

Penggunaan *DC Buck Converter Voltage Regulator* sebagai Alternatif Pengatur Sistem Pengisian Baterai pada PLTS Off Grid

Fransiskus A. Widiharsa¹

¹Program Studi Teknik Mesin Universitas Merdeka Malang

Jl. Terusan Dieng No. 62-64 Klojen, Pisang Candi, Sukun, Malang, 65146, Jawa Timur, Indonesia.

¹fransiskus.widiharsa@unmer.ac.id

Abstrak—Pada PLTS *Off Grid* terdapat beberapa komponen penting yaitu, panel surya sebagai sumber energi, SCC (*Solar Charge Controller*) sebagai pengatur sistem pengisian listrik ke baterai, dan baterai sebagai penyimpan energi listrik produksi panel surya. Ada dua jenis SCC/ pengatur yang umum digunakan yaitu, SCC PWM (*Pulse Width Modulation*) dan SCC MPPT (*Maximum Power Point Tracking*). *DC Buck Converter Voltage Regulator* adalah rangkaian elektronika yang sering digunakan sebagai penurun tegangan DC. Penelitian ini bertujuan untuk menguji kinerja sistem pengisian baterai. Model pengujian yang digunakan terdiri dari 4 macam yaitu, Model A adalah pengisian baterai secara langsung dari panel surya, Model B adalah pengisian baterai menggunakan *DC Buck Converter Voltage Regulator*, Model C adalah pengisian menggunakan SCC tipe MPPT, dan Model D adalah pengisian menggunakan SCC tipe PWM. Sistem baterai yang digunakan bertegangan 24 V. Pengujian dilakukan mulai jam 6 pagi sampai jam 5 sore di lokasi dengan koordinat 112° BT dan 7,9° LS. Parameter pada pengujian ini meliputi intensitas surya, tegangan, arus, daya, energi surya total, energi panel, efisiensi panel surya, dan efisiensi pengisian baterai. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh energi surya yang diterima oleh panel surya sebesar 3.554 kWh. Kinerja pengisian baterai yang tertinggi diperoleh pada Model B ditinjau dari daya panel, energi panel, efisiensi panel, daya pengisian, energi pengisian, dan persentase efisiensi pengisian listrik baterai tertinggi secara berurutan sebesar 919 W, 477Wh, 13,4%, 85W, 419Wh, 88%. Hasil akhir yang diperoleh menunjukkan bahwa *DC Buck Converter Voltage Regulator* dapat digunakan sebagai alternatif untuk sistem pengatur pada pengisian listrik pada baterai dari panel surya.

Kata kunci— baterai, daya, efisiensi, energi, PLTS, SCC.

Abstract—In the solar power off-grid system, several important components are required, including: solar panels as a source power, SCC (*Solar Charge Controller*) as the controller for the electric charge system from solar panel to the battery, and batteries as stored products from solar panels. There are two types of SCC/controllers commonly used, SCC PWM (*Pulse Width Modulation*) and SCC MPPT (*Maximum Power Point Tracking*). *DC Buck Converter Voltage Regulator* is an electronic circuit that is often used as a DC voltage reducer. The purpose of this study is to find out the performance of 4 test models; Model A is charging the battery directly from solar panels, Model B is charging the battery using *DC Buck Converter Voltage Regulator*, Model C is charging using SCC type MPPT, and Model D is charging using SCC type PWM. The battery system used has a voltage of 24 V. Tests were carried out from 6 am to 5 pm at locations with coordinates 112°E and 7.9°S. The parameters of research consists of solar intensity, voltage, current, power, total solar energy, panel energy, solar panel efficiency, and battery charging efficiency. The solar energy obtained from this research is 3,554kWh. The highest battery charging performance was obtained in Model B in terms of panel power, panel energy, panel efficiency, charging power, charging energy, and the highest percentage of battery charging efficiency respectively at 91 W, 477 Wh, 13.4%, 85W, 419Wh, 88%. The final results obtained indicate that the voltage controller of the Buck DC converter can be used as an alternative to a controller system to charge electricity to batteries from solar panels.

Keywords— battery, efficiency, energy, solar power, power, SCC.

I. PENDAHULUAN

Energi surya merupakan salah satu energi terbarukan penghasil listrik dengan potensi yang sangat besar di Indonesia. Potensi energi surya yang ada sebesar 47% (207.898 MW) dari bauran energi terbarukan yang ada di Indonesia. Pemerintah juga menargetkan untuk memanfaatkan 3% (6.379 MW) dari potensi yang ada pada tahun 2025 [6]. Kapasitas PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) per Agustus 2021 berjumlah 91,9 MW yang berarti pemanfaatan energi surya yang digunakan masih dibawah 0,1% dari potensi yang ada [8]. Hal ini menyebabkan pemerintah Indonesia secara intensif menggalakkan program PLTS atap pada masyarakat [10]. Pemerintah Indonesia juga sudah menetapkan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 26 Tahun 2021 tentang pembangkit listrik tenaga

surya atap yang terhubung pada jaringan tenaga listrik pemegang izin usaha penyediaan tenaga listrik untuk kepentingan umum. Peraturan ini ditetapkan guna mendorong pemanfaatan energi surya yang ramah lingkungan untuk pembangkitan tenaga listrik menggunakan sistem pembangkit listrik tenaga surya atap yang digunakan untuk kepentingan sendiri dan kepentingan umum [9].

