

Konverter berbasis SEPIC pada modul photovoltaik yang terintegrasi dengan inverter 1 fasa

Donny Radianto¹, Herwandi², Yulianto³

e-mail: donny.radianto@polinema.ac.id, Herwandi@polinema.ac.id, Yulianto@polinema.ac.id

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diterima 15 September 2021

Direvisi 16 Oktober 2021

Diterbitkan 29 Oktober 2021

Kata kunci:

Kata kunci ke-1

Kata kunci ke-2

Kata kunci ke-3

ABSTRAK

Sistem pembangkit listrik saat ini telah menarik banyak perhatian baik dari kalangan akademik maupun industri. Hal ini disebabkan karena keuntungan yang ditawarkan, antara lain bersih, dapat merubah menjadi listrik secara langsung, dan tidak menyebabkan polusi. Namun, karena masih adanya ketergantungan terhadap kondisi iklim, demikian seperti irradiant maupun suhu, maka daya dari modul photovoltaik ini perlu dimaksimalkan. Terkait dengan hal ini, paper ini menghadirkan suatu metode untuk melacak daya maksimum dari modul photovoltaik berbasis pada metode *perturbation observer* yang dimodifikasi. Metode pelacakan ini dibuat untuk menghasilkan modulasi lebar pulsa dengan frekuensi 62.5 KHz yang berfungsi untuk mengatur konverter berbasis *SEPIC* dengan menerima tegangan masukan dari modul *PV* serta menghasilkan tegangan keluaran yang dapat digunakan untuk mengisi baterai (*accu*) yang dapat diintegrasikan untuk menghasilkan tegangan AC melalui inverter. Penggunaan *SEPIC* sebagai pengkondisi sinyal ini karena memiliki keuntungan dimana tegangan keluaran yang dihasilkan tidak dibalik, seperti pada rangkaian konverter buck – boost. Selanjutnya, pemanfaatan metode *perturbation observer* yang telah dimodifikasi dan diintegrasikan dengan konverter *SEPIC* menunjukkan kinerja yang memuaskan. Selain itu, sistem yang diajukan hanya memanfaatkan sensor tunggal sebagai masukan dari controller.

ABSTRACT

The current power generation system has attracted a lot of attention from both academia and industry. This is due to the advantages offered, including being clean, being able to convert into electricity directly, and not causing pollution. However, because there is still dependence on climatic conditions, such as irradiant and temperature, the power from this photovoltaic module needs to be maximized. Related to this, this paper presents a method to track the maximum power of a photovoltaic module based on a modified perturbation observer method. This tracking method is made to produce pulse width modulation with a frequency of 62.5 KHz which functions to regulate the SEPIC-based converter by receiving input voltage from the PV module and producing an output voltage that can be used to charge the battery (accu) which can be integrated to produce AC voltage through the inverter. The use of SEPIC as a signal conditioner has the advantage that the resulting output voltage is not reversed, as in the buck-boost converter circuit. Furthermore, the use of the modified perturbation observer method integrated with the SEPIC converter showed satisfactory performance. In addition, the proposed system only utilizes a single sensor as input from the controller

Keywords:

Photovoltaik

Perturbation Observer

SEPIC

Penulis Korespondensi:

Donny Radianto,
Jurusan Teknik Elektro,
Politeknik Negeri Malang,
Jl. Soekarno - Hatta No. 9, Malang, Jawa Timur, Indonesia.
Email: donny.radianto@polinema.ac.id

