

ANALISIS PERBANDINGAN KONVERTER CUK, SEPIC, ZETA PADA SISTEM SOLAR PANEL DENGAN MPPT INCREMENTAL CONDUCTANCE

Jendra Sesoca, Brahma Ratih Rahayu F, Bayu Firmanto

Abstrak: Penerapan panel surya sebagai sumber energi terbarukan membutuhkan efisiensi yang tinggi untuk memaksimalkan daya keluaran. Salah satu metode untuk meningkatkan efisiensi adalah dengan menggunakan Maximum Power Point Tracking (MPPT) berbasis algoritma Incremental Conductance (IC). Dalam sistem ini, pemilihan jenis konverter daya yang tepat sangat penting untuk mencapai performa optimal. Penelitian ini membahas perbandingan performa tiga jenis konverter DC-DC, yaitu Cuk, Sepic, dan Zeta, yang diimplementasikan pada sistem panel surya dengan MPPT IC. Analisis dilakukan berdasarkan parameter efisiensi daya pada perubahan iradiasi, dan kompleksitas implementasi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa masing-masing konverter memiliki keunggulan spesifik, dengan konverter Zeta unggul dalam efisiensi daya, dan konverter Cuk lebih sederhana dalam desain dan implementasi. Studi ini memberikan wawasan penting bagi para peneliti dan praktisi untuk memilih konverter yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi energi terbarukan berbasis panel surya.

Kata kunci: Panel surya, MPPT Incremental Conductance, konverter Cuk, Sepic, Zeta, efisiensi daya

Abstract: The application of solar panels as a renewable energy source requires high efficiency to maximize output power. One method to increase efficiency is to use Maximum Power Point Tracking (MPPT) based on the Incremental Conductance (IC) algorithm. In this system, the selection of the right type of power converter is essential to achieve optimal performance. This study discusses the comparison of the performance of three types of DC-DC converters, namely Cuk, Sepic, and Zeta, which are implemented in solar panel systems with MPPT ICs. The analysis was carried out based on the parameters of power efficiency on irradiation changes, and the complexity of the implementation. The simulation results show that each converter has specific advantages, with the Zeta converter excelling in power efficiency, and the Cuk converter simpler in design and implementation. This study provides important insights for researchers and practitioners to choose converters that suit the needs of solar panel-based renewable energy applications.

Keywords: Solar panels, MPPT Incremental Conductance, Cuk converter, Sepic, Zeta, power efficiency

Energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang semakin banyak dimanfaatkan karena sifatnya yang ramah lingkungan dan ketersediaannya yang melimpah. Panel surya berperan penting dalam konversi energi matahari menjadi energi listrik. Namun, untuk memaksimalkan efisiensi sistem panel surya, diperlukan teknik Maximum Power Point Tracking (MPPT) yang dapat memastikan operasi panel surya pada titik daya maksimum di bawah berbagai kondisi pencahayaan dan suhu.

Salah satu algoritma MPPT yang umum digunakan adalah Incremental Conductance. Algoritma ini mampu mendeteksi perubahan daya maksimum secara akurat dengan menghitung hubungan antara perubahan arus dan tegangan pada panel surya serta memiliki fungsi dapat mencari dan menemukan titik daya maksimal yang baik meskipun terdapat perubahan kondisi pada panel surya. Perubahan kondisi dimaksud seperti perubahan kondisi lingkungan, iradiasi cahaya dan suhu yang masuk pada panel surya tersebut (Tekeshwar, 2014). Untuk mengimplementasikan algoritma

MPPT secara efektif, diperlukan konverter DC-DC yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi.

Konverter DC-DC memainkan peran penting dalam menyesuaikan tegangan keluaran panel surya dengan kebutuhan beban atau penyimpanan energi. Tiga jenis konverter yang sering dibandingkan untuk aplikasi MPPT adalah konverter Cuk, SEPIC (Single-Ended Primary-Inductor Converter), dan Zeta. Masing-masing konverter memiliki karakteristik unik, seperti kemampuan menaikkan atau menurunkan tegangan, efisiensi, dan stabilitas, yang memengaruhi kinerja keseluruhan sistem.

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan performa konverter Cuk, SEPIC, dan Zeta dalam sistem panel surya dengan algoritma MPPT Incremental Conductance. Analisis dilakukan untuk mengevaluasi efisiensi, stabilitas, dan kemampuan masing-masing konverter dalam menjaga titik daya maksimum di bawah berbagai kondisi operasi. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang kelebihan dan kekurangan masing-masing konverter, diharapkan dapat memberikan rekomendasi bagi pengembangan sistem energi surya yang lebih efisien dan andal.