Secara garis besar PLTS atap yang ada terdiri dari PLTS On Grid dan PLTS Off Grid [1]. Sistem PLTS On Grid merupakan sistem panel surya yang menghasilkan daya ketika jaringan daya dari utilitas tersedia (PLN). Panel surya mengubah energi surya menjadi energi listrik. Arus searah (DC) nantinya akan diubah oleh inverter menjadi AC. Setelah itu listrik langsung dialirkan ke jaringan PLN sehingga dapat digunakan. Skema PLTS Off Grid dapat dilihat Gambar 1. Pada PLTS Off Grid, energi surya diubah menjadi energi listrik menggunakan panel surya. Setelah itu energi listrik harus diatur arus dan tegangannya menggunakan SCC (*Solar Charge Controller*). Dari SCC kemudian energi listrik diisikan pada baterai [2].



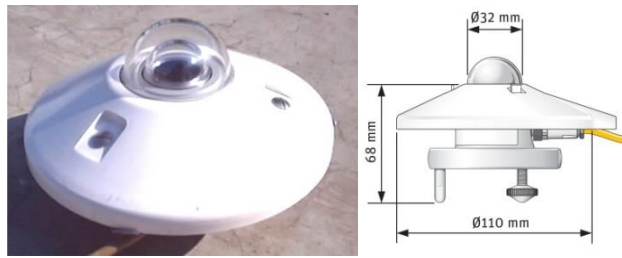
Gambar 1 . Skema Sistem Pengisian Listrik Pada Baterai dengan Panel Surya

SCC merupakan alat untuk mengatur aliran energi listrik yang dihasilkan panel surya. SCC berfungsi untuk menyesuaikan arus listrik yang masuk ke dalam baterai, supaya baterai tidak mengalami *over-charge* atau kelebihan pengisian [2]. Sistem pengisian listrik pada baterai secara langsung masih bisa dipertimbangkan ketika dayanya rendah [3]. Sistem pengisian yang aman untuk baterai membutuhkan pengatur tegangan yang tidak terlalu tinggi bedanya dengan tegangan baterai. Terdapat dua jenis SCC (*Solar Charge Controller*) yang umum digunakan yaitu, SCC *Pulse Width Modulation* (PWM) dan SCC *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). SCC PWM mengatur aliran energi ke baterai dengan cara mengurangi arus secara bertahap. Saat baterai penuh, PWM akan terus mengalirkan sedikit daya untuk menjaga baterai tetap penuh. MPPT bekerja dengan cara membatasi output daya untuk memastikan baterai tidak diisi secara berlebihan. Sebagai hasilnya, output keseluruhan akan meningkat sehingga dapat menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi [8].

DC Buck Converter Voltage Regulator adalah modul yang berfungsi sebagai penurun tegangan DC dengan metode *switching*. Modul ini mudah ditemui di toko elektronik dan memiliki harga yang terjangkau jika dibandingkan dengan SCC MPPT atau PWM. Modul ini juga mampu menurunkan dan mendekatkan tegangan panel surya dalam batasan yang ditentukan agar sesuai dengan proses pengisian baterai [13]. Dengan prinsip ini maka modul ini dapat dipertimbangkan sebagai komponen sistem pengatur alternatif untuk pengisian pada baterai dari panel surya. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja penggunaan *DC Buck Converter Voltage Regulator* dibandingkan dengan pengisian surya secara langsung dari panel ke baterai dan pengisian menggunakan SCC MPPT dan PWM. Parameter yang ditinjau meliputi intensitas radiasi matahari, tegangan, arus, daya, energi surya total, energi panel, efisiensi panel surya, dan efisiensi pengisian baterai.

II. METODE

Alat dan bahan yang digunakan yaitu, pyranometer, panel surya 60 Wp monocrystalline 8 buah dengan masing-masing model menggunakan 2 panel, SCC PWM 10 A, SCC MPPT 10 A, *DC buck converter voltage regulator*, dioda 10 A, baterai, dan wattmeter.



Gambar 2 Pyranometer

Spesifikasi pyranometer [12]:

Model : CMP 3 Kipp Zonen
 Sensitivitas : $21.13\text{mV} = 1000\text{w/m}^2$
 Tipe detektor : Thermopile
 Radiasi Maksimum : 2000W/m^2



Gambar 3 Panel Surya

Spesifikasi panel surya [16]

Model : MS60M-36
 Voltage at Pmax (VMP) : 18.2 V
 Current at Pmax (IMP) : 3.34 A
 Berat : 3.89 kg
 Dimensi : 540 mm x 680 mm x 30mm
 Jumlah : 8 buah



Gambar 4 SCC PWM

Spesifikasi SCC PWM [15]

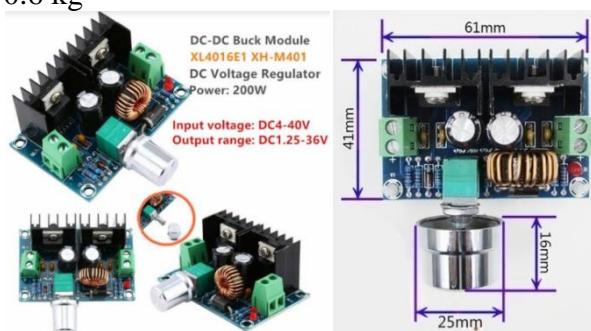
Model Number : RBL-10A
 Max Voc : 24V (12V), 48V (24V)
 Max Power : 120W (12V), 240W (24V)
 Kondisi Temperatur : $35^{\circ}\text{C} \pm 60^{\circ}\text{C}$
 Dimensi : 150 mm x 78 mm x 35mm
 Berat : 180 g