1. PENDAHULUAN

Saat ini, energi terbarukan khususnya yang terkait dengan pemanfaatan energi matahari telah menjadi perhatian yang cukup menarik untuk terus dikembangkan. Hal ini terkait dengan beberapa keuntungan yang ditawarkan oleh energi matahari demikian seperti tidak menyebabkan polusi udara, melimpah, serta bebas untuk digunakan[1][2][3]. Selain itu, energi yang berasal dari matahari juga dapat dimanfaatkan untuk mendukung sistem pengisian baterai dengan memanfaatkan konverter DC-DC untuk mendukung teknologi jaringan sensor tanpa kabel (*Wireless Sensor Networks*) [4]. Berbagai teknologi juga telah dikembangkan untuk memanfaatkan energi matahari demikian seperti teknologi photovoltaik. Teknologi ini memanfaatkan energi matahari untuk dirubah menjadi listrik secara langsung [5][6]. Perubahan dari energi matahari menjadi energi listrik ini ialah dengan memanfaatkan efek photovoltaik. Teknologi Photovoltaik ini dapat dirupakan dalam bentuk photovoltaik modul. Untuk mendapatkan tegangan maupun arus listrik yang besar, maka photovoltaik modul ini dapat disusun secara seri, paralel, maupun seri dan paralel. Sehingga kebutuhan biaya akan photovoltaik modul ini besar saat digunakan untuk mendapatkan daya listrik yang besar. Disisi lain, teknologi yang terkait dengan photovoltaik modul ini masih tergantung pada kondisi iklim, demikian seperti iradian maupun suhu. Selain itu, efisiensi dari Photovoltaik modul ini masih rendah sekitar 15 % - 22 % [7]. Dengan demikian, maka teknologi yang terkait dengan Photovoltaik ini sebaiknya dimanfaatkan semaksimal mungkin. Hal ini juga terkait dengan efisiensi dari photovoltaik modul yang masih rendah. Berbagai upaya telah dilakukan baik melalui konfigurasi instalasi photovoltaik itu sendiri antara lain dengan melalui penggunaan konverter, maupun teknologi yang digunakan untuk memaksimalkan daya dari photovoltaik modul. Beberapa teknologi yang terkait dengan upaya untuk memaksimalkan daya keluaran dari photovoltaik modul antara lain *open circuit voltage* [8][9][10], *short circuit current*. Kedua method ini memiliki konfigurasi yang cukup sederhana dan handal untuk diterapkan pada photovoltaik modul, terutama tidak ada perubahan pada kondisi iklim. Namun, saat ada perubahan iklim demikian seperti irradian dan temperatur, maka kedua metode tersebut memiliki kelemahan. Terkait hal tersebut, metode *perturbation observer* (PO) dapat digunakan sebagai pilihan alternatif untuk memperbaiki performansi kerja dari metode *open circuit voltage* dan *short circuit current*. Metode PO ini sederhana, mudah untuk diimplementasikan pada controller. Selain itu, metode ini memiliki kehandalan yang lebih bagus dibandingkan dengan metode sebelumnya[11][12][13]. Lagi pula, metode ini sudah memiliki sifat dinamis dan sederhana. Selanjutnya, metode PO ini tidak memanfaatkan sensor iradian, akan tetapi menggunakan sensor arus maupun sensor tegangan. Metode PO ini juga dapat diterapkan untuk melacak kondisi maksimum dari modul photovoltaik dan diintegrasikan dengan konverter penaik tegangan (*boost converter*), konverter penurunan tegangan (*buck converter*), maupun metode penaik dan penurunan tegangan (*buck – boost converter*). Namun, metode PO ini masih memanfaatkan dua sensor, yaitu sensor arus dan sensor tegangan. Selain itu, metode PO ini masih menggunakan *fixed step* yang tidak bisa secara dinamis melacak kondisi daya maksimum [14]. Disini, metode PO yang diajukan hanya memanfaatkan sensor tunggal yang dikombinasikan dengan *single - ended primary inductor converter* (SEPIC) untuk membangun suatu sistem pelacak daya maksimum dari modul photovoltaik. Selain itu, alasan dibalik penggunaan konverter SEPIC adalah sebagai rangkaian pengkondisi sinyal yang memiliki keluaran tidak membalik. Konverter SEPIC ini juga berfungsi untuk menyediakan tegangan konstan pada berbagai tegangan masukan[15], menyediakan arus ripple masukan yang rendah[16], serta menyediakan suatu efisiensi konversi yang tinggi[17]. Selanjutnya, metode yang diajukan ini juga telah dibuktikan berdasar pada hasil eksperimen. Hasil eksperimen yang diperoleh ini menunjukkan kinerja yang baik, seperti saat digunakan pada pengisian baterai aki (*accu*) maupun saat diintegrasikan untuk menghasilkan tegangan AC melalui inverter.

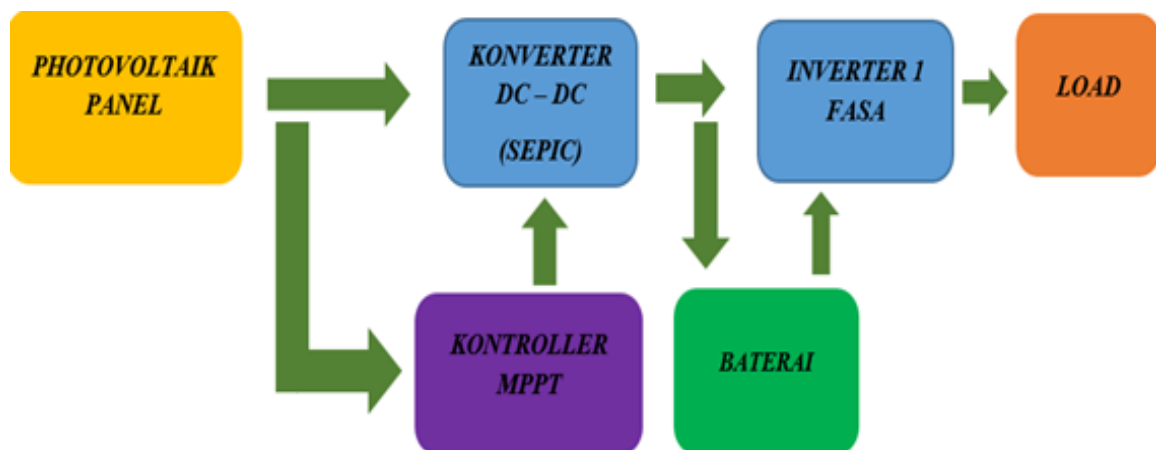
2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini beberapa tahapan yang digunakan untuk mendukung metode penelitian antara lain ialah ditunjukkan pada Gambar 1. Pada gambar ini, diagram blok menunjukkan mekanisme kerja dari perangkat yang dihasilkan. Adapun sasaran dari perangkat ini ialah bagaimana merancang dan membuat konverter DC – DC yang dapat menghasilkan tegangan yang stabil digunakan untuk mengisi baterai

keluaran di bagian konverter DC – DC berbasis *SEPIC* yang beroperasi seperti konverter penaik dan penurun tegangan (*buck boost converter*), namun memiliki keluaran yang tidak membalik.