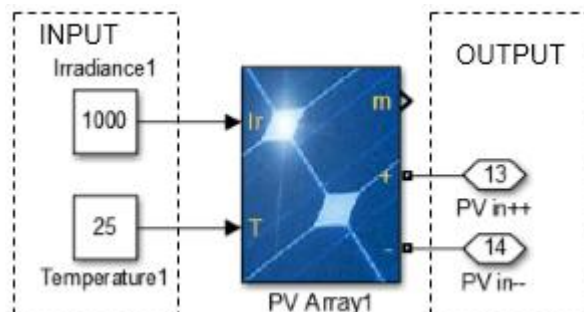
METODE

Pada penelitian ini menggunakan panel surya DEKADE 50wp Mono. Panel tersebut memiliki daya maksimal yang dapat dihasilkan sebesar 50 Watt. Pada Tabel 1 berikut merupakan data dari panel surya yang digunakan:

Tabel 1. Data Panel Surya Dekade 50wp Mono

Parameter	Spesifikasi
Rated Maximum Power (P _m)	50 W
Tolerance	± 3%
Voltage at P _{max} (V _{MP})	17,5 V
Current at P _{max} (I _{MP})	2,86 A
Open-Circuit Voltage (V _{OC})	21 V
Short-Circuit Current (I _{SC})	3,09 A
Application Class	Class A
Cell Technology	Mono-si

Panel surya terdapat bagian *input* dan *output*. *Input* panel surya berupa jumlah sinar yang masuk dan suhu, sedangkan *output* panel surya berupa tegangan searah (DC). Pada gambar 1 merupakan gambar panel surya, *Output* panel surya merupakan tegangan searah (DC).



Gambar 1. Panel Surya

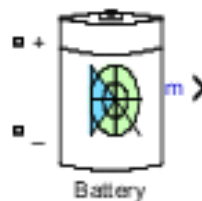
Sumber : Perancangan

Pada model aki yang digunakan adalah VRLA12V7AH Zeus yang memiliki spesifikasi yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Aki VRLA12V7AH Zeus

Keterangan	Nilai
Kapasitas	7 Ah
Tegangan	12 V
Cycle Use	14,40–14,80 V (25°C)
Standby Use	13,50–13,80 V (25°C)
Initial Current	Less Than 2,10 A

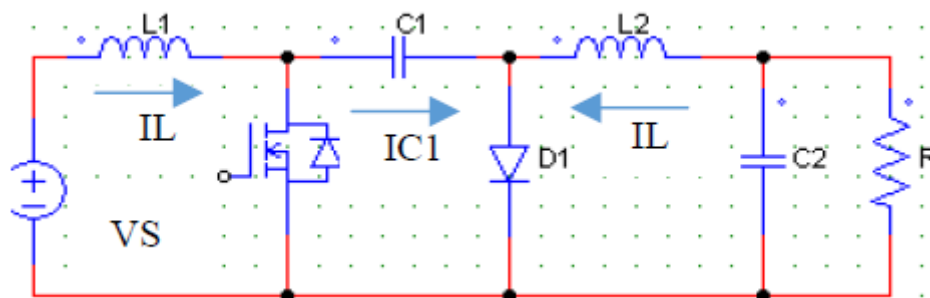
Pada baterai menggunakan baterai DC yang memiliki dua kutub tegangan yaitu kutub positif dan negatif. Pada Gambar 2 berikut merupakan gambar baterai.



Gambar 2. Baterai
Sumber: Perancangan

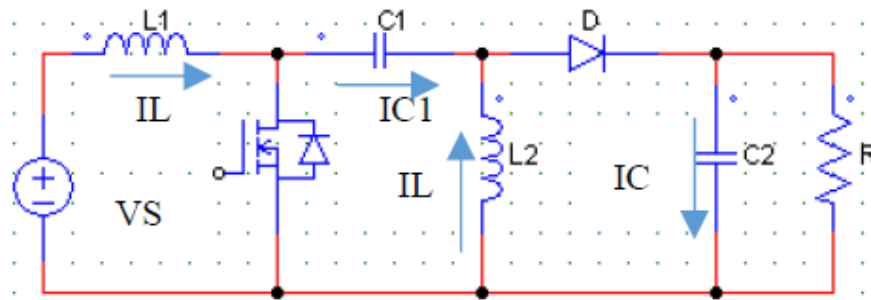
MOSFET yang digunakan adalah tipe IRF540. MOSFET tipe ini memiliki nilai arus *drain* (I_D) = 28 A dan Tegangan drain-source (V_{DS}) = 100 V.

Konverter *Cuk* adalah konverter yang dapat menaikkan atau menurunkan tegangan *input* DC dengan polaritas output tegangan terbalik atau berlawanan dari tegangan input. Bagian-bagian konverter *Cuk* terdiri atas tegangan *input*, induktor, kapasitor, pembangkit sinyal PWM, MOSFET, dan dioda seperti pada gambar 3.

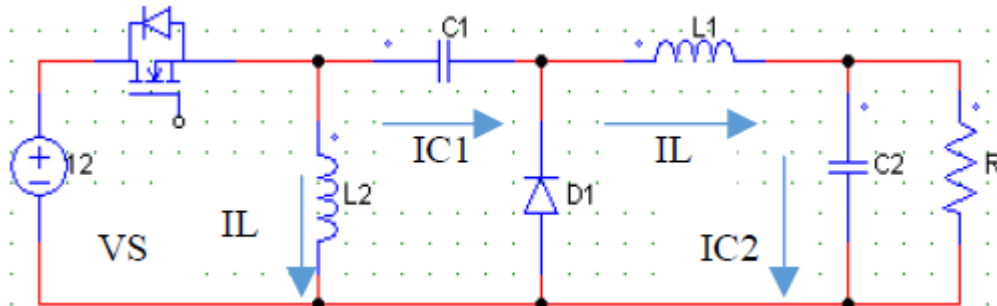


Gambar 3. Rangkaian Konverter Cuk
Sumber: Soedibyo, 2015

Konverter Sepic adalah konverter perbaikan kelemahan dari konverter Buck Boost dan konverter Cuk seperti pada gambar 4. Konverter Sepic dapat menurunkan atau menaikkan tegangan output dari tegangan input. Konverter Sepic juga menghasilkan efisiensi yang tinggi.

