

Sistem Pengisian Baterai Konstan Tegangan Berbasis *Fuzzy Logic* Pada Aplikasi *Off Grid* Rumah DC

**Karimatun Nisa¹; Regina Salsabila^{2*}; Moch. Machmud Rifadil³;
Sutedjo⁴, Luki Mahendra⁵**

^{1,2,3,4,5}Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Surabaya
Jln. Raya ITS, Keputih, Sukolilo, Kota Surabaya 60111, (031) 5947280.

e-mail: nisa@pens.ac.id¹, reginasalsabila@pe.student.pens.ac.id^{2*}, mmrifadil@pens.ac.id³,
sutedjo@pens.ac.id⁴, lukiseptya@pens.ac.id⁵

Abstrak

Pada penelitian yang diusulkan dirancang Rumah DC dengan kapasitas daya 200 watt. Rumah DC berisikan beban – beban rumah tangga DC. Panel surya digunakan sebagai sumber dari Rumah DC. Konverter daya yaitu SEPIC terhubung dengan panel surya yang berfungsi sebagai pengisian baterai dengan tegangan keluaran sebesar 14,8 V . Luaran tegangan panel surya adalah 18 V, dari panel surya akan diturunkan tegangannya melalui SEPIC konverter sesuai dengan nilai duty cycle yang diatur pada mosfet untuk mengisi daya baterai sesuai dengan kebutuhan beban baterai lead acid 12V/140 Ah. Sistem pengisian baterai yang digunakan adalah metode constant voltage (CV) dengan diberikan algoritma fuzzy logic. Simulasi yang akan disajikan yaitu SEPIC telah dikontrol menggunakan algoritma fuzzy dengan metode CV dengan set point 14,8 V , sehingga dengan algoritma fuzzy digunakan untuk control pengisian baterai. Sedangkan pada pengujian alat, tegangan pengisian baterai dapat dikontrol menggunakan logika fuzzy yaitu dengan rata – rata tegangan pengisian 14,8 V dengan iradiasi yang bervariasi. Oleh karena itu desain ini dapat diaplikasikan pada Rumah DC 12 V/200 watt.

Kata kunci — SEPIC, Battery, CV, Fuzzy Logic Contoller, Off-Grid, DC House

Abstract

In this proposed research designed DC House with a power capacity of 200 watts. The DC house contains DC household loads. Solar panels are used as a source of DC house. The converter, namely SEPIC, is connected to a solar panel which functions as battery charging with an output voltage of 14.8 V. The output voltage of the solar panel is 18 V, from the solar panel the voltage will be stepped down by SEPIC converter according to the duty cycle value set on the MOSFET to charge battery power according to the needs of the 12V/140 Ah lead acid battery load. The battery charging system used is the constant voltage (CV) method with a fuzzy logic algorithm given. The simulation that will be presented is SEPIC has been controlled using a fuzzy algorithm with the CV method with a set point of 14.8 V, so that the fuzzy algorithm is used to control battery charging. Meanwhile, in testing the device, the battery charging voltage can be controlled using fuzzy logic with an average charging voltage of 14.8 V with varying irradiation. Therefore, this design can be applied to a 12 V/200 watt DC house.

Keywords — SEPIC, Battery, CV, Fuzzy Logic Contoller, Off-Grid, DC House

I. PENDAHULUAN

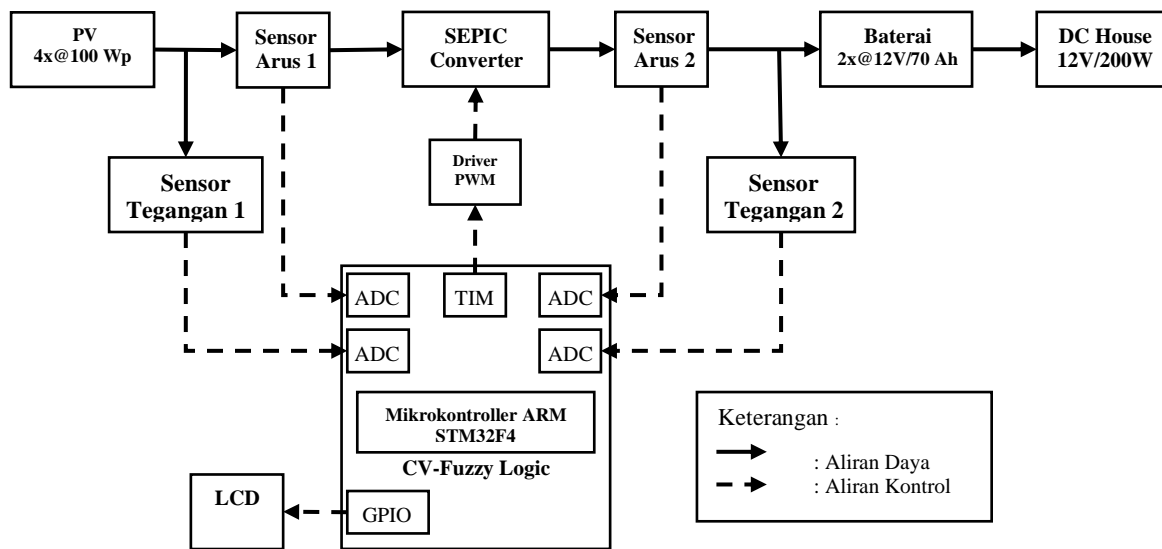
Pemanfaatan energi baru terbarukan yang menghasilkan listrik DC untuk memenuhi kebutuhan listrik terutama daerah terpencil saat ini semakin meningkat. Listrik DC memiliki beberapa keunggulan dibandingkan listrik AC, yaitu salah satunya mudah disimpan dalam baterai yang bersifat portabel [1]. Dengan memanfaatkan keunggulan listrik DC maka muncul gagasan untuk mendirikan Rumah DC yang berguna untuk masyarakat di daerah terpencil yang tidak terjangkau jaringan listrik PLN. Karena daerah-daerah tersebut memiliki sumber energi terbarukan yang berlimpah maka untuk mengaplikasikan Rumah DC tersebut menggunakan panel surya yang mengkonversi energi sinar matahari menjadi energi listrik melalui proses efek fotovoltaiik (PV) [2]. Akan tetapi panel surya hanya dapat memanfaatkan energi matahari pada siang hari. Oleh karena itu, panel surya akan diintegrasikan ke baterai dan rumah DC yang didalamnya terdapat beban DC. Selain itu saat kondisi matahari berubah, radiasi yang diterima oleh fotovoltaiik juga akan berubah, yang mengakibatkan fluktuasi daya keluaran. Daya, tegangan, dan arus maksimum yang dapat dihasilkan PV bervariasi sehingga tegangan yang keluar dari baterai menuju Rumah DC juga bervariasi.