Gambar 5 SCC MPPT

Spesifikasi SCC MPPT [14] :

- Model : Epever MPPT Solar Charge Controller 10 A
- Max Input Voltage : 100V
- Max PV Input Power : 130W (12V), 260W (24V)
- Suhu Operasi : 25°C± 40°C
- Dimensi : 172 mm x 139 mm x 44 mm
- Berat : 0.6 kg



Gambar 6 DC Buck Converter Voltage Regulator

Spesifikasi DC Buck Converter Voltage Regulator [13] :

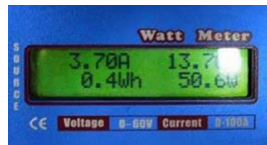
- Model : DC DC Step Down XH-M401 (XL4016)
- Tegangan Input : 4-40 V
- Tegangan Output : 1.25-36 Volt
- Arus Output max : 8A
- Max. Power Output : 200W
- Switching frequency : 180KHz
- Suhu operasi : -45°C± 85°C
- Dimensi : 61 mm x 41 mm x 27mm



Gambar 7 Baterai

Spesifikasi Baterai

- Model : INCOE N50Z
- Kapasitas maksimum : 60 Ah
- Dimensi : 260 mm x 173 mm x 204 mm
- Berat : 9.9 kg



Gambar 8 Wattmeter

Spesifikasi Wattmeter

Model	: WU100v2
Tegangan	: 0-60 V
Arus	: 0-100 A
Daya	: 0-6554 W
Pengisian	: 0-65 Ah
Energi	: 0-6554 Wh
Dimensi	: 2.8 inch x 1.7 inch x 0.83 inch

Model pengujian terdiri dari 4 macam yaitu; Model A, B, C, dan D sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9. Keterangan model sebagai berikut. Model A adalah sistem pengisian baterai secara langsung dari panel surya. Model B adalah pengisian baterai menggunakan *DC Buck Converter Voltage Regulator*. Model C adalah. Model D adalah pengisian menggunakan SCC tipe PWM. Untuk model B, tegangan pengisian baterai diatur pada modul *Buck Converter* sebesar 15, V. Pengujian ini dilakukan secara kuantitatif pada tanggal 17 Agustus 2021, dari matahari terbit hingga terbenam. Data yang diambil berupa waktu, intensitas radiasi matahari, tegangan, arus, daya, energi surya total, energi panel, efisiensi panel surya, dan efisiensi pengisian baterai.

Intensitas radiasi matahari diukur menggunakan pyranometer. Pembacaan skala intensitas pyranometer menggunakan voltmeter satuan mV ($G_{\text{pyranometer}}$). Skala konversi pembacaan alat pengukur intensitas dengan merk Kipp and Zonen dapat dilihat pada persamaan 1. Intensitas radiasi matahari dinyatakan dalam satuan Watt/m² [5].

$$G_{\text{solar}} = \frac{G_{\text{pyranometer}}}{21.3 \times 1000} \quad (1)$$

Tegangan listrik merupakan beda potensial listrik antara dua titik dalam rangkaian listrik. Satuan tegangan dinyatakan dalam Volt. Rumus tegangan dapat dilihat di persamaan 2. dimana, V adalah tegangan, I adalah arus dan R adalah hambatan [4].

$$V = I \times R \quad (2)$$

Arus listrik merupakan laju aliran muatan listrik q yang melewati suatu bagian per satuan waktu t. Satuan dari arus listrik adalah Ampere [4]. Perhitungan arus dapat dilihat di persamaan 3.

$$I = \frac{q}{t} = \frac{V}{R} \quad (3)$$

Daya panel surya merupakan daya yang dapat dihasil oleh panel surya. Daya panel surya adalah hasil perkalian dari tegangan panel surya dan arus panel surya. Daya (P) dinyatakan dalam satuan Watt [4]. Perhitungan dapat dilihat pada persamaan 4.

$$P = V \times I \quad (4)$$

Energi surya adalah potensial energy surya yang diterima luasan permukaan. Energi surya bergantung pada besar intensitas radiasi surya yang diukur dengan pyranometer dikalikan dengan luas permukaan panel selama waktu tertentu.