**Gambar 4.** Rangkaian Konverter Sepic**Sumber:** Soedibyo, 2015

Konverter *Zeta* adalah konverter yang dapat menaikkan atau menurunkan tegangan *input* DC dengan nilai tertentu seperti pada Gambar 5. *Output* konverter *Zeta* berupa tegangan DC. Bagian-bagian konverter *Zeta* terdiri atas tegangan *input*, induktor, kapasitor, pembangkit sinyal PWM, MOSFET, dan dioda.

**Gambar 5.** Rangkaian Konverter *Zeta***Sumber:** Soedibyo, 2015

Perhitungan nilai induktor terlebih dahulu diperlukan untuk menentukan nilai *duty cycle* dan nilai *ripple* arus yang akan dibuat. Nilai *duty cycle* dapat diperoleh menggunakan Persamaan (1), dengan menentukan nilai tegangan *input* dan tegangan *output* terlebih dahulu.

$$D = \frac{V_o}{V_{in} + V_o} \quad (1)$$

Langkah selanjutnya yaitu menghitung nilai *ripple* arus. *Ripple* arus dibuat 1% dari arus *output* sebesar 4,2A. Nilai *ripple* arus dapat dihitung sebagai berikut:

$$\Delta I_L = I_i \times 0,01 = 4,2 \times 0,01 = 0,042 \text{ A} = 42 \text{ mA} \quad (2)$$

Nilai induktor dapat diperoleh dengan menentukan nilai frekuensi yang akan digunakan. Nilai frekuensi ditetapkan sebesar 25 kHz, sehingga dapat memperoleh nilai dari induktor L_1 dan L_2 dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$L_1 = L_2 = L \geq \left(\frac{V_{IN} D}{\Delta I_L \times f_{sw}} \right) \quad (3)$$

$$L \geq \left(\frac{18 \times 0,4}{0,042 \times 25000} \right) = 0,00684 \text{ H}$$

Nilai kapasitor C_1 dan C_2 pada konverter Cuk diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$C_1 \geq \frac{V_o \times D}{f \times \Delta V_C \times R} \quad (4)$$

$$C_2 \geq \frac{1-D}{f^2 \times \left(\frac{\Delta V_o}{V_o}\right) \times 8L_2} \quad (5)$$

Nilai kapasitor C_1 dan C_2 pada konverter Sepic diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$C_1 \geq \frac{D}{f \times \left(\frac{\Delta V_C}{V_o}\right) \times R} \quad (6)$$

$$C_2 \geq \frac{D}{f \times \left(\frac{\Delta V_o}{V_o}\right) \times R} \quad (7)$$

Nilai kapasitor C_1 dan C_2 pada konverter Zeta diperoleh dari persamaan sebagai berikut:

$$C_1 \geq \frac{D}{\Delta I_L \times V_{in} \times f_{sw}} \quad (8)$$

$$C_2 \geq \frac{D}{8 \times \Delta V_{C2} \times f_{sw}} \quad (9)$$

Setelah mendapatkan nilai diatas panel surya dihubungkan pada konverter Cuk, Sepic dan Zeta serta blok sistem MPPT *Incremental Conductance*. Sistem MPPT *Incremental Conductance* akan mencari titik daya maksimum sesuai dengan *input* yang diberikan. Selanjutnya, blok *Incremental Conductance* akan terhubung pada pembangkit sinyal PWM, kemudian PWM tersebut akan terhubung pada konverter sebagai pensaklaran konverter tersebut. *Output* dari konverter yaitu berupa tegangan dan arus yang dihasilkan panel surya.

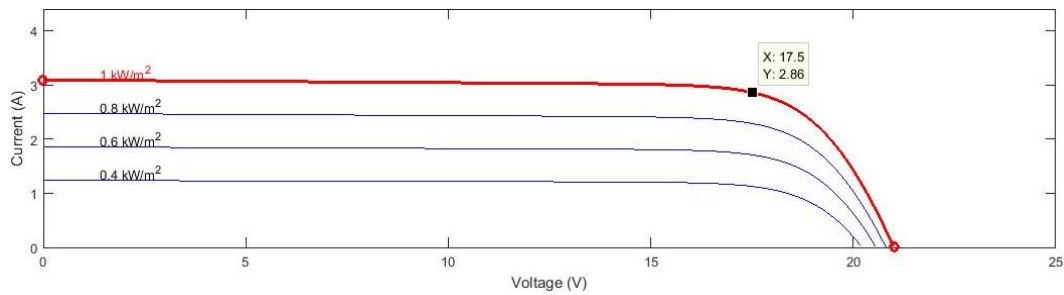
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pengujian ini didapatkan karakteristik tegangan dan arus yang dihasilkan oleh panel surya. Pengujian ini diberikan *input* pada panel surya berupa variasi nilai iradiasi dan suhu yang tetap. Nilai iradiasi yang diberikan yaitu sebesar 400 W/m², 600 W/m², 800 W/m² dan 1000 W/m² dengan suhu permukaan 25 °C. Hubungan arus, tegangan dan daya terjadi pada setiap pengujian nilai iradiasi dan suhu yang berbeda. Pada Tabel 3. merupakan hasil pengujian tersebut. Tabel 3. Hasil Pengujian Panel Surya dengan Suhu Permukaan 25 °C