Metode untuk menjaga tegangan konstan adalah dengan metode *Constant Voltage* (CV), yaitu mengisi baterai dengan tegangan konstan sampai arus yang mengalir menurun sampai arus *cut off*-nya. Proses pengisian ini tidak akan menyebabkan baterai *overcharging* karena tegangan dijaga konstan sesuai dengan tegangan maksimalnya namun proses pengisian akan berlangsung lebih lama dari *constant current*. Kontrol tegangan yang pasti dan waktu pengisian yang tepat dalam metode pengisian CV sangat penting untuk menjaga *life time* yang diharapkan dari baterai.

Untuk menjaga agar tegangan tetap konstan, maka penelitian ini menggunakan metode *fuzzy logic controller* yang terintegrasi dengan konverter DC-DC. Algoritma fuzzy memiliki efisiensi daya yang lebih baik daripada algoritma tradisional lainnya. Dengan menggunakan kontrol logika fuzzy diharapkan memperoleh *duty cycle switching* yang konstan berdasarkan pada kondisi dari PV. Ada banyak jenis konverter DC-DC, dari yang hanya menaikkan tegangan, hanya menurunkan tegangan serta menaikkan dan menurunkan tegangan. Untuk itu pada penelitian ini digunakan SEPIC converter yang digunakan sebagai menaikkan dan menurunkan tegangan dengan polaritas luaran yang tetap [3].

II. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian yang diajukan mengacu pada perencanaan sistem pada blok diagram yang ditampilkan pada Gambar 1. Panel surya sebagai sumber energi listrik untuk mengisi baterai sebagai peralatan penyimpanan energi. Baterai berperan sebagai suplai Rumah DC. Agar tegangan pengisian baterai stabil dan bisa memanfaatkan keluaran panel surya secara maksimal, maka *duty cycle* dari konverter SEPIC harus diatur agar keluaran tegangan dari konverter SEPIC konstan dan sesuai dengan tegangan pengisian yang dibutuhkan baterai. Konverter SEPIC digunakan sebagai penaik dan penurun tegangan untuk suplai baterai yang dipasang secara paralel yang digunakan untuk suplai rumah DC 12V/200W. Sensor tegangan dan arus pada *output* konverter digunakan untuk data yang diolah menggunakan kontrol logika fuzzy untuk mengatur *duty cycle*, dimana sensing *output* nantinya digunakan untuk data masukan serta acuan *setpoint* tegangan charging untuk baterai.



Gambar 1. Blok diagram sistem pengisian baterai CV-Fuzzy

2.1 Baterai

Baterai yang digunakan adalah baterai *Lead Acid*. *Sizing* baterai yang akan digunakan perlu adanya mempertimbangkan kebutuhan beban. Beban yang akan disuplai oleh baterai adalah rumah DC 200 watt. Dan diasumsikan waktu penggunaan rata – rata pada beban selama 8 jam. Dengan demikian kebutuhan arus untuk beban rumah DC 200 watt dapat diperoleh melalui persamaan (1) [4]. Dimana *I* adalah arus baterai (A), *P* adalah Daya baterai (W) dan *V* adalah Tegangan baterai (V).

$$I = \frac{P}{V} \tag{1}$$

Kemudian untuk menghitung kapasitas kebutuhan beban penerangan rumah DC selama ± 8 jam, berikut adalah kapasitas baterai:

$$E_{\text{beban}} = P \times t \tag{2}$$

$$Kapasitas\ baterai = \frac{E_{\text{beban}}}{V_{\text{beban}}} \tag{3}$$

a. Metode Pengisian CV

Pengisian baterai metode CV pada awal pengisian arus awal akan tinggi dan lambat laun akan turun hingga baterai penuh. Sedangkan tegangan akan dijaga konstan sesuai batas tegangan yang sudah ditentukan [5], [6]. Mengatur CV dengan cara menjaga nilai magnitude tegangan keluaran adalah dengan mengatur *duty cycle*. Tegangan keluaran jika terlalu kecil saat dibandingkan dengan *set point*, maka % *duty cycle* juga akan ditambah dan sebaliknya. Pada metode pengisian CV, kontrol yang digunakan lebih mudah dan lebih aman, namun pengisiannya lebih lambat dari metode lain [7], [8].