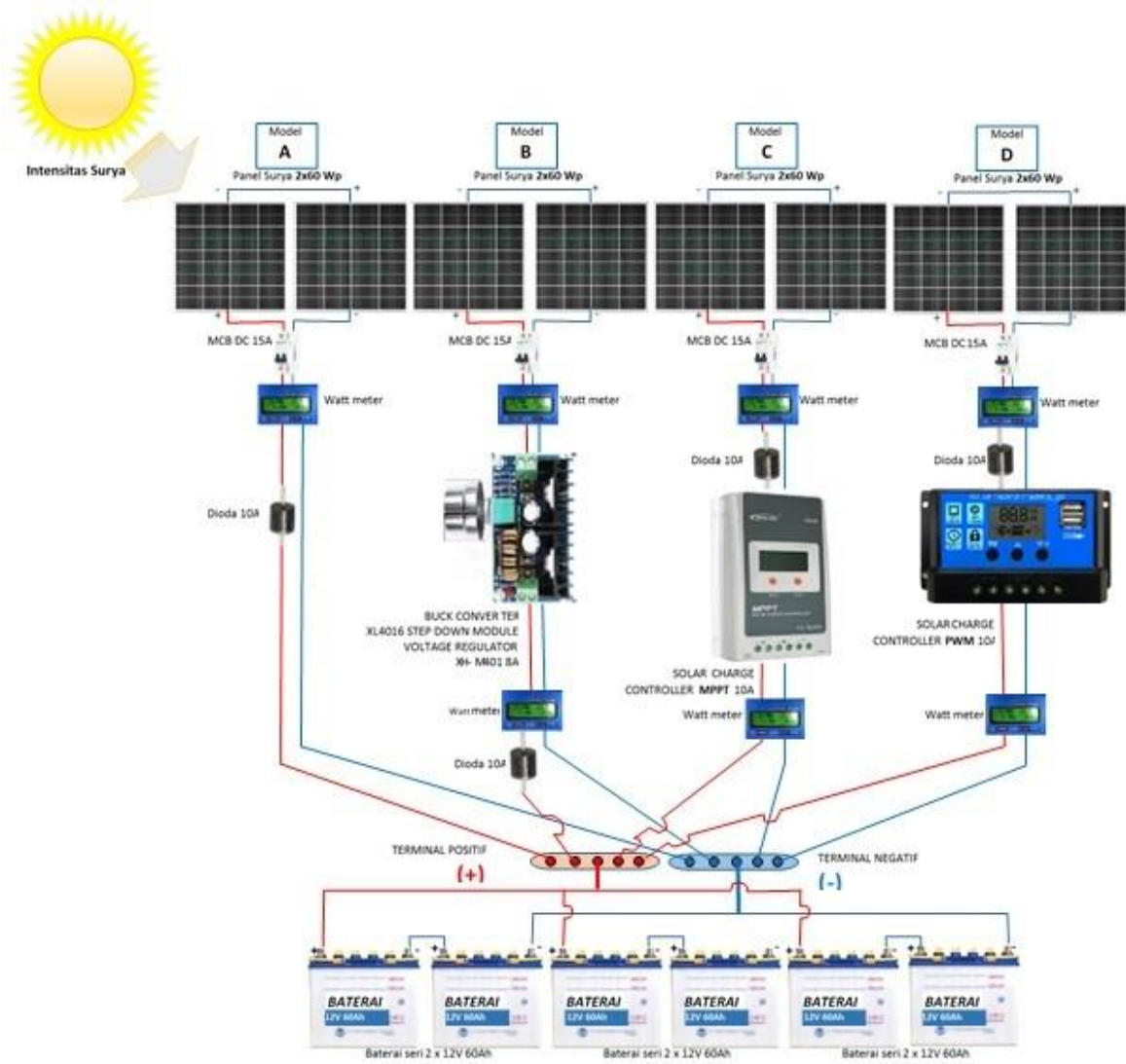
$$E_s = G_{\text{solar}} \times A \times t \quad (5)$$

Energi panel adalah energi yang dihasilkan oleh panel surya dalam permukaan panel dan merupakan total penjumlahan daya listrik selama waktu tertentu.

$$E_p = V \times I \times t \quad (6)$$

Energi pengisian baterai adalah energi yang yang disimpan dalam baterai melalui sistem.