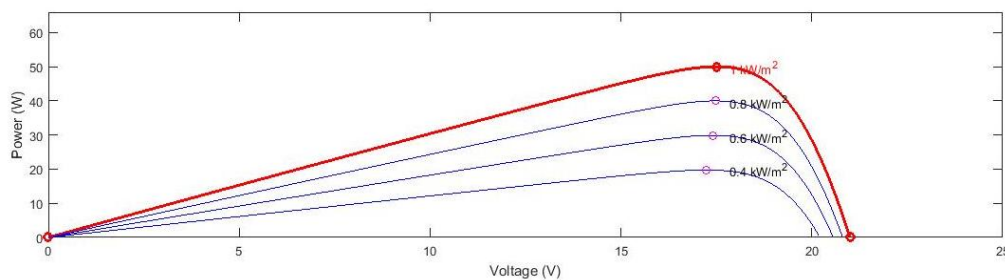
Tabel 3. Hasil Pengujian Panel Surya dengan Suhu Permukaan 25 °C

Suhu Permukaan (°C)	Iradiasi (W/m2)	PMAX	Suhu Permukaan (°C)	Iradiasi (W/m2)
25	1000	50	17,5	2,86
	800	40,02	17,47	2,29
	600	29,91	17,4	1,71
	400	19,76	17,24	1,14

Pada Gambar 6 dan Gambar 7 menunjukkan kurva hubungan arus, tegangan dan daya karakteristik panel surya pengujian dengan suhu permukaan 25°C.



Gambar 6. Karakteristik I-V Panel Surya dengan Suhu Permukaan 25°C



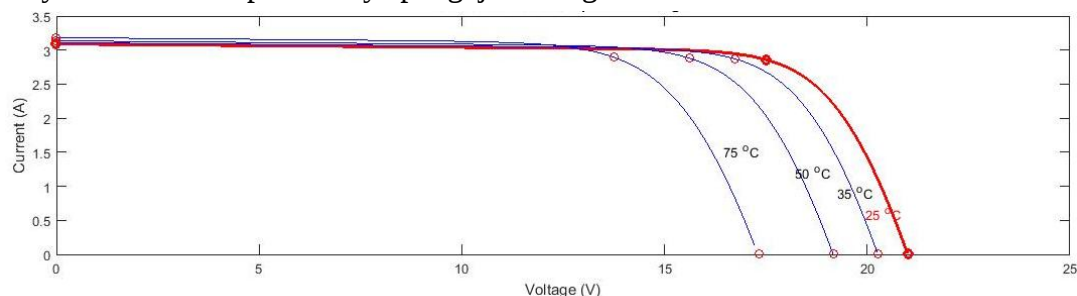
Gambar 7. Karakteristik P-V Panel Surya dengan Suhu 25°C

Pengujian selanjutnya yaitu diberikan *input* pada panel surya berupa variasi nilai suhu permukaan dan nilai iradiasi yang tetap. Nilai suhu permukaan yang diberikan yaitu sebesar 25°C, 35°C, 50°C dan 75°C dengan iradiasi 1000 W/m². Hubungan arus, tegangan dan daya terjadi pada setiap pengujian nilai iradiasi dan suhu permukaan yang berbeda. Tabel 4. adalah hasil pengujian panel surya dengan iradiasi 1000 W/m² dengan suhu permukaan yang dirubah.

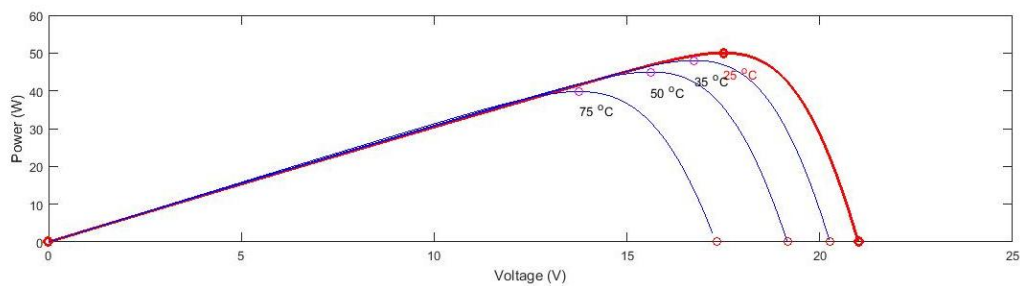
Tabel 4. Hasil Pengujian Panel Surya dengan Iradiasi Permukaan 1000 W/m²

Iradiasi (W/m ²)	Suhu Permukaan (°C)	P _{MAX} (watt)	V _{MPP} (volt)	I _{MPP} (ampere)
1000	25	50	17,5	2,86
	35	48,05	16,74	2,869
	50	44,99	15,61	2,883
	75	39,8	13,76	2,893

Pada Gambar 8 dan Gambar 9 menunjukkan kurva hubungan arus, tegangan dan daya karakteristik panel surya pengujian dengan nilai iradiasi 1000 W/m².