b. Kondisi Pengisian baterai

Kondisi baterai pada saat mensuplai beban adalah kondisi pengosongan dan pada saat baterai menyimpan energi, baterai dalam kondisi pengisian [9]. Estimasi pengisian dimulai pada 40% sampai 80%. Adapun perencanaan parameter untuk pengisian baterai ialah sebagai berikut:

$$\text{Energi total} = P_{\text{total}} \times t \tag{4}$$

$$\text{Energi baterai} = V_{\text{baterai}} \times t \tag{5}$$

$$\text{Energi sisa} = \text{energi baterai} - \text{energi total} \tag{6}$$

$$\%SOC = \frac{\text{energi sisa}}{\text{energi baterai}} \tag{7}$$

2.2 Panel Surya

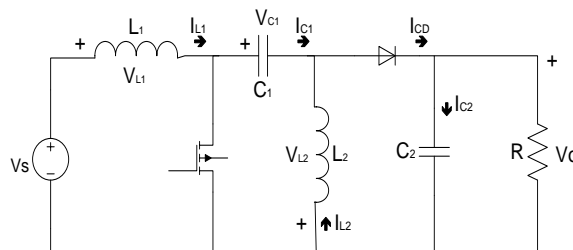
Dalam menentukan kebutuhan solar panel yang akan digunakan perlu ditentukan terlebih dahulu kebutuhan baterai dan komponen charging lainnya. Asumsi efisiensi SEPIC adalah 80%.

$$\text{Kebutuhan daya input} = \frac{\text{energi baterai}}{\text{efisiensi konverter}} \tag{8}$$

$$\text{Kebutuhan daya panel surya} = \frac{\text{Daya input}}{\text{lama pengisian}} \tag{9}$$

2.3 SEPIC

Pada penelitian ini digunakan konverter SEPIC sebagai DC *chopper* yang akan diintegrasikan dengan *fuzzy logic*. Tegangan dan arus keluaran PV akan diproses terlebih dahulu oleh konverter SEPIC. Prinsip kerja konverter SEPIC mirip dengan konverter *Buck-Boost*, yaitu dapat menaikkan atau menurunkan tegangan DC yang diinput sesuai dengan *duty cycle* dari komponen switching [4], [10], [11]. Pada Gambar 2 menunjukkan sebuah rangkaian sederhana dari konverter SEPIC, yang terdiri dari dua induktor L_1 dan L_2 ; *coupling capacitor* C_1 ; kapasitor *output* C_2 ; sakelar semikonduktor; dan dioda *output* D_{out} .



Gambar 2. Gambar Rangkaian Konverter SEPIC [12], [13]

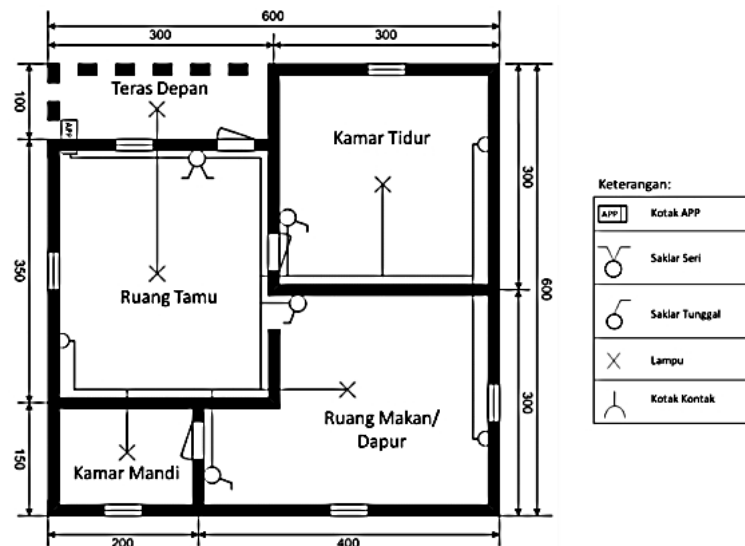
Adapun parameter untuk nilai komponen pada SEPIC, serta parameter dua nilai kapasitor dan dua nilai induktor seperti yang terlihat pada Tabel 1. Parameter ini diperoleh dari desain perhitungan.

Tabel 1 Parameter desain Konverter SEPIC

Parameter	Simbol	Nilai
Tegangan <i>input</i>	V_{in}	18,24 V
Tegangan <i>output</i>	V_{out}	14,8 V
Frekuensi	f	40 kHz
Arus <i>input</i>	I_{in}	10 A
Arus <i>output</i>	I_{out}	9 A
Kapasitor 1	C_1	5600 μ F
Kapasitor 2	C_2	6800 μ F
Induktor 1	L_1	109,375 μ H
Induktor 2	L_2	109,375 μ H

2.4 Rumah DC

Rumah DC akan dibuat berupa prototype. Prototype berasal dari bahasa latin, yaitu kata “proto” yang berarti asli dan “typus” yang berarti bentuk atau model. Sehingga prototype biasanya dibuat sebagai model untuk tujuan demonstrasi atau sebagai bagian dari proses pengembangan atau pembuatan sebuah perangkat lunak maupun perangkat keras. Untuk perancangan rumah DC menggunakan rancangan rumah sederhana yang terdiri dari beberapa ruangan. Denah rumah dan instalasi rumah DC yang dirancang seperti Gambar 3. Dengan adanya gambar instalasi, dapat mengetahui letak titik – titik peralatan listrik pada rumah. Selain itu dapat mengetahui semua lampu dan saklar beserta jalur–jalur pemasangan kabel. Untuk beban yang akan digunakan dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini. Dengan adanya tabel rekapitulasi daya, maka dapat mengetahui beban apa yang akan digunakan dengan besaran daya yang akan digunakan. Gambar 4 adalah rekapitulasi daya rumah DC dan *Single line diagram* rumah DC disajikan pada Gambar 5.