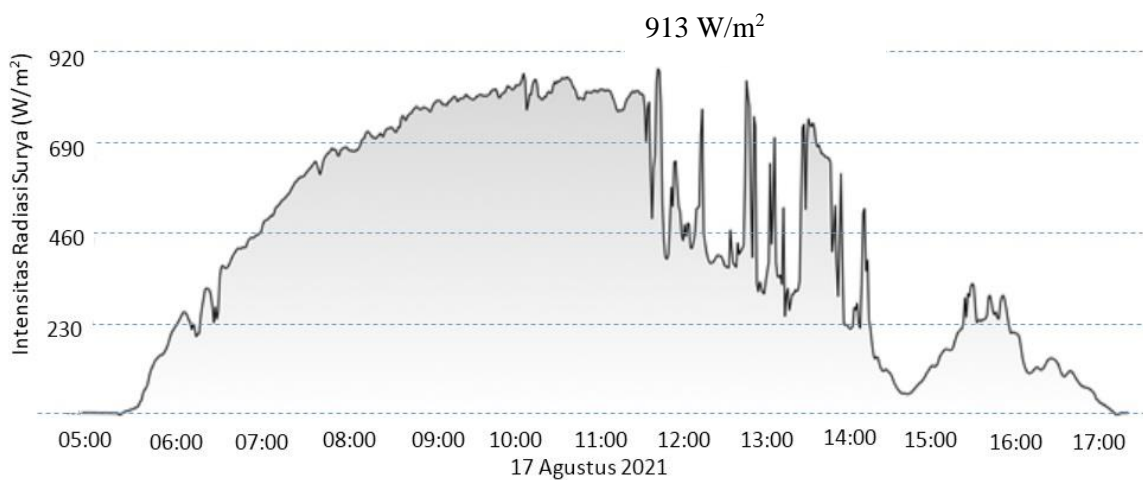
$$E_b = V \times I \times t \quad (7)$$



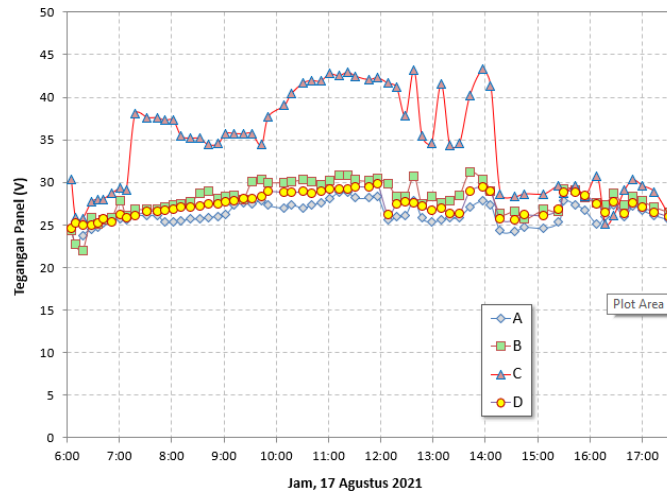
Gambar 9 Rangkaian Model Pengujian

III. HASIL

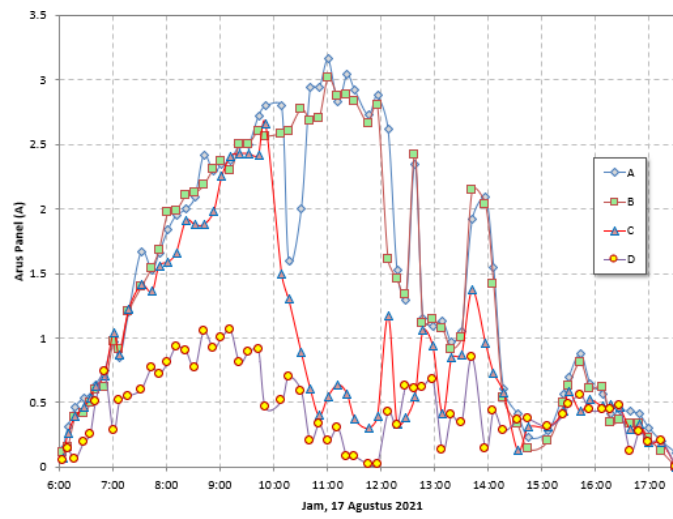
Total energi surya tersedia yang didapatkan selama pengujian sebesar 3554,3Wh. Intensitas radiasi surya maksimum yang didapatkan sebesar 913 W/m² pada pukul 11:50.



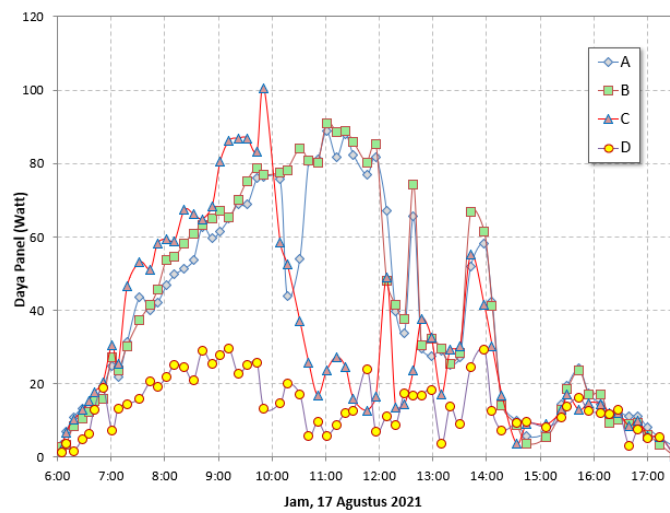
Gambar 10 Intensitas Radiasi Surya



Gambar 11 Tegangan Panel Surya



Gambar 12 Arus Panel Surya



Gambar 13 Daya Panel Surya

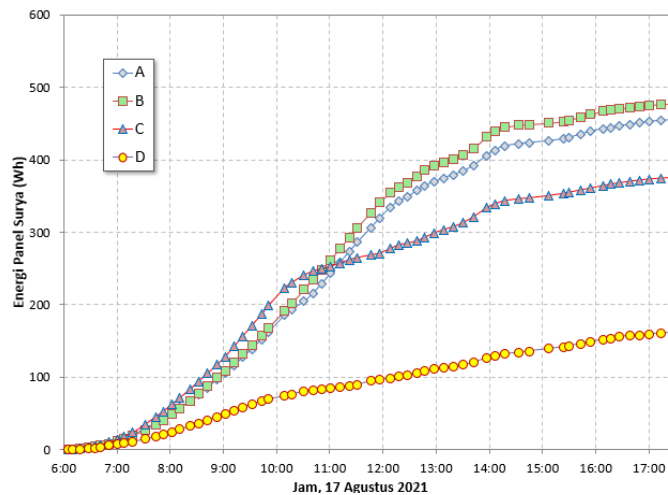
Hasil uji untuk tegangan listrik panel surya ditampilkan pada Gambar 11. Model A memiliki tegangan dengan kisaran antara 24V-28V. Model B memiliki tegangan dengan kisaran antara 22V-32V, Model C

memiliki tegangan dengan kisaran antara 25V-44V, Model D memiliki tegangan dengan kisaran antara 24V-29V.