Gambar 8. Karakteristik I-V Panel Surya dengan Iradiasi 1000 W/m²



Gambar 9. Karakteristik P-V Panel Surya dengan Iradiasi 1000 W/m^2

Pengujian ini bertujuan untuk membandingkan dan membuktikan MPPT *Incremental Conductance* pada konverter Zeta yang telah diteliti pada penelitian ini memiliki kelebihan dibandingkan dengan konverter lainnya. Pada pengujian ini membandingkan hasil rancangan sistem konverter Zeta, konverter Sepic dan konverter Cuk yang terhubung panel surya menggunakan MPPT *Incremental Conductance*.

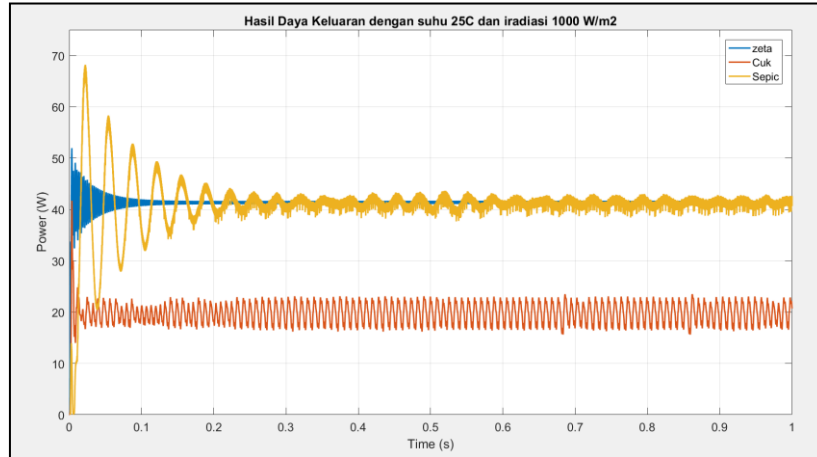
Pada pengujian ini diberikan *input* iradiasi dan nilai suhu permukaan yang konstan. Nilai *input* iradiasi yang diberikan yaitu sebesar 600 W/m^2 , 800 W/m^2 dan 1000 W/m^2 dengan suhu permukaan 25°C , 30°C dan 35°C . Tabel 5. merupakan data hasil pengujian perbandingan konverter Zeta, konverter Sepic, dan konverter Cuk.

Tabel 5. Perbandingan Nilai Daya Pada Konverter Zeta, Konverter Cuk dan Konverter Sepic dengan menggunakan MPPT *Incremental Conductance*

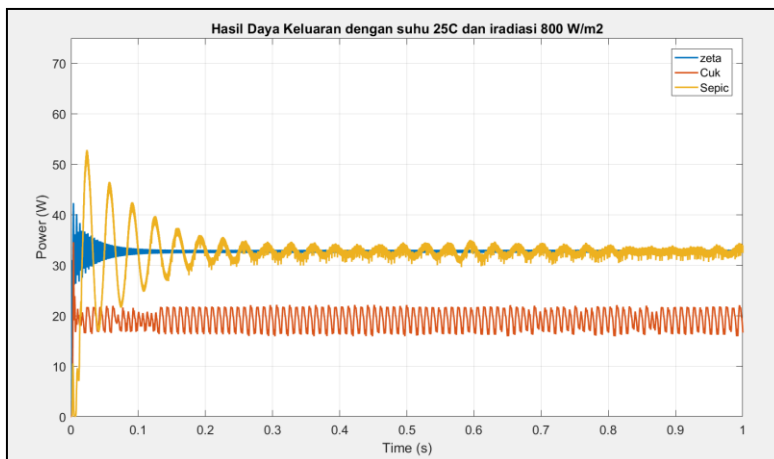
Suhu Permukaan ($^\circ\text{C}$)	Iradiasi W/m^2	Konverter Zeta			Konverter Cuk			Konverter Sepic		
		Pin (watt)	Pout (watt)	η (%)	Pin (watt)	Pout (watt)	η (%)	Pin (watt)	Pout (watt)	η (%)
25	1000	45.87	41.29	90.01	21.82	19.75	90.51	45.30	40.64	89.71
	800	36.12	32.68	90.47	21.28	19.26	90.50	35.75	32.18	90.01
	600	26.64	24.40	90.84	20.37	18.43	90.47	26.40	23.79	90.11
30	1000	45.89	41.31	90.01	21.05	19.04	90.45	45.23	40.57	89.69
	800	36.16	32.72	90.48	20.54	18.59	90.50	35.72	32.15	90.00
	600	26.68	24.24	90.85	19.62	17.74	90.41	26.40	23.79	90.11
35	1000	45.83	41.26	90.02	20.28	18.34	90.43	45.06	40.41	89.68
	800	36.15	32.72	90.51	19.80	17.90	90.40	35.63	32.07	90.00
	600	26.69	24.25	90.85	18.91	17.09	90.37	26.36	23.75	90.09
Rata-rata		36.22	32.76	90.45	20.40	18.46	90.44	35.76	32.15	89.93