Gambar 3 Denah Instalasi Rumah DC

Tabel 2 Tabel Rekapitulasi Daya Rumah DC

No	Ruangan	Peralatan	Jumlah	Daya (W)
1	Teras Depan	Lampu	1	6
2	Ruang Tengah	Lampu	1	6
		TV DC	1	10
3	Kamar Tidur	Lampu	1	6
		Kipas DC	1	18
4	Ruang Makan/Dapur	Lampu	1	6
		Kotak Kontak	1	100
5	Kamar Mandi	Lampu	1	4
Total Daya				156

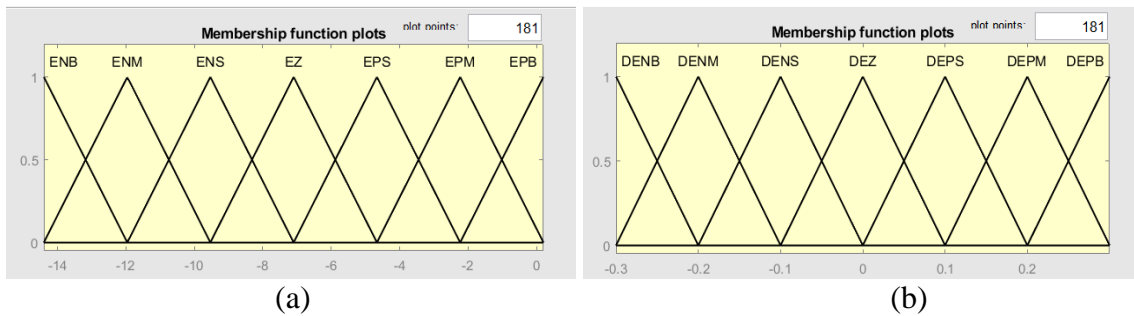
2.5 Fuzzy Logic

Kontrol Fuzzy digunakan sebagai keandalan pengisian baterai dan keamanan operasi beban DC [14]. Pada perancangan fuzzy terdapat beberapa tahap yaitu *fuzzification, inference, defuzzification* [15]. Secara umum bagian dari *fuzzy* adalah masukan algoritma fuzzy berupa *E (error)* dan ΔE (*delta error*). Nilai *error* diperoleh dari selisih antara tegangan keluaran SEPIC dan *setpoint*. Dan nilai *delta error* diperoleh dari selisih antara nilai *error* saat ini dengan *error* sebelumnya. Pada persamaan (10) dimana $E(k)$ adalah nilai Error dan (k) adalah waktu pencuplikan, $E(k-1)$ adalah nilai Error dengan $(k-1)$ adalah waktu pencuplikan, dan pada persamaan (11) $\Delta E(k)$ sebagai perubahan nilai Error.

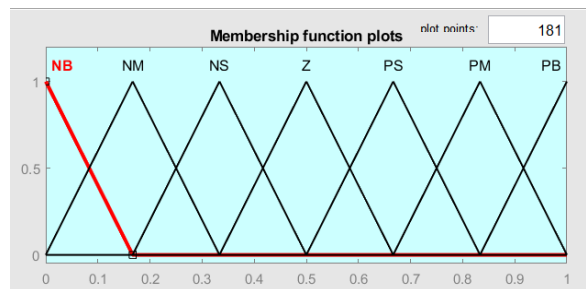
$$E(k) = \frac{P(k) - P(k-1)}{V(k) - V(k-1)} \tag{10}$$

$$\Delta E(k) = E(k) - E(k - 1) \tag{11}$$

- 1) *Fuzzifikasi*: yaitu transformasi domain dari *crisp* menjadi input fuzzy [15]. Fungsi keanggotaan input terdiri dari : variabel *input error* (E) dan variabel *input delta error* ΔE yang ditunjukkan pada Gambar 6 (a) dan (b). Sedangkan fungsi keanggotaan *output* terdiri dari variabel *output duty cycle* yang ditunjukkan pada Gambar 7.
- 2) *Inference*: Pada tahap ini adalah proses untuk menentukan nilai parameter dari *rule base* (nilai kebenaran). *Rule base* digunakan untuk menentukan aksi kontrol yang diinginkan sesuai dengan *plant* yang direncanakan. Pada Tabel 2 merupakan aturan *rule base* logika fuzzy.



Gambar 6 Membership Function (a) Error; (b) Delta Error



Gambar 7 Membership Function Output

Tabel 3 Aturan Rule Base Logika Fuzzy

$\Delta E \backslash E$	DNB	DNM	DNS	DZ	DPS	DPM	DPB
ENB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	Z
ENM	NB	NB	NB	NM	NS	Z	PS
ENS	NB	NB	NM	NS	Z	PS	PM
EZ	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
EPS	NM	NS	Z	PS	PM	PB	PB
EPM	NS	Z	PS	PM	PB	PB	PB
EPB	Z	PS	PM	PB	PB	PB	PB

- 3) *Defuzzifikasi*: Pada proses ini nilai fuzzy output dikembalikan menjadi data keluaran tegas (*crisp output*) [15]. Pada tahap defuzzifikasi ini menggunakan metode *weight average*, pada metode ini mengambil nilai rata – rata dengan menggunakan pembobotan berupa derajat keanggotaan, seperti pada persamaan (12).

$$x^* = \frac{\sum_{i=1}^m x_i}{m} \tag{12}$$

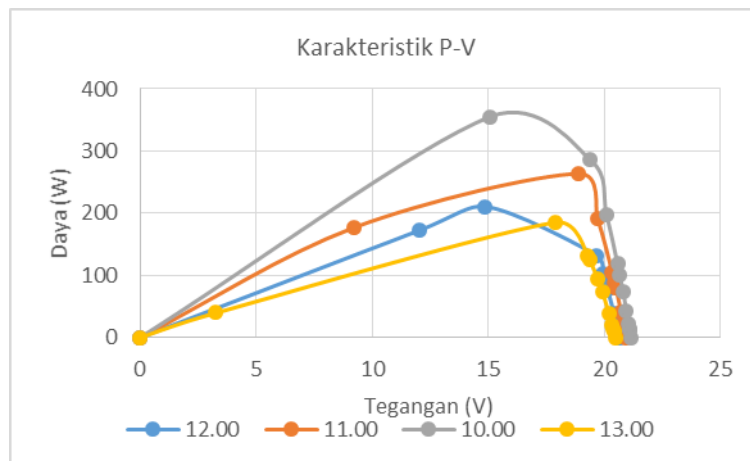
Dimana x^* adalah nilai *crisp* dan x_i adalah derajat keanggotaan dari x^* .

