabila daya keluaran yang dihasilkan tidak berada pada nilai yang sesuai dengan nilai parameter maka nilai resistor pada rangkaian tidak perlu diubah.



Gambar 18. Gelombang daya output pada intensitas cahaya 1000 W/m².



Gambar 19. Gelombang daya output pada intensitas cahaya 800 W/m².



Gambar.20 Gelombang daya output pada intensitas cahaya 500 W/m².

Dari hasil pengujian rangkaian Zeta converter dengan menggunakan sistem MPPT Incremental Conductance dapat dilihat pada Tabel 5 Berikut ini

Tabel V
Pengujian Resistor sebagai Beban

Intensitas Cahaya	Po	Vo	Io
1000	200.07	12.02	16.69
800	160.22	10.69	14.85
500	99.60	8.33	11.57

G. Analisis Perbandingan Photovoltaic Tanpa MPPT dan Menggunakan MPPT IC

Setelah dilakukannya beberapa pengujian di atas, pada pembahasan kali ini yaitu menganalisa perbandingan kinerja simulasi photovoltaic tanpa MPPT dan simulasi photovoltaic dengan menggunakan MPPT Incremental Conductance. Untuk data hasil pengujian yang telah didapatkan dari kedua pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 6 berikut ini.

Tabel VI
Hasil Pebandingan tanpa MPPT dan menggunakan MPPT

Parameter	Tanpa MPPT	Dengan MPPT
P	199	200.07
Vo	11.9	12.02
Io	16.6	16.69

Pengujian yang akan dibandingkan pada keduanya yaitu pengujian dengan menggunakan intensitas cahaya 1000 W/m² dengan suhu permukaan yaitu 25C. Pada pengujian pertama yaitu simulasi photovoltaic yang telah dihubungkan dengan rangkaian Zeta converter tanpa menggunakan system MPPT Incremental Conductance.

Pada pengujian tersebut, daya keluaran yang dihasilkan yaitu 199 W dengan tegangan dan arus keluaran masing-masing 11.9 V dan 16.6 A. Lalu pada pengujian photovoltaic dengan menggunakan system MPPT, daya keluaran yang dihasilkan berada di titik maksimum daya, tegangan, dan juga arus keluarannya sesuai dengan parameter photovoltaic yaitu 200.07 W dengan tegangan output 12.02 dan arus output 16.69 A.

Dari kedua pengujian tersebut, dapat diketahui bahwa daya keluaran maksimal diperoleh dengan menggunakan system MPPT Incremental Conductance dibandingkan tanpa menggunakan system MPPT IC. Daya keluaran yang dihasilkan dengan menggunakan system MPPT Incremental Conductance dapat mendekati daya MPP photovoltaic yaitu dikaenakan system dari algoritma IC yang dapat mentracking daya maksimum pada photovoltaic dengan baik sesuai dengan program dari algoritma IC sendiri sesuai dengan penjelasan tentang algoritma Incremental Conductance pada sub bab sebelumnya.

V. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

- Pada hasil pengujian Zeta converter, rangkaian berjalan dengan baik sesuai dengan data parameter, dimana daya output yang dihasilkan adalah 200.3 W, tegangan output ialah 12 V dan arus output sebesar 16.68 A.
- Pada pengujian karakteristik photovoltaic, daya saat titik maksimum tertinggi yang dihasilkan yaitu bernilai 200.06 W pada suhu 25 °C dengan instesitas cahaya sebesar 1000 W dengan tegangan maksimum 37.39 V dan arus maksimum 5.49 A. sedangkan daya terendah benilai 40.40 W pada suhu 25°C dengan tingkat intensitas cahaya 400 W/m².
- Semakin tinggi nilai masukan irradiance yang digunakan pada modul surya, maka nilai arus Isc dan tegangan Voc pada modul semakin tinggi juga, begitu pun dengan nilai daya maksimumnya.
- Penggunaan kapasitor input adalah 72.18294 uF agar daya output yang dihasilkan lebih stabil dibandingkan dengan kapasitor dengan nilai 72.18294 nF.
- Dalam pengujian sistem MPPT Incremental Conductance yang dilakukan pada intensitas cahaya 1000 W/m² daya yang dihasilkan sebesar 200.07 W, dengan tegangan 12.02 dan arus sebesar 16.69. Intensitas cahaya 800 W/m², daya keluaran yang dihasilkan sebesar 160.22 W, dengan tegangan 10.69 V dan arus sebesar 14.85 A. Dan pada pengujian dengan menggunakan intensitas cahaya 500 W/m², daya keluaran yang dihasilkan yaitu 99.60 W dengan tegangan dan arus sebesar 8.33 V dan 11.57 A.
- Zeta converter dengan menggunakan system MPPT IC lebih baik dikarenakan dapat mentracking daya yang maksimum, dibandingkan dengan rangkaian photovoltik tanpa system MPPT IC.

REFERENSI

- [1] Babu, P.R., Prasath, S.R., Kiruthika, R. 2015. Simulation and performance analysis of CCM Zeta Konverter with PID

- Controller. International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies [ICCPCT-2015]. pp.1-7. Dewi, Arif, Hanif, Lubis, (2015), "Regulator AC 1 fhasa Gelombang Penuh Terkendali" Padang, Uiversitas Negeri Padang.
- [2] Diputra, wibeng. (2008) Simulator Algoritma Pendeteksi Kerusakan Modul Surya Pada Rangkaian Modul Surya. Tugas Akhir, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, Syahril, D., (2004), "Perancangan automatic voltage regulator", Bandung, Institut Teknologi Nasional
- [3] Huda, A. (2015), Desain Dan Simulasi Maximum Power Point Tracking Menggunakan Adaptive Neuro Fuzzy Inference System Pada Sistem Photovoltaic Dengan Cuk Converter Terhubung Grid Tiga Fasa, Tesis, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- [4] Shiau, Jaw – Kuen, Wei, Yu – Chen dan Lee, Min – Yi. 2015. Fuzzy Controller for a Voltage-Regulated Solar Powered MPPT System for Hybrid Power System Applications. *Energies*. 8: 3292-3312. ISSN 1996-1073.
- [5] Markvart, T. and Castañer, L. (2005) 'Solar Cells', *JURNAL TEKNOLOGI TECHNOSCIENTIA*, 7(2), pp. 157–163. doi: 10.1016/B978-1-85617-457- 2.X5000-8.R.E. Sorace, V.S. Reinhardt, dan S.A. Vaughn, "High-speed Digital-to-RF Converter," U.S. Patent 5 668 842, 16 Sep. 1997.
- [6] Winarno, I. and Natasari, L. (2017) 'Maximum Power Point Tracker (MPPT) Berdasarkan Metode Perturb and Observe Dengan Sistem Tracking Panel Surya Single Axis', *Umj*, (November), pp. 1–9.
- [7] Huda, A., & Siraju, W. (2021). Desain Simulasi Maksimum Power Point Tracking Metode P&O Pada Panel Surya Di Azzahra Hidroponik Juata Tarakan. *Elektrika Borneo*, 7(1), 5-10.