2.1. Tahapan sistem yang dilakukan

Pada tahap ini, beberapa elemen yang dilakukan untuk dapat membangun suatu sistem pelacakan daya maksimum dari modul photovoltaik antara lain ialah melihat performansi dari modul photovoltaik tanpa dihubungkan dengan rangkaian konverter, melakukan pengecekan modulasi lebar pulsa yang dihasilkan dari mikrokontroler berbasis Arduino, melakukan pengecekan konverter berbasis pada “*single – primary inductor converter*” (*SEPIC*) saat diberikan modulasi lebar pulsa dari mikrokontroler berbasis arduino, selanjutnya melakukan uji coba konverter dihubungkan dengan sumber tegangan. Tahapan selanjutnya ialah tahapan uji coba dari konverter yang dihubungkan dengan pemberian beban yang memanfaatkan baterai aki 12 volt. Dan uji coba rangkaian konverter, baterai dan inverter dengan beban lampu AC. Tahapan – tahapan ini ditunjukkan melalui Gambar 2.



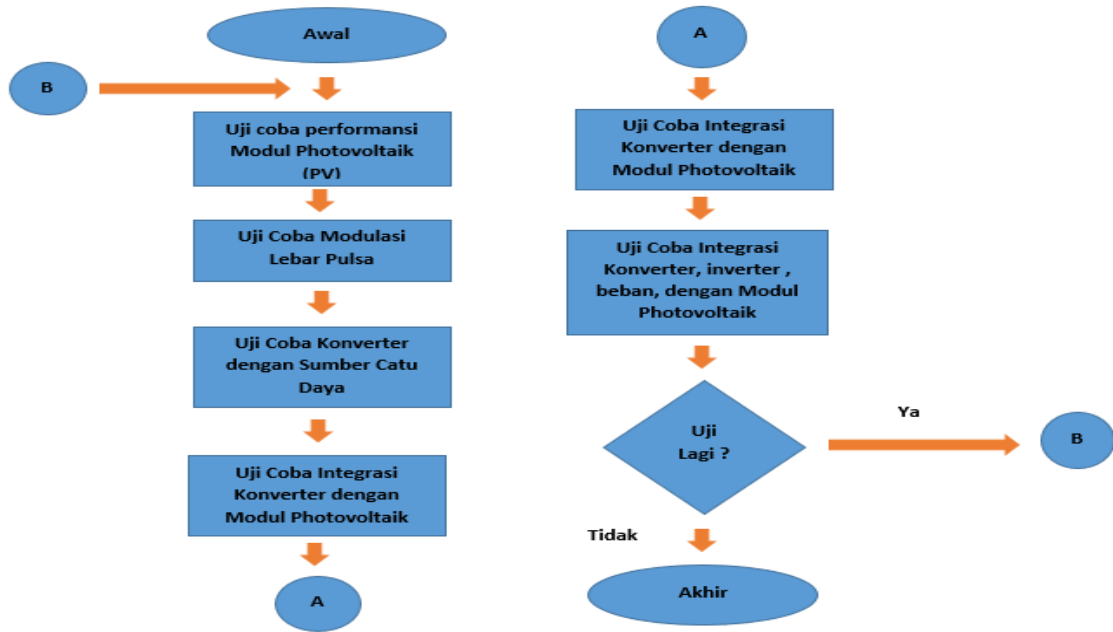
Gambar 1. Blok diagram dari sistem yang diajukan