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

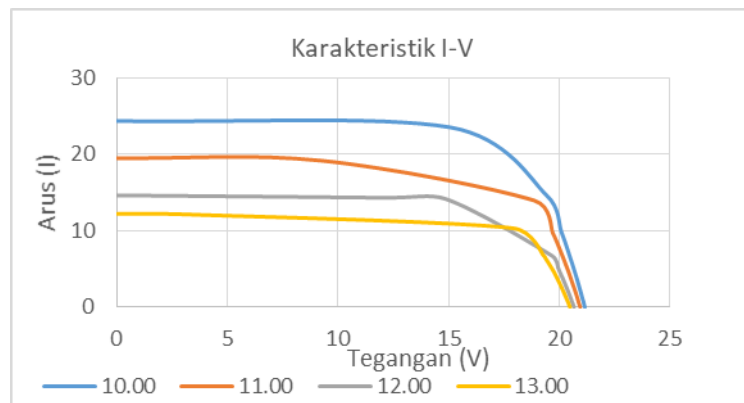
3.1 Pengujian Karakteristik Panel Surya

Untuk mengetahui kemampuan panel surya dalam menghasilkan daya yang maksimal maka dilakukan pengujian karakteristik panel surya . Pengujian dengan cara memberikan beban maksimal pada panel surya, sehingga daya yang dihasilkan pada panel surya akan mengambil titik operasi I-V secara maksimal.

Gambar 9 dan Gambar 10 merupakan kurva hasil pengujian karakteristik panel surya 400WP. Pada pengujian panel surya tersebut dilakukan pengambilan data dengan perbedaan waktu setiap 1 jam dimulai dari pukul 10:00 hingga pukul 13:00. Dapat diketahui bahwa daya tertinggi yang dihasilkan panel surya yang disusun secara paralel pada saat jam 10:00 dengan nilai daya 355,2 watt. Kemudian dari pukul 13:00 daya yang dihasilkan mulai turun hingga 185,3 Watt. Dari hasil yang diperoleh terlihat bahwa semakin bertambahnya waktu kurva yang dihasilkan semakin menjauh dari nominal hal tersebut diakibatkan karena perubahan intensitas cahaya dan suhu yang diterima oleh panel surya. Pengujian karakteristik panel surya tersebut dilakukan dengan mengabaikan iradiasi dan suhu pada panel surya.



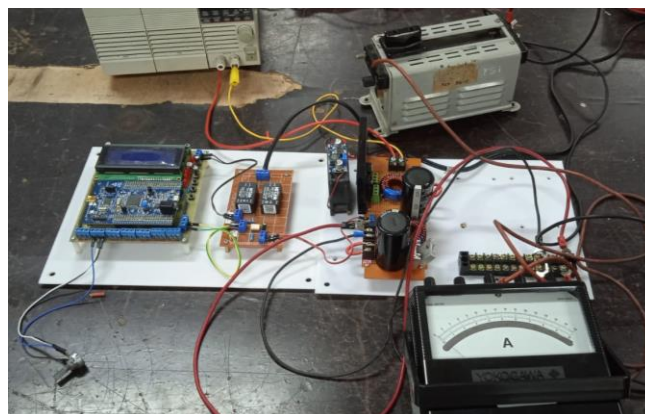
Gambar 9 Kurva karakteristik daya terhadap tegangan (P-V)



Gambar 10 Kurva karakteristik arus terhadap tegangan (I-V)

3.2 Pengujian Konverter SEPIC

Pengujian konverter SEPIC terlihat pada Gambar 11, pengujian untuk mendapatkan data fungsi konverter pada setiap *duty cycle*. Pengambilan data bertujuan untuk melihat apakah kinerja konverter dapat dioperasikan sesuai teori. Hasil pengujian SEPIC Converter menunjukkan efisiensi konverter cukup baik dengan rata-rata 80%. Besar kecilnya nilai *duty cycle* yang digunakan SEPIC Converter mempengaruhi nilai tegangan output SEPIC Converter. Hal ini ditunjukkan pada Tabel 4.