Berdasarkan pengujian diatas menunjukkan bahwa hasil rata-rata daya dan hasil rata-rata efisiensi daya yang dihasilkan pada konverter Zeta menghasilkan daya yang lebih baik daripada konverter Cuk dan konverter Sepic. Pada konverter Zeta titik daya input dan output tertinggi berada pada suhu 30°C dengan iradiasi 1000 W/m^2 . Pada konverter Cuk dan Sepic daya input dan output tertinggi berada pada suhu 25°C dengan iradiasi 1000 W/m^2 . Pada konverter Cuk menghasilkan daya terendah dibandingkan konverter Zeta dan Sepic akan tetapi efesien daya yang dihasilkan sangat bagus dan hampir menyamai nilai efisiensi pada konverter Zeta dan juga perbedaan daya yang dihasilkan dari tiap perubahan suhu dan iradiasi tidak terlalu signifikan dibandingkan

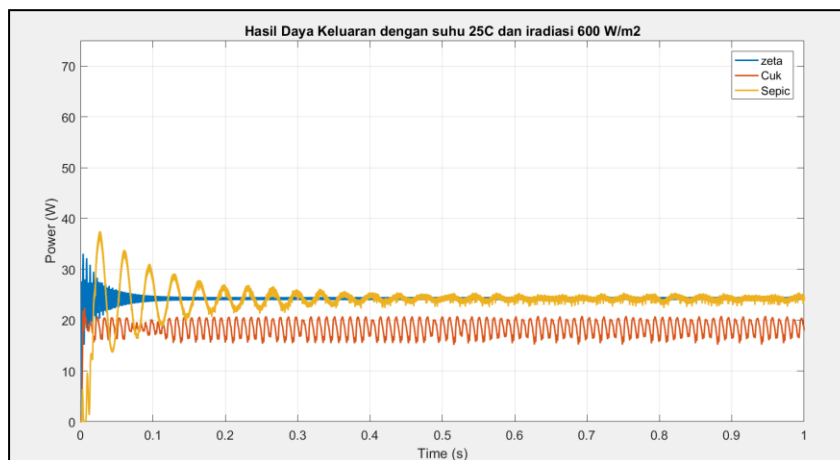
dari konverter Zeta dan Sepic. Gambar 10. hingga Gambar 12 menunjukkan perbandingan daya yang dihasilkan konverter Zeta, Cuk dan Sepic menggunakan MPPT *Incremental Conductance* dengan *input* berupa suhu 25°C dan iradiasi 600 - 1000 W/m^2 .



Gambar 10. Daya Keluaran pada Iradiasi $1000\text{W}/\text{m}^2$ dengan Suhu 25°C