2.2. Pengecekan spesifikasi modul photovoltaik

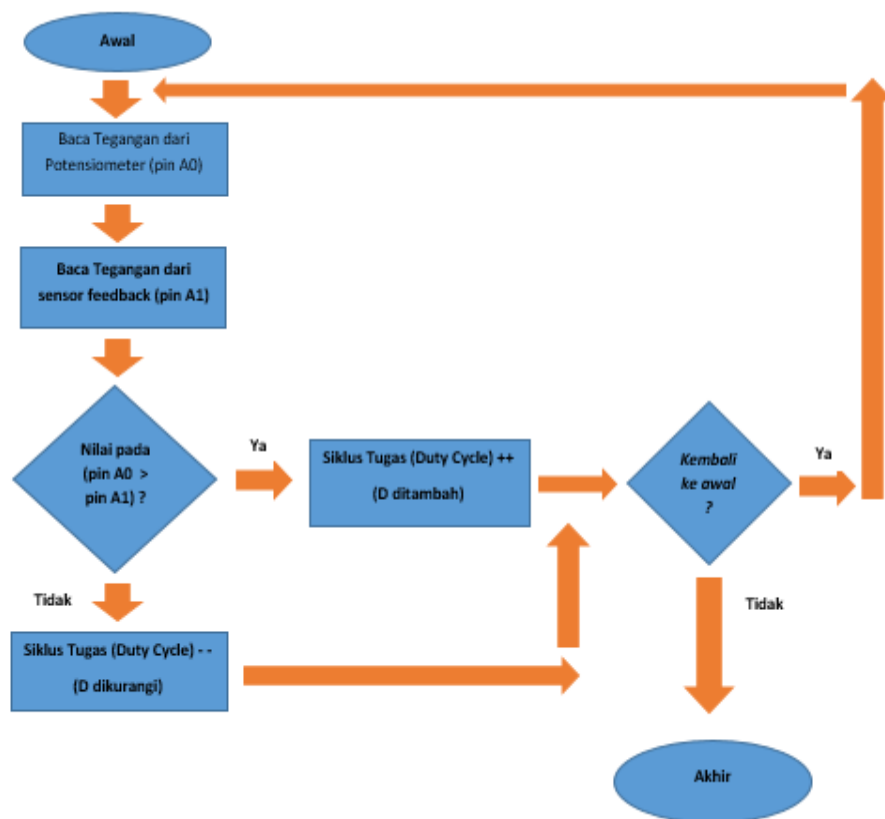
Pengecekan spesifikasi dari modul photovoltaik (*PV*) ini digunakan sebagai acuan untuk uji performansi dari modul *PV* tersebut. Untuk itu, sebelum pengujian modul *PV*, hal yang sebaiknya dilakukan ialah mengetahui spesifikasi dari modul *PV* tersebut. Spesifikasi dari modul *PV* ini dapat diketahui melalui data – data yang menggambarkan kemampuan daya maksimal (P_{max}), Tegangan maksimal (V_{max}), Arus Maksimal (I_{max}), Tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}), dan Arus rangkaian pendek (I_{sc}).

2.3. Metode *perturbation observer* yang dimodifikasi

Pada artikel ini, sistem pelacak daya maksimum modul photovoltaik (*PV*) dengan menggunakan metode *perturbation observer* (*PO*) yang telah dimodifikasi diajukan. Metode ini hanya menggunakan sensor tunggal yang berasal dari pembagi tegangan yang diposisikan pada bagian keluaran dari konverter berbasis *SEPIC*. Selain itu, metode *PO* ini juga memanfaatkan sistem kendali loop tertutup yang untuk membuat sistem pelacak daya maksimum lebih bersifat dinamis. Mekanisme dari metode yang diajukan ditunjukkan pada Gambar 3, dimana tegangan yang diperoleh dari rangkaian pembagi tegangan dihubungkan dengan pin A1 sedangkan pin A0 berfungsi untuk pengaturan nilai yang ditetapkan (*setpoint*). Selanjutnya, kedua tegangan yang berasal dari pembagi tegangan dan tegangan yang telah ditetapkan dibandingkan untuk menentukan kenaikan atau penurunan dari siklus tugas (*Duty Cycle*). Siklus tugas inilah yang digunakan untuk mengatur konverter berbasis *SEPIC*.



Gambar 2. Tahapan uji coba sistem



Gambar 3. Metode Perturbation Observer yang dimodifikasi

2.3. Konverter berbasis SEPIC

Disini, konverter berbasis *Single – Ended Primary Inductor Converter (SEPIC)* digunakan sebagai pengkondisi sinyal dengan memanfaatkan modulasi lebar pulsa yang dihasilkan dari modifikasi metode

perturbation observer (PO) sebagai pengendali saklar elektronik dari rangkaian *SEPIC*. Selain itu, sistem kendali yang digunakan pada konverter berbasis *SEPIC* ini dengan memanfaatkan loop tertutup yang dibangun dari metode *perturbation observer* yang telah dimodifikasi dengan hanya memanfaatkan sensor tunggal. Penentuan konverter DC – DC mengacu pada persamaan (1) - (4). Adapun spesifikasi komponen yang digunakan pada konverter *SEPIC* dapat dilihat pada Tabel 1.

$$\Delta I_L = I_{out} \times \frac{V_{out}}{V_{in(min)}} \times 40\% \quad (1)$$

$$L_1 = L_2 = L = \frac{V_{in(min)}}{\Delta I_L \times f_{sw}} \times D_{max} \quad (2)$$

$$C_{out} \geq \frac{I_{out} \times D}{V_{ripple} \times 0.5 \times f_{sw}} \quad (3)$$

$$P_{Q1} = I_{Q1(rms)}^2 \times R_{DS(on)} \times D_{max} + (V_{IN(min)} + V_{out}) \times I_{Q1(peak)} \times \frac{Q_{GD} \times f_{sw}}{I_G} \quad (4)$$

Dimana ΔI_L merupakan arus riak, V_{out} dan $V_{in(max)}$ merupakan tegangan keluaran dan tegangan masukan maksimal. Sementara itu untuk L_1 dan L_2 merupakan induktor 1 dan induktor 2. D_{max} dan f_{sw} merupakan siklus tugas maksimum dan merupakan frekuensi pensaklaran (*switching*). Selanjutnya, C_{out} dan P_{Q1} merupakan kapasitor keluaran dan total disipasi dari MOSFET.