Gambar 11 Pengujian konverter SEPIC

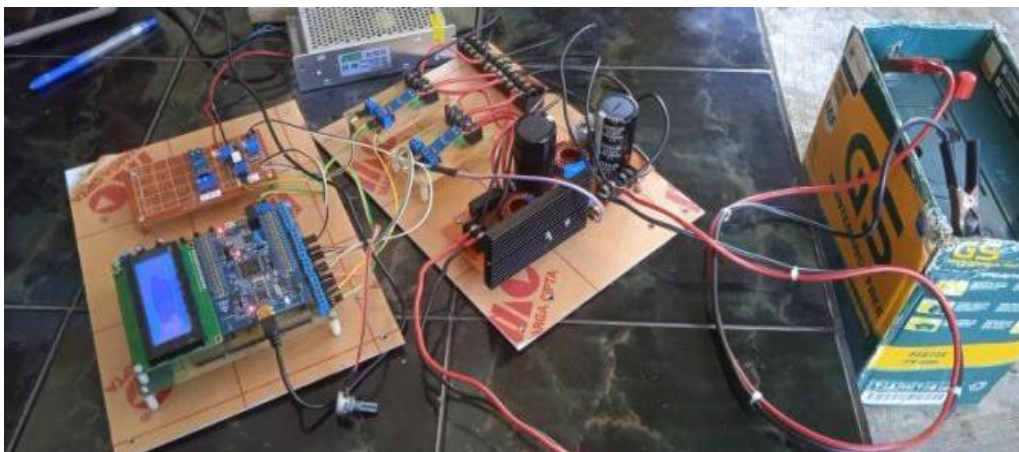
Tabel 4 Hasil pengujian SEPIC konverter dengan duty cycle yang berubah

<i>Duty cycle</i>	V_{in} (V)	I_{in} (A)	V_{out} (V)	I_{out} (A)	Efisiensi (%)
10	14,4	0,21	1,28	1,8	80,21
20	14,4	2,34	3,06	8,9	81,32
30	14,4	3,83	4,32	10,3	81,17
40	14,4	4,38	7,87	6,5	80,76
50	14,4	5,58	11,37	5,7	80,51
60	14,4	6,57	21,18	3,6	80,69

3.3 Pengujian *Open Loop*

Pengujian *open loop* pada Gambar 12, dilakukan untuk melihat performa rangkaian sebelum dipasang kontrol dalam proses pelacakan daya maksimum panel surya. Syarat tercapainya daya maksimum panel surya adalah dengan perolehan nilai error yang sama dengan nol.

Pengujian *open loop* dilakukan dengan sumber panel surya dimana nilai variasi tegangan masukan bergantung pada hasil keluaran nilai panel surya dan nilai duty cycle sebesar 40% dengan menggunakan beban baterai. Gambar 12 adalah pengujian *open loop* dengan beban baterai nilai duty cycle tetap sebesar 40% baterai ini nantinya akan digunakan sebagai sumber untuk Rumah DC dengan melakukan pengisian baterai sebelum digunakan.



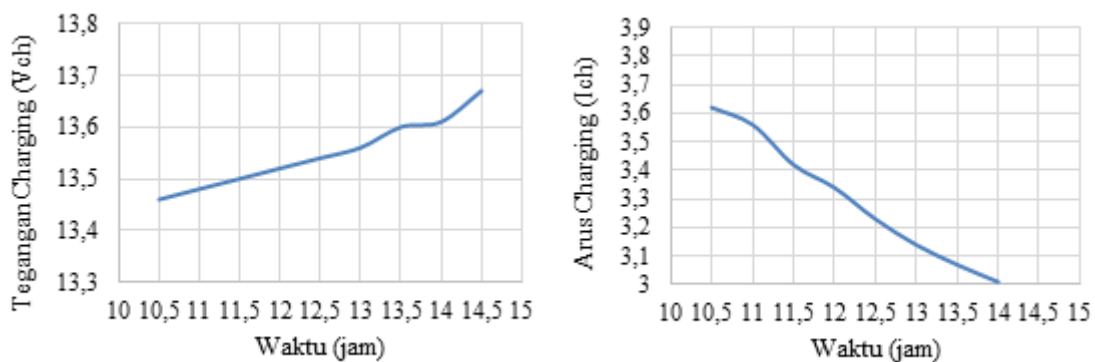
Gambar 12 Pengujian *open loop Fix Duty Cycle* dengan beban baterai

Tabel 5 adalah hasil pengujian *open loop* menggunakan sumber panel surya dengan beban baterai yang dilakukan selama 4 jam. Dapat dilihat saat proses charging nilai tegangan akan semakin meningkat sedangkan nilai arus akan semakin turun. Hal ini sesuai dengan karakteristik baterai. Untuk kurva karakteristik tegangan dan arus charging ditunjukkan pada Gambar 13 (a) dan (b).

Dari kurva pada Gambar 13 (a) dan (b) diatas dapat dilihat bahwasanya saat proses charging nilai tegangan akan semakin meningkat seiring berjalannya waktu, sedangkan nilai arus akan semakin turun, hal ini berarti sesuai dengan karakteristik baterai.

Tabel 5 Pengujian *open loop* beban baterai

<i>Duty cycle</i>	waktu	Vin (V)	Iin (A)	Vch (V)	Ich (A)
40	10.30	14,87	7,27	13,46	3,76
	11.00	15,14	7,31	13,48	3,62
	11.30	15,53	7,52	13,5	3,56
	12.00	15,67	7,55	13,52	3,42
	12.30	15,97	8,5	13,54	3,34
	13.00	16,01	8,11	13,56	3,23
	13.30	16,47	7,94	13,6	3,14
	14.00	16,61	7,7	13,61	3,07
	14.30	17,32	7,61	13,67	3,01