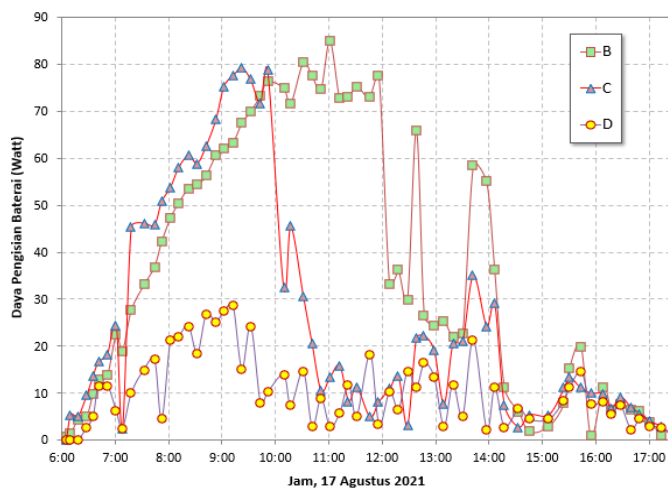
Hasil uji untuk arus listrik yang dihasilkan panel surya terlihat pada Gambar 12. Keempat model pengujian mengalami peningkatan arus yang beriringan mulai pukul 06:00 sampai 10:00. Arus maksimum panel selama pengujian diperoleh Model A pada pukul 11:00 sebesar 3,1A. Pada Model B mengalami peningkatan mencapai daya maksimum pada pukul 11:00 sebesar 3A. Model D mencapai arus maksimum pada pukul 09:25 sebesar 1A. Pada model terjadi penurunan arus yang dihasilkan panel surya pada pukul 10:00. Hal ini terjadi karena secara bersamaan tegangan meningkat cukup tinggi di atas 40V (gambar 11), sehingga arus sulit dan menurun masuk ke baterai [14].

Hasil uji untuk daya panel surya, kurvanya serupa dengan karakteristik arus listrik yang dihasilkan panel surya, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 13. Keempat model pengujian mengalami peningkatan daya yang beriringan mulai pukul 06:00 sampai 10:00. Daya maksimum panel selama pengujian diperoleh Model C pada pukul 09:50 sebesar 100W. Pada Model A dan B mengalami peningkatan mencapai daya maksimum pada pukul 11:00 sebesar 90W. Model D mencapai daya maksimum pada pukul 09:25 sebesar 30W. Pada pukul 10:30 Model A, C, dan D mengalami penurunan sedangkan pada Model B mengalami peningkatan.

Hasil uji mengenai energi panel surya terlihat pada Gambar 14. Energi panel surya yang terbesar diperoleh pada Model B sebesar 477,07Wh.

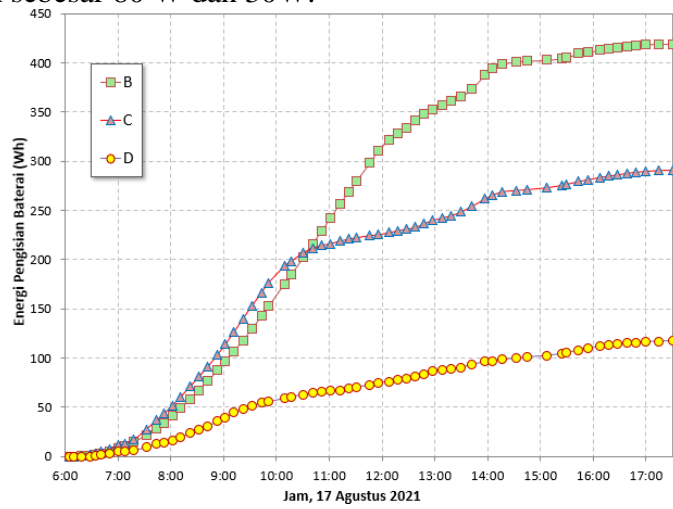


Gambar 14 Energi Panel Surya

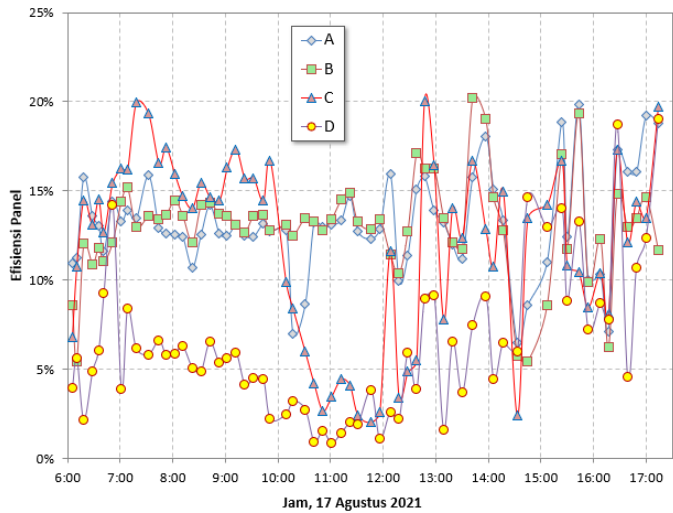


Gambar 15 Daya Pengisian Baterai

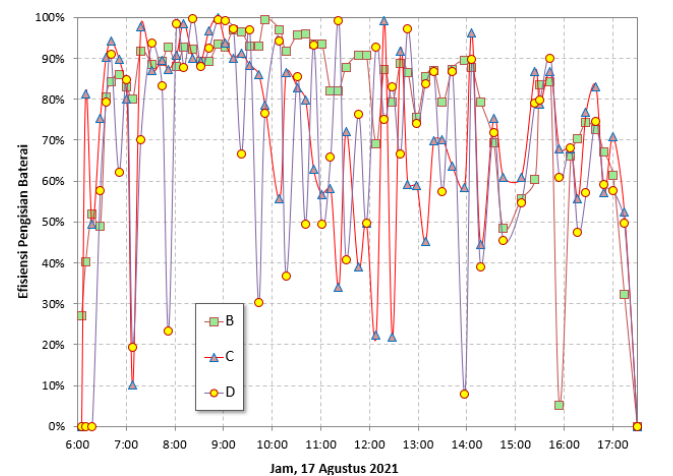
Hasil uji untuk daya pengisian baterai ditampilkan pada Gambar 15. Daya pengisian baterai maksimum diperoleh pada Model B pukul 11:00 sebesar 85W. Pukul 09:15 Model C dan D mencapai daya panel maksimum secara berurutan sebesar 80 W dan 30W.