Tabel 1. Spesifikasi komponen dari SEPIC

No	Komponen
1	Induktor 1 dan 2 = 83.5 uH
2	Kapasitor 1, 2 dan 3 = 470 uF
3	Mosfet IRF 540
4	Resistor 1 = 80 kΩ ; Resistor 2 = 10 kΩ

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Mengacu pada hasil uji coba yang telah dilakukan melalui beberapa tahapan seperti yang ditunjukkan pada gambar 5, yaitu melalui uji performansi dari modul photovoltaik, uji coba modulasi lebar pulsa yang dihasilkan melalui mikrokontroler berbasis arduino, uji coba konverter dengan melalui catu daya (6.3 Volt), uji konverter yang dihubungkan dengan modul photovoltaik, uji konverter yang terintegrasi dengan konverter, inverter, modul photovoltaik, dan beban.

3.1. Uji coba performansi modul photovoltaik

Pada pengujian ini, modul photovoltaik yang digunakan dengan memanfaatkan photovoltaic 10 Watt dengan spesifikasi ditunjukkan pada Tabel 1. Sementara itu, untuk hasil uji modul photovoltaik dengan konfigurasi tanpa beban dapat dilihat dari Ttabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi modul photovoltaik

No	Parameter	Nilai
1	Maximum Power (Pmax)	10 Watt
2	Maximum Voltage (Vmp)	17.6 Volt
3	Maximum Current (Imp)	0.57 Ampere
4	Open Circuit Voltage (Voc)	21.4 Ampere
5	Short Circuit Current (Isc)	1.19 Ampere

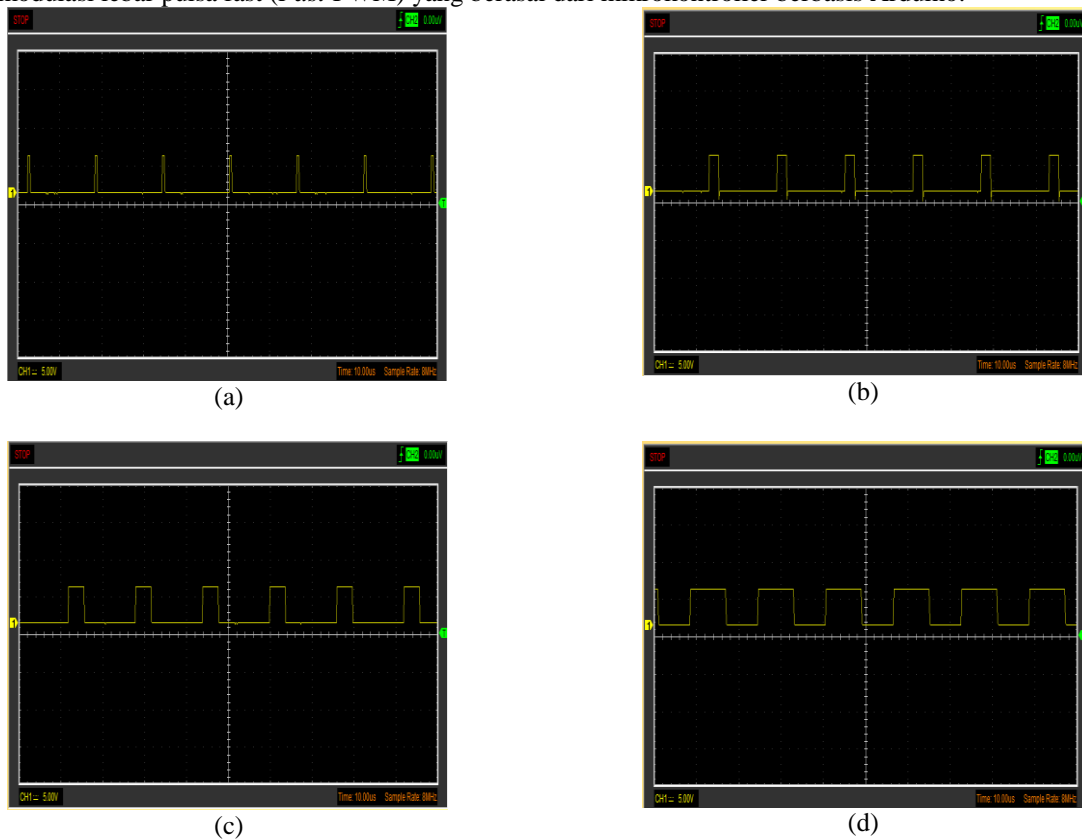
Tabel 3. Tegangan keluaran modul photovoltaik tanpa beban

No	Jam	Tegangan Modul Photovoltaik tanpa beban (Volt)
1	07.00	20
2	07.30	20
3	08.00	20
4	08.30	20

No	Jam	Tegangan Modul Photovoltaik tanpa beban (Volt)
5	09.00	20
6	09.30	20
7	10.00	20
8	10.30	20
9	11.00	20
10	11.30	20

3.2. Uji coba modulasi lebar pulsa

Pada tahap pengujian modulasi lebar pulsa yang dihasilkan dari mikrokontroler berbasis Arduino ditunjukkan pada gambar 3 dan tabel 4. Pada tahap pengujian modulasi lebar pulsa ini terdapat 4 siklus tugas (*duty cycle*) dengan siklus tugas 4.7 %, 14.1 %, 23.4 %, dan 53.1 %. Modulasi lebar pulsa ini dihasilkan melalui metode modulasi lebar pulsa fast (*Fast PWM*) yang berasal dari mikrokontroler berbasis Arduino.