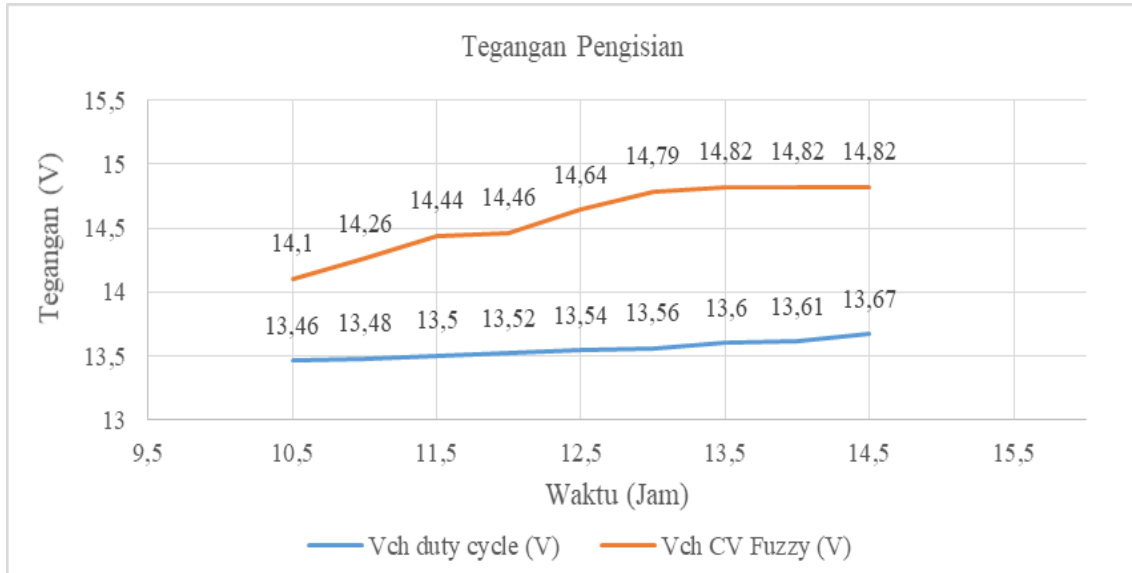


Gambar 13 Kurva (a) Tegangan Pengisian dan (b) Arus Pengisian terhadap waktu hasil pengujian *open loop*

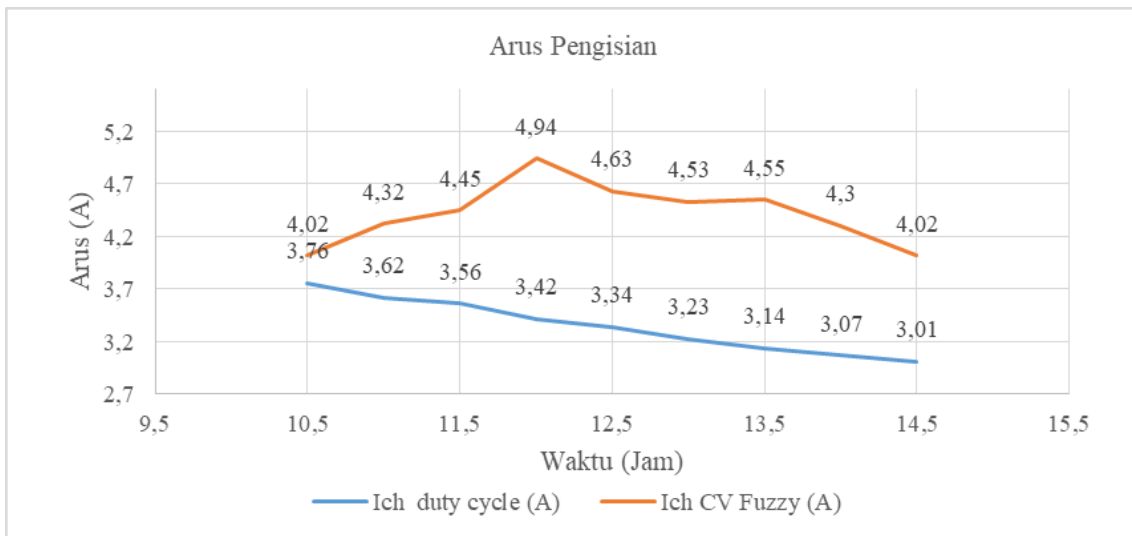
3.4 Pengujian Close Loop

Pengujian *close loop* (rangkaiian tertutup) seperti pada Gambar 12 dengan menggunakan kontrol fuzzy, bertujuan menguji keseluruhan sistem menggunakan kontrol. Dengan sumber panel surya, tegangan keluaran panel surya akan diatur konverter SEPIC menggunakan kontrol logika fuzzy untuk kontrol pengisian batrai CV. Pengambilan data dilakukan berdasarkan waktu. Perbandingan antara kedua metode *fix duty cycle* dan metode CV-Fuzzy disajikan pada Gambar 13 dan Gambar 14. Hasil data pengujian *close loop* dengan beban baterai menunjukkan bahwa logika fuzzy yang didesain dapat berjalan dengan menjaga tegangan keluaran cukup konstan pada 14,8 V. Dan saat *tracking duty cycle* untuk respon tegangan keluaran membutuhkan waktu sehingga perubahan tegangannya lambat. Sedangkan pada arus pengisian terlihat bahwa arus pengisian awal mengalami kenaikan hingga 4,94 A dan setelah itu mengalami

penurunan. Hal ini sesuai dengan karakteristik metode CV. Jika dibandingkan *open loop fix duty cycle* dan *close loop CV-Fuzzy* ada perbedaan, yaitu saat *open loop* tegangan keluarannya tidak bisa mencapai tegangan *charging* baterai, yakni 14,8 V .