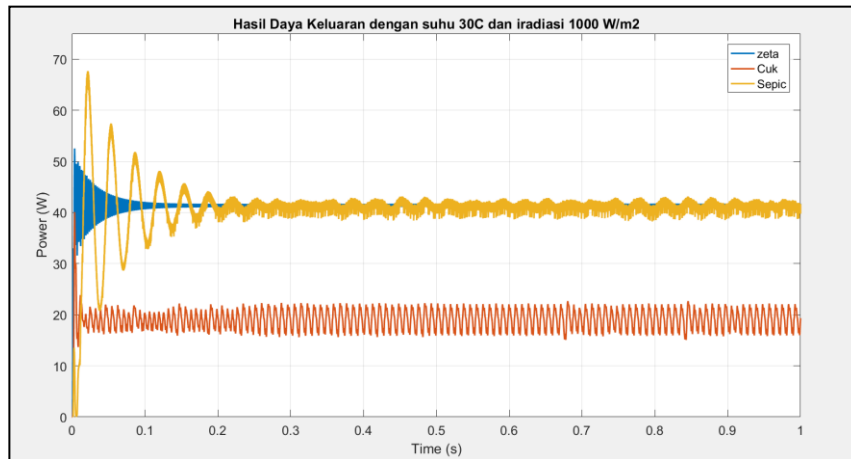


Gambar 11. Daya Keluaran pada Iradiasi $800\text{W}/\text{m}^2$ dengan Suhu 25°C

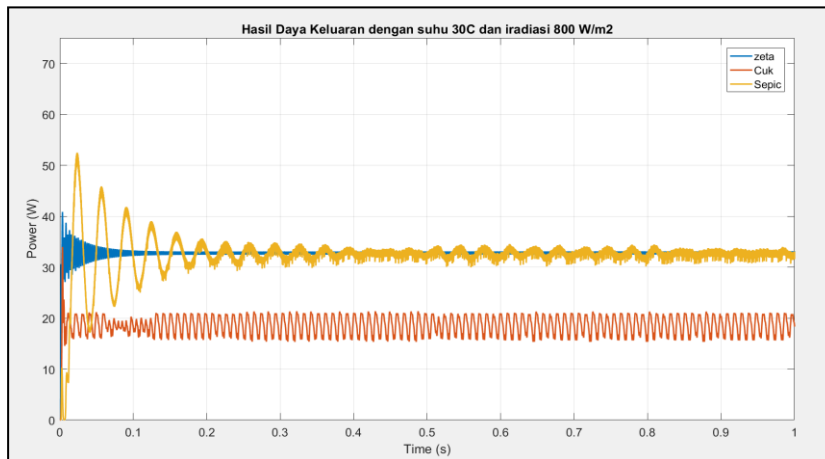


Gambar 12. Daya Keluaran pada Iradiasi $600\text{W}/\text{m}^2$ dengan Suhu 25°C

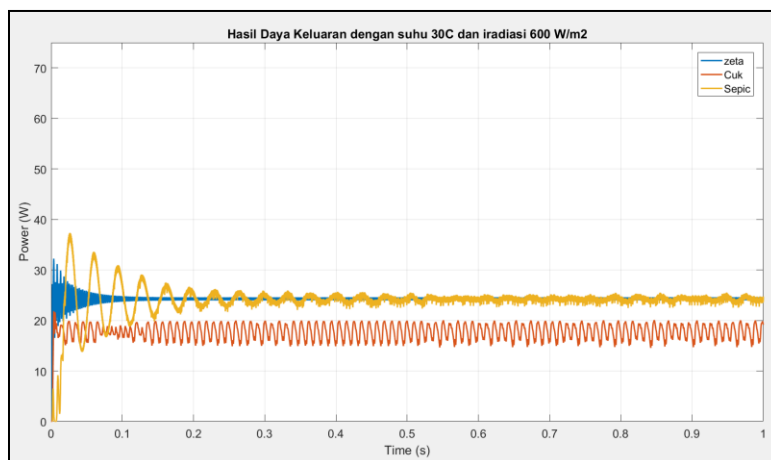
Pada Gambar 13 hingga Gambar 15 menunjukkan perbandingan daya yang dihasilkan konverter Zeta, Cuk dan Sepic menggunakan MPPT *Incremental Conductance* dengan input berupa suhu 30°C dan iradiasi $600\text{-}1000\text{ W/m}^2$.