Gambar 5. (a) siklus tugas 4.7 %, (b) siklus tugas 14.1 %, (c) siklus tugas 23.4 %, (d) siklus tugas 53.1 %

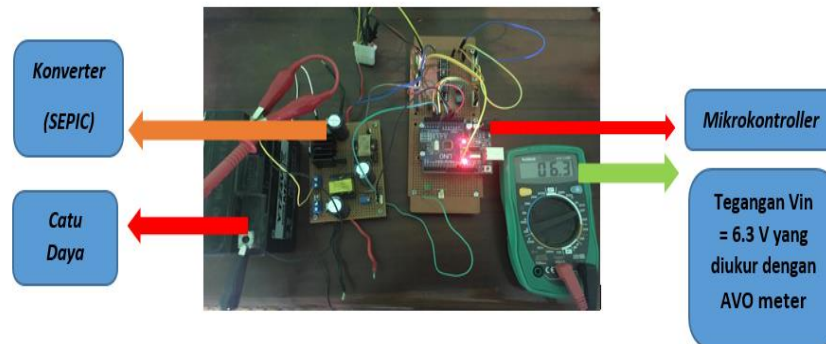
Tabel 4. Pengujian modulasi lebar pulsa

No	Pengujian Modulasi Lebar Pulsa (PWM) (%)
1	4.7
2	14.1
3	23.4
4	53.1

3.3. Uji coba konverter dengan sumber catu daya masukan 6.3 Volt

Sebelum konverter DC – DC ini dihubungkan dengan modul PV secara langsung, konverter berbasis SEPIC ini dihubungkan dengan sumber catu daya sebesar 6.3 volt. Pada tahapan ini, dengan adanya hubungan langsung antara sumber DC dengan konverter DC – DC didapatkan tegangan keluaran dari konverter berkisar antara 11 - 12 Volt. Dengan demikian, konverter DC – DC berbasis *SEPIC* ini memberikan tegangan keluaran

sesuai dengan target yang telah ditentukan. Selain itu, tegangan keluaran dari DC – DC berbasis *SEPIC* ini dapat juga digunakan untuk pengisian baterai dimana tegangan masukan dari baterai (*accu*) sekitar 12 Volt. Dan hal ini juga dapat digunakan untuk menyalakan beban AC demikian seperti lampu AC dengan melalui inverter. Tahap uji dapat dilihat dari gambar 6.