Gambar 13 Perbandingan kurva Tegangan Pengisian *fix duty cycle* dan CV-Fuzzy



Gambar 14 Perbandingan kurva Arus Pengisian metode *fix duty cycle* dan CV-Fuzzy

IV. KESIMPULAN

Desain ini digunakan untuk prototipe rumah DC 12 V/200 W. Dari hasil pengujian karakteristik panel surya dapat menghasilkan daya maksimal sebesar 355,2 watt dengan nilai tegangan sebesar 15,08 V dan arus sebesar 23,56 A. SEPIC Converter yang telah dibuat dan dilakukan pengujian dapat bekerja secara fungsional menurunkan tegangan serta menaikkan tegangan. Dari hasil pengujian dengan variasi *duty cycle* menunjukkan bahwa nilai perubahan meningkatnya nilai *duty* dari 10% sampai pada 60% juga meningkatkan nilai tegangan keluaran Hasil dari pengujian *open loop* dengan beban baterai menunjukkan hasil yang cukup baik. Sedangkan hasil dari *close loop* dengan menggunakan CV-fuzzy, telah berkerja dan dapat menjaga tegangan keluaran konverter stabil 14,8 V saat iradiasi dan suhu berubah. Bisa dikatakan berkerja namun masih terdapat kekurangan dan permasalahan saat proses *tracking duty* untuk mencapai *setpoint*. Perbedaan antara pengujian *open loop* dan *close loop* yaitu saat *open loop* tegangan keluarannya tidak bisa mencapai tegangan *charging* baterai, yakni 14,8 V. Sedangkan pada pengujian *close loop* menggunakan logika fuzzy tegangan *charging* baterai mencapai *setpoint* dan tegangan keluaran konverter lebih stabil.

Diharapkan pada penelitian selanjutnya bisa dilanjutkan dengan melakukan perbandingan metode pengisian baterai atau sistem *balancing* baterai untuk kondisi pengisian dua baterai yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Nasution, “Muslih Nasution Karakteristik Baterai Sebagai Penyimpan Energi Listrik Secara Spesifik,” *Cetak) J. Electr. Technol.*, vol. 6, no. 1, pp. 35–40, 2021.
- [2] S. Yuwono, ; Diharto, ; Nugroho, W. Pratama, and U. N. Semarang, “Manfaat Pengadaan Panel Surya dengan Menggunakan Metode On Grid,” *Energi & Kelistrikan*, vol. 13, no. 2, pp. 161–171, 2021, [Online]. Available: <https://stt-pln.e-journal.id/energi/article/view/1537>
- [3] L. S. Mahendra, J. Makmunah, and K. Nisa, “Desain Perbandingan MPPT P&O dan IC pada Solar Sel 1500 WP Menggunakan Konverter SEPIC,” *JE-Unisla*, vol. 6, no. 1, p. 434, 2021, doi: 10.30736/je.v6i1.579.
- [4] K. Singh, H. Bansal, and D. Singh, “Hardware-in-the-loop Implementation of ANFIS based Adaptive SoC Estimation of Lithium-ion Battery for Hybrid Vehicle Applications,” *J. Energy Storage*, vol. 27, p. 101124, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.est.2019.101124.
- [5] G. Sinus, “Jurnal Ilmiah Setrum TEMPLATE,” vol. 8, no. 2, pp. 253–259, 2019, doi: 10.36055/setrum.v10i1.11916.
- [6] W. D. Mufty, D. O. Anggriawan, and M. Z. Efendi, “Baterai Charger Vrla Dengan Metode Constant Current Constant Voltage Berbasis Kontrol Pi,” *Sentrinov*, vol. 6, no. 1, pp. 235–243, 2020.
- [7] M. Amirul Haq, M. Rivai, and T. Tasripan, “Rancang Bangun Sistem Pengisian Baterai Nirkabel Menggunakan Mikrokontroler Teensy,” *J. Tek. ITS*, vol. 7, no. 2, 2019, doi: 10.12962/j23373539.v7i2.31323.
- [8] B. R. Peng, S. C. Wang, Y. H. Liu, and H. Yan-Syun, “A Li-ion battery charger

- based on remaining capacity with fuzzy temperature control,” *2016 IEEE/ACIS 15th Int. Conf. Comput. Inf. Sci. ICIS 2016 - Proc.*, pp. 1–5, 2016, doi: 10.1109/ICIS.2016.7550768.
- [9] K. Nisa’, R. S. Wibowo, V. L. B. Putri, and H. P. Utama, “Dynamic Security Optimal Power Flow Considering Wind Farm And Energy Storage With Line Outage Distribution Factor,” in *2020 10th Electrical Power, Electronics, Communications, Controls and Informatics Seminar (EECCIS)*, 2020, pp. 43–48. doi: 10.1109/EECCIS49483.2020.9263474.
- [10] E. Vuthchhay and C. Bunlaksananusorn, “Dynamic Modeling of a Zeta Converter with State-Space Averaging Technique,” in *2008 5th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology*, 2008, vol. 2, pp. 969–972. doi: 10.1109/ECTICON.2008.4600593.
- [11] J. Falin, “Designing DC/DC converters based on ZETA topology,” *Analog Appl. J. Texas Instruments Inc.*, vol. 2Q, pp. 16–21, 2010.
- [12] D. W. Hart, *Power Electronics*. McGraw-Hill, 2011. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=Z6aUCgAAQBAJ>
- [13] M. Luki Septya, I. Sudiharto, N. Syechu Dwitya, O. Asrarul Qudsi, and E. Sunarno, “Design And Implementation Soft-switching MPPT SEPIC Converter Using P&O Algorithm,” *E3S Web Conf.*, vol. 43, 2018, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184301010>
- [14] L. Zhang, L. Zhang, J. Yang, M. Gao, and Y. Li, “Application Research of Fuzzy PID Control Optimized by Genetic Algorithm in Medium and Low Speed Maglev Train Charger,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 152131–152139, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3123727.
- [15] F. Rahmatullah, “Desain dan Simulasi Battery Charger Metode CC-CV (Constant Current-Constant Voltage) dengan Kontrol Logika Fuzzy Menggunakan MATLAB,” *Cyclotron*, vol. 4, no. 2, pp. 18–22, 2021, doi: 10.30651/cl.v4i2.8621.