Gambar 13. Daya Keluaran pada Iradiasi 1000W/m^2 dengan Suhu 30°C

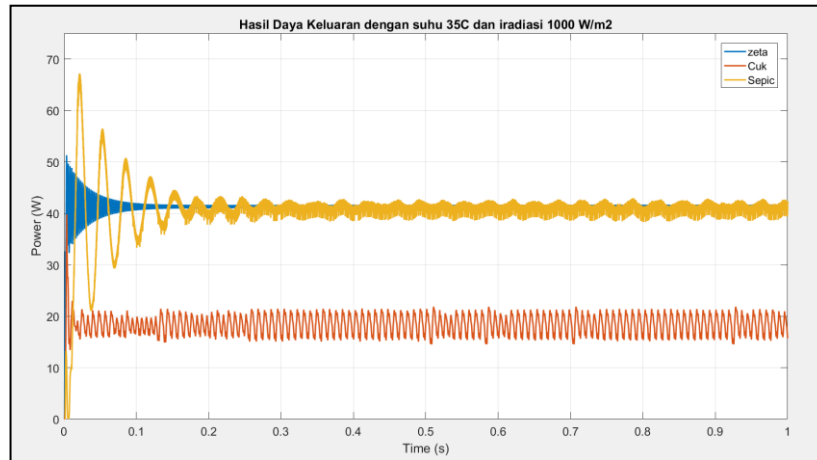


Gambar 14. Daya Keluaran pada Iradiasi 800W/m^2 dengan Suhu 30°C

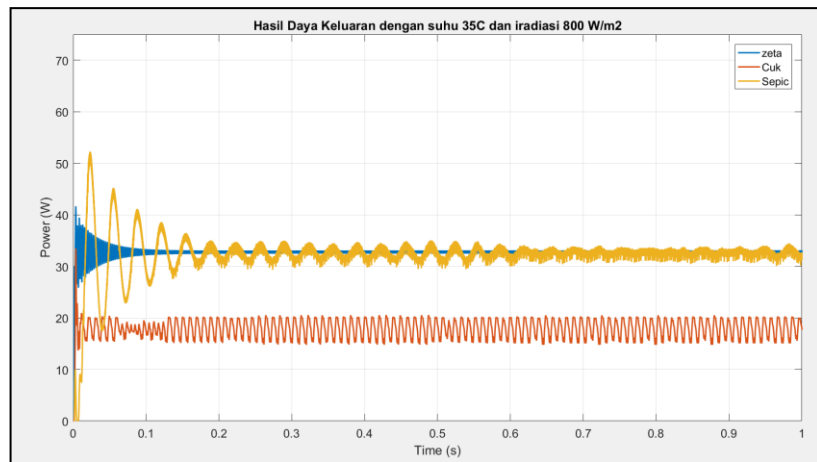


Gambar 15. Daya Keluaran pada Iradiasi 600W/m^2 dengan Suhu 30°C

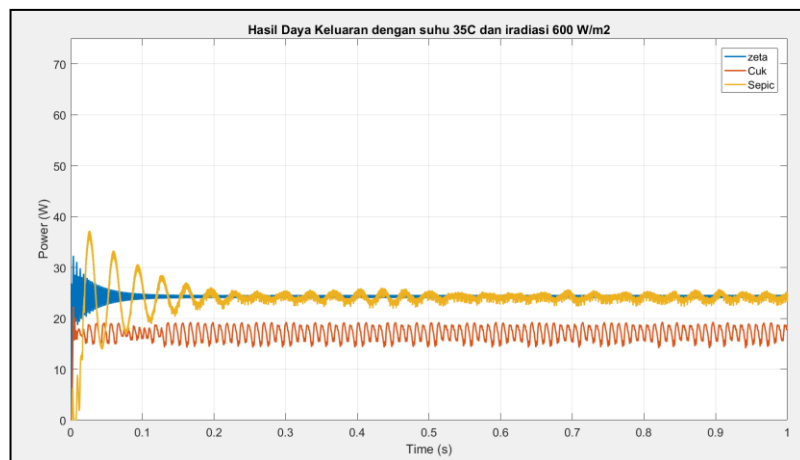
Pada Gambar 16 hingga Gambar 18 menunjukkan perbandingan daya yang dihasilkan konverter Zeta, Cuk dan Sepic menggunakan MPPT *Incremental Conductance* dengan *input* berupa suhu 35 °C dan iradiasi 600-1000 W/m².



Gambar 16. Daya Keluaran pada Iradiasi 1000W/m² dengan Suhu 35°C



Gambar 17. Daya Keluaran pada Iradiasi 800W/m² dengan Suhu 35°C



Gambar 18. Daya Keluaran pada Iradiasi 600W/m² dengan Suhu 35°C

Pada pengujian di atas menunjukkan bahwa terdapat osilasi yang dihasilkan pada setiap konverter. Osilasi ini diakibatkan karena pengaruh tegangan atau arus. Pada saat pengujian berlangsung, MPPT berupaya untuk memperoleh kondisi *Maximum Power Point* (MPP) atau titik daya maksimum panel surya. Upaya MPPT tersebut dipengaruhi oleh metode pada MPPT Incremental Conductance sendiri yang mana daya saat ini dikurangi dengan daya sebelumnya hingga kondisi $\frac{dP}{dV} = 0$ dapat terpenuhi.

KESIMPULAN

Pada penelitian ini dapat disimpulkan hasil rata-rata daya dan hasil rata-rata efisiensi daya yang dihasilkan pada konverter Zeta menghasilkan daya yang lebih baik daripada konverter Cuk dan konverter Sepic. Rata-rata efisiensi daya yang dihasilkan konverter Zeta sebesar 90,45%, konverter Cuk sebesar 90,44 % dan konverter Sepic sebesar 89.93 %. Saran yang dapat dikembangkan agar dapat menyempurnakan penelitian ini adalah: MPPT *Incremental Conductance* dapat dikembangkan untuk mengurangi osilasi yang dihasilkan untuk mencapai titik daya yang lebih baik serta konverter DC-DC dapat dikembangkan dengan menggunakan jenis konverter lain yang memiliki efisiensi daya yang lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Tekeshwar, P.S., Dixit, T.V. 2014. Modelling and Analysis of Perturb and Observe and Incremental Conductance MPPT Algorithm for PV Array Using Cuk Converter. IEEE.
- Soedibyo, Budi Amri, Mochamad Ashari. 2015. The Comparative Study of Buck Boost, Cuk, Sepic and Zeta Converter for Maximum Power Point Tracking Photovoltaic Using P&O Method. Int. Conference on Information Technology, Computer and Electrical Engineering.
- N. Karthick, I.Manoj, and K.V.Kandasamy, 2015. Performance Characteristic of Various DC-DC Converter for Efficient Solar Energy Conversion for Automobile Applications. Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences.
- Niranjana Siddharthan, Baskaran Balasubramanian, 2019. Performance Evaluation of Sepic, Luo and Zeta Converter. International Journal of Power Electronics and Drive System.
- Prasanth N.A., Anirudha K.S., B.Manjunath. 2020. Comparative Study of Buck Boost, Zeta and Sepic DC-DC Converters for Maximum Power Point Tracking Application in PV System. Journal of Emerging Technologies and Innovative Research.
- Nema, S., Nema, R.K., Agnihotri, G. 2010. Matlab Simulink based Study of Photovoltaic Cells Modules Array and Their Experimental Verification. International Journal of Energy and Environment (IJEE), Vol 1, Issue 3, pp.487-500.
- N. Sowmya Smitha Raj & B. Urmila, 2013. Zeta Converter Simulation For Continuous Current Mode Operation. International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology (IJARET), Volume 10, Issue 1.
- Bharti, M., Kumar, U. 2017. Virtualization and Simulation of Incremental Conductance MPPT Based Two Phase Interleaved Boost Converter using Simulink in MATLAB. International Journal for Technological Research in Engineering (IJTRE), Volume 4, Issue 9.

-
- Hidayat, R., Arief. 2019. Rancang Bangun Sistem MPPT Incremental Conductance Berbasis Kontroler PID pada Konverter Sepic yang terhubung Panel Surya.
- Dunia, J., Mwinyiwiwa, B.M.M. (2013). *Performance Comparasion Between Cuk and Sepic Converter for Maximum Power Point Tracking Using Incremental Conductance Technique in Solar Power Application*. IJSCSE, Vol 7, No.12.
- Meliala, Selamat. (2016). Analisa Tegangan Keluaran DC Step-Up Cuk Konverter Menggunakan Fuzzy Logic Kontroler. *Journal of Electrical Technology*, Vol.1 No.1.
- Nelly Safitri, Teuku Rihayat, 2019. Buku Teknologi Photovoltaic. Yayasan Puga Aceh Riset.