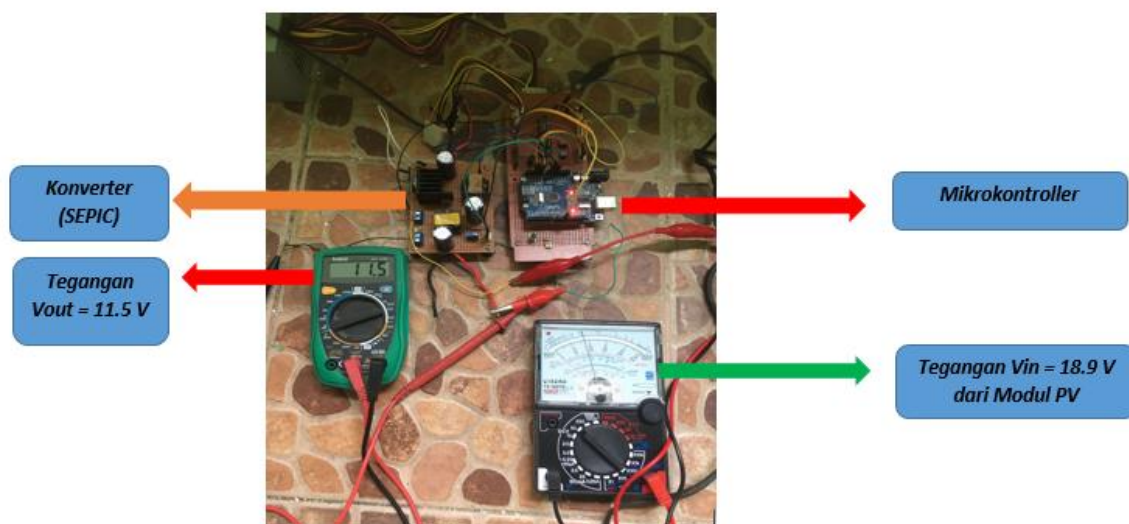


Gambar 6. Uji konverter dengan catu daya sebesar 6.3 volt

3.4. Uji konverter dengan sumber langsung dari modul photovoltaik

Pada tahapan ini, konverter berbasis *SEPIC* secara langsung dihubungkan dengan modul PV 10 watt. Konverter berbasis *SEPIC* ini memanfaatkan metode *Perturbation Observer (PO)* yang telah dimodifikasi yaitu dengan hanya memanfaatkan sensor tunggal, yaitu sensor pembagi tegangan. Keluaran dari pembagi tegangan ini dihubungkan dengan pin A1 dari mikrokontroller Arduino. Selanjutnya, tegangan yang dihubungkan dengan pin A1 dibandingkan dengan tegangan yang telah ditentukan (*setpoint*) untuk mendapatkan modulasi lebar pulsa yang sesuai dengan yang telah ditentukan. Selanjutnya, modulasi lebar pulsa ini berfungsi sebagai pengendali agar tegangan keluaran yang dihasilkan oleh konverter DC – DC ini adalah antara 11 – 12 Volt.

Sementara itu, hasil uji dari konverter berbasis *SEPIC* dengan memanfaatkan *PO* yang telah dimodifikasi dengan tegangan masukan V_{in} sebesar 18.3 volt menghasilkan tegangan keluaran V_{out} sebesar 11.5 Volt seperti ditunjukkan pada gambar 7.

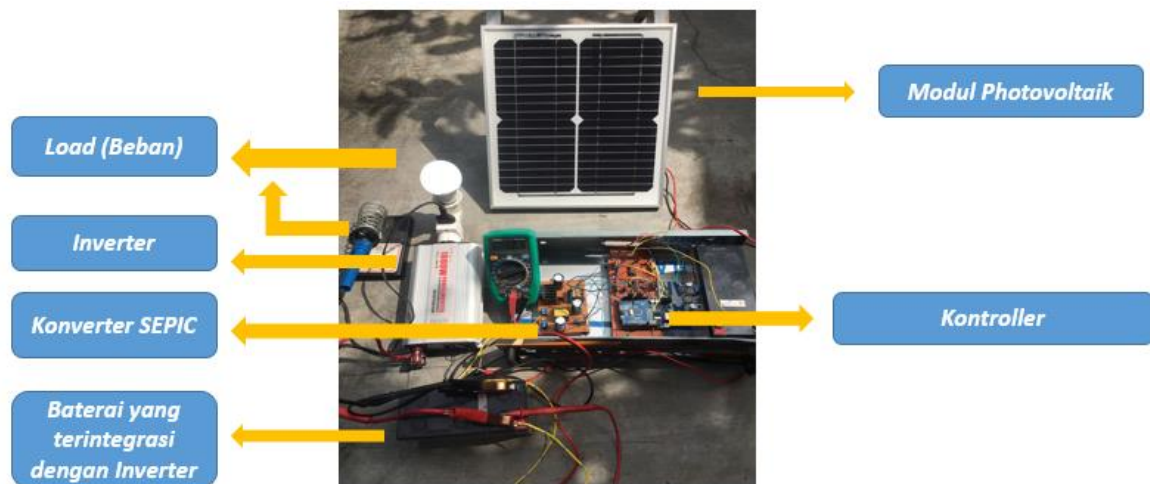


Gambar 7. Uji konverter berbasis SEPIC langsung dengan modul PV

3.5. Uji konverter yang terhubung modul PV dengan baterai dan inverter

Pada tahapan ini, modul *PV* dihubungkan secara langsung dengan konverter berbasis *SEPIC*. Selain itu, konverter ini berbasis pada metode pelacak *perturbation observer (PO)* yang telah dimodifikasi dengan hanya menggunakan sensor tunggal. Dan lagi, konverter ini menggunakan sistem kendali berbasis pada loop

tertutup, agar tegangan keluaran dari konverter DC – DC dapat dipertahankan pada level tegangan dengan range antara 11 volt hingga 12 volt. Metode pelacak *PO* yang telah dimodifikasi ini digunakan untuk menghasilkan modulasi lebar pulsa yang dapat mempertahankan nilai tegangan keluaran V_{out} pada range 11 Volt – 12 Volt dari tegangan masukan V_{in} sebesar 18.3 Volt yang berasal dari modul PV. Selanjutnya, tegangan keluaran dari konverter DC – DC tersebut dapat diintegrasikan dengan inverter melalui baterai seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8. Dari hasil uji modul PV yang dihubungkan dengan konverter, baterai, inverter, serta beban lampu AC 220 V, maka tegangan yang berasal dari modul photovoltaik sebesar 18.3 Volt dapat dirubah menjadi tegangan keluaran dari konverter berbasis *SEPIC* pada rentang antara 11 volt hingga 12 volt, seperti ditunjukkan pada Tabel 5.