Gambar 16 Grafik Energi Pengisian Baterai



Gambar 17 Grafik Efisiensi Panel Surya



Gambar 18 Grafik Efisiensi Pengisian Listrik pada Baterai

Gambar 16 menunjukkan bahwa energi pengisian baterai terbesar diperoleh Model B sebesar 419,14Wh. Gambar 17 menunjukkan bahwa presentase efisiensi maksimum panel surya terdapat pada Model B sebesar 21%. Gambar 18 menunjukkan bahwa presentase efisiensi maksimum panel surya terdapat pada Model B sebesar 87,9%.

TABEL I
HASIL PARAMETER UJI

Model Pengujian	Kondisi Pengisian Listrik dari Panel Surya ke Baterai	Daya Panel Maksimum (W)	Energi Panel (Wh)	Efisiensi Panel	Efisiensi Panel Rata-Rata	Daya Pengisian Baterai Maksimum (W)	Energi Pengisian Baterai (Wh)	Efisiensi Pengisian Baterai
A	Langsung dari panel tanpa SCC	88,8	454,93	12,8%	13,2%			
B	<i>DC Buck Converter Voltage Regulator</i>	90,9	477,07	13,4%	13,2%	84,97	419,14	87,9%
C	SCC MPPT	100,42	374,97	10,5%	11,9%	79,21	290,96	77,6%
D	SCC PWM	29,54	161,15	4,5%	6,3%	28,75	117,34	72,8%

IV. PEMBAHASAN

Intensitas radiasi matahari yang diperoleh dalam pengujian ini dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain, kondisi awan, bidang permukaan, sudut sinar datang, dan lamanya penyinaran matahari. Gambar 10 menunjukkan bahwa radiasi matahari terus meningkat hingga pukul 11:40 lalu perlahan menurundikarenakan kondisi cuaca mendung berawan. Energi surya yang diterima pada permukaan panel surya sebesar 3554,3 Wh. Radiasi surya maksimum yang didapatkan sebesar 913 W/m².

Macam-macam model pengujian berpengaruh pada tegangan panel yang dihasilkan. Pada Gambar 11 menunjukkan bahwa Model C mencapai tegangan maksimum pada pukul 13:50 sebesar 44V. Pada pukul 07:00-14:00, Model C memiliki tegangan yang lebih tinggi dibanding Model A, B, dan D. Hal ini dikarenakan prinsip kerja dari SCC MPPT yang menyesuaikan tegangan untuk mendapatkan daya maksimum. Kondisi baterai yang penuh serta intensitas radiasi matahari yang tinggi juga akan mengakibatkan MPPT secara otomatis membatasi daya yang masuk dengan cara menaikkan tegangan yang masuk [8]. Model B memiliki grafik yang cukup stabil karena, prinsip kerja *DC Buck Converter Voltage Regulator* sebagai pengatur tegangan manual sehingga tegangan yang dihasilkan mengikuti batasan tegangan pengisian yang sudah diatur dengan tegangan pada baterai. Model D memiliki grafik yang cukup stabil karena, prinsip kerja SCC PWM mengatur aliran energi listrik ke baterai dengan mengurangi arus secara bertahap. Saat kondisi baterai sudah hampir penuh SCC PWM akan menurunkan arus sehingga daya yang masuk akan sesuai dengan tegangan dari baterai. Tegangan Model A yang didapatkan cukup stabil. Kisaran tegangan model C merupakan yang tertinggi dibanding model yang lainnya. Hal ini sesuai dengan karakteristik model C (SCC MPPT) yang terus menyesuaikan tegangan untuk menghasilkan daya maksimum [14].

Gambar 12 menunjukkan, pada pukul 11:00 arus panel model C dan D menurun hingga mencapai sebesar 0,4A dan 0,3A, sedangkan Model A dan B mencapai puncak arus maksimum secara berurutan sebesar 3,1A dan 3A. Hal ini dikarenakan SCC baik MPPT maupun PWM memiliki pengaturan atau kontrol tegangan. Setting kontrol pada SCC berfungsi untuk mengatur arus yang masuk menyesuaikan dengan kondisi tegangan baterai, sehingga pada saat arus tinggi maka tegangan panel diturunkan. [11] Pada SCC MPPT, tegangan panel akan menyesuaikan dengan arus, tegangan berlebih dapat dikonversi dengan menurunkan tegangan dan menaikkan arus untuk mendapatkan daya maksimum. [14] Sedangkan pada SCC PWM tegangan tinggi diturunkan sementara arusnya tetap, [15]

TABEL II
12V LEAD ACID FLOODED VOLTAGE [11]

Persentase	Resting, no discharge or charging	Discharging only	Charging 100% more than discharge	Charging and discharge
100%	12.78	12.59	13.34	13.78
95%	12.67	12.52	13.05	13.71
90%	12.62	12.45	13.02	13.64
85%	12.53	12.38	12.96	13.57
80%	12.5	12.31	12.9	13.5
75%	12.43	12.24	12.84	13.43
70%	12.37	12.17	12.78	13.36
65%	12.3	12.1	12.72	13.29
60%	12.24	12.03	12.66	13.22
55%	12.17	11.96	12.6	13.15
50%	12.1	11.89	12.54	13.08
45%	12.03	11.82	12.48	13.01
40%	11.96	11.75	12.42	12.94
35%	11.88	11.68	12.36	12.87
30%	11.81	11.61	12.3	12.8
25%	11.73	11.54	12.24	12.73
20%	11.66	11.47	12.18	12.66
15%	11.58	11.4	12.1	12.6
10%	11.5	11.33	12.02	12.54

Gambar 13 menunjukkan kondisi daya panel selama pengujian. Keempat model pengujian mengalami peningkatan daya mulai pukul 06:00 sampai 10:00. Daya maksimum panel selama pengujian diperoleh Model C pada pukul 09:50 sebesar 100,42W. Model A dan B mencapai daya maksimum pada pukul 11:00 sebesar 88,8W dan 90,9W. Model D mencapai daya maksimum pada pukul 09:25 sebesar 29,54W. Pada pukul 10:30 Model A, C, dan D mengalami penurunan sedangkan pada Model B mengalami kenaikan. Model B menghasilkan daya pengisian baterai yang lebih tinggi dibandingkan dengan model lainnya. Hal ini disebabkan karena penurunan arus yang terjadi. Penurunan arus disebabkan oleh kondisi baterai yang sudah penuh [11].

Gambar 14 menunjukkan energi panel yang terkumpul pada keempat model pengujian. Dapat dilihat pada Tabel 1 energi panel terbesar sebesar 477,07Wh diperoleh pada Model B dengan menggunakan *DC Buck Converter Voltage Regulator* sebagai pengatur. Model A, C, dan D memiliki energi panel secara berurutan sebesar 454,39Wh, 374,97 Wh, dan 161,5 Wh

Gambar 15 menunjukkan pergerakan daya pengisian baterai yang dihasilkan pada keempat model pengujian. Model C dan D memiliki daya pengisian baterai sebesar 79,2W dan 28,75W. Pada Tabel 1 daya pengisian baterai dan energi terbesar didapatkan oleh Model B sebesar 84,97W dan 419,14Wh. Gambar 16 menunjukkan energi yang diisikan pada baterai. Energi pengisian baterai yang didapatkan Model C dan D sebesar 290,6Wh dan 117,34Wh. Model B yang adalah *DC Buck Converter Voltage Regulator*, cukup stabil menunjukkan performa terbaik dibandingkan model yang lain. Model C, D masing-masing adalah SCC PWM dan MPPT dilengkapi dengan kontrol yang berfungsi mengatur kondisi daerah batas tegangan yang diijinkan untuk pengisian baterai. Saat intensitas surya cukup besar pada siang hari maka tegangan panel berada diluar daerah tegangan pengisian aman bagi baterai maka SCC memutuskan aliran arus dan daya masuk ke baterai, untuk menjaga kondisi baterai tetap aman sebagaimana fungsi SCC [14][15].

Efisiensi panel surya adalah perbandingan antara energi yang dihasilkan oleh panel surya dengan energi yang diterima oleh permukaan panel. Gambar 17 menunjukkan grafik efisiensi panel surya keempat model pengujian. Efisiensi panel terbesar diperoleh pada Model B sebesar 13,4%. Model A, C, dan D secara berurutan sebesar 12,8%, 10,5% dan 4,5%

Efisiensi pengisian listrik pada baterai adalah perbandingan antara energi yang dihasilkan oleh panel dengan energi yang mengalir dan disimpan ke baterai. Gambar 18 menunjukkan grafik efisiensi pengisian yang dimiliki oleh Model B, C, dan D. Efisiensi pengisian listrik pada baterai terbesar didapatkan pada Model B senilai 87,9%. Model C dan D memiliki efisiensi pengisian baterai sebesar 77,6% dan 72,8%.

V. KESIMPULAN

DC Buck Converter Voltage Regulator dapat digunakan sebagai alternatif komponen pengatur sistem pengisian baterai. Modul ini memiliki hasil kinerja yang baik ditinjau dari parameter uji yaitu, daya maksimum yang dihasilkan panel surya 2x60Wp sebesar 91W, energi yang dihasilkan sebesar 477Wh, daya pengisian baterai maksimum sebesar 85W, energi pengisian baterai sebesar 419Wh, dan efisiensi pengisian baterai sebesar 88%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan rasa syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan penyertaan dan kemudahan selama penelitian ini berlangsung. Terima kasih juga disampaikan kepada Direktorat Pembelajaran dan Kemahasiswaan melalui Pelaksanaan Pekerjaan Perguruan Tinggi Penerima Bantuan Kerja Sama Kurikulum dan Implementasi Merdeka Belajar Kampus Merdeka Tahun 2021 dengan Nomor Kontrak 088/E2/PPK/SPK/KSKI-MBKM/2021 tertanggal 05 Mei 2021.

REFERENSI

- [1] A. Rachmi, dkk. *Panduan Perencanaan dan Pemanfaatan PLTS Atap di Indonesia*, Jakarta, Indonesia: Tetra Tech ES., Inc.2020
- [2] B. Ramadhani, *Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dos and Don'ts*, Jakarta, Indonesia:Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). 2018
- [3] D. Kusdiana, *Panduan Pengelolaan Lingkungan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)*.Jakarta, Indonesia. KESDM, 2020
- [4] H. A. Wade. *Solar Photovoltaic Systems Technical Training Manual*, Banglore, India:UNESCO. 2003
- [5] F. A. Widiharsa, dkk. *Modul