Gambar 8. Uji konverter yang terhubung modul PV dengan baterai dan inverter

Tabel 5. Pengujian dari PV, konverter, dan inverter

Jam	Vin Konverter (dari modul PV) (Volt)	Vout Konverter (dari konverter SEPIC) (Volt)	Vout Inverter (Volt)
12.30	18.5	12.1	220
12.45	18.5	12.1	220
13.00	18.5	12.1	220
13.15	18.5	12.1	220
13.30	18.5	12.1	220

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilaksanakan, menunjukkan bahwa konverter berbasis *SEPIC* dengan metode *perturbation observer (PO)* yang telah dimodifikasi menunjukkan kinerja yang baik, dimana tegangan keluaran yang dihasilkan oleh konverter DC – DC berbasis *SEPIC* dapat menghasilkan tegangan dengan range antara 11 Volt – 12 Volt yang dapat diaplikasikan pada baterai 12 Volt meskipun tegangan masukan yang berasal dari PV berubah. Selain itu, metode ini hanya membutuhkan sensor tunggal yang memanfaatkan rangkaian pembagi tegangan tanpa harus menggunakan sensor arus seperti pada metode *PO* konvensional yang membutuhkan dua sensor, yaitu sensor tegangan dan sensor arus. Selanjutnya, sistem yang diajukan ini juga menunjukkan hasil yang baik saat diintegrasikan dengan inverter 1 fasa yang dibebani dengan beban AC.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Mekhilef, R. Saidur, and A. Safari, A Review on Solar Energy Use in Industries, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, 2011, pp. 1777 - 1790
- [2] V. Salas, E. Olias, A. Barrado, and A. Lazaro, Review of the maximum power point tracking algorithm for stand-alone photovoltaic system, *sol. Energy mater. Sol. Celss*, vol. 90, 2006, pp. 1555 - 1578
- [3] G. Spagnuolo, G. Petrone, S. V. Araujo, C. Cecati, et al, Renewable Energy Operation and Conversion schemes : A Summary of Discussions During the semiminar on Renewable Energy System, *IEEE Ind. Electron. Magazines.*, Mar. 2010, pp. 38 – 51.
- [4] Himanshu Sharma, Ahteshamul Haque, Zainul Abidin Jaffery, “An Efficient Solar Energy Harvesting System for Wireless Sensor Nodes ”, 2nd IEEE International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES), 2018
- [5] L. M. Wheeler, D. T. Moore, R. Ihly, N. J Stanton, E. M. Miller, R. C. Tenent, N. R. Neale, “Switchable photovoltaic windows enabled by reversible photothermal complex dissociation from methylammonium lead iodide,” *Nat. Commun.* Vol 8 no.1 , p. 1- 9 , 2017
- [6] J Praveen, V VijayaRamaju, “Material for Optimizing Efficiencies of Solar Photovoltaic Panels,” 6th International Conference of Materials Processing and Characterization, 5 – 7 December 2016
- [7] Ankita Gaur, G. N. Tiwari, “Performance of Photovoltaic Modules of Different Solar Cells”, *Journal of Solar Energy*, 2013
- [8] Isaac Owusu-Nyarko, Mohamed A. Elgenedy, Khaled Ahmed, “Combined Temperature and Irradiation Effects on the Open Circuit Voltage and Short Circuit Current Constants for Enhancing their Related PV-MPPT Algorithms”, *IEEE Conference on Power Electronics and Renewable Energy (CPERE)*, 2019
- [9] Shawon Baroi, Pejush Chandra Sarker, Saikot Baroi, “An Improved MPPT Technique – Alternative to Fractional Open Circuit Voltage Method ”, 2nd International Conference on Electrical & Electronic Engineering (ICEEE), 2017
- [10] Dhvaj Raverkar, Urvashi Chauhan, Vijander Singh, Asha Rani, “An Improved Fractional Voltage Based MPPT Technique for PV Generation System ”, *International Conference on Advances in Computing, Communication & Materials (ICACCM)*, 2020
- [11] Donny Radianto, Gamal M. Dousouky, Masahito Shoyama, MPPT Based on Incremental Conductance – Fuzzy Logic Algorithm for PV System Under Variable Climate Conditions, *The 37th, International Conference on Telecommunications Energy, INTELEC 2015*, October 18 – 22, 2015, Osaka Japan
- [12] Fangrui Liu, Shanzu Duan, Fei Liu, et al, “A Variable Step Size INC MPPT Method for PV System,” *IEE Transactions On Industril Electronic*, vol. 55., no. 7, July 2008
- [13] Qiang Mei, Minwei Shan, et al, “A Novel Improved Variable Step Size Incremental-Resistance MPPT Method for PV Systems, *IEEE Trans. On Industrial Electronic*, Vol. 58, No. 6, June 2011, pp. 2427 – 2434.
- [14] Morcos Metry, Mohammad B. Shadmand, Robert S. Balog, Haitham Abu Rub, “A variable step-size MPPT for sensorless current model predictive control for photovoltaic systems ”, *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, 2016
- [15] Reza Moradpour, Hossein Ardi and Abdolreza Tavakoli, "Design and Implementation of a New SEPIC-Based High Step-Up DC/DC Converter for Renewable Energy Applications", *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, vol. 65, no. 2, February 2018.
- [16] Sin-Woo Lee and Hyun-Lark Do, "Isolated SEPIC DC-DC Converter With Ripple-Free Input Current and Lossless Snubber", *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, vol. 65, no. 2, February 2018.
- [17] Mriduwani Verma; S. Shiv Kumar, “Hardware Design of SEPIC Converter and its Analysis”, *International Conference on Current Trends towards Converging Technologies (ICCTCT)*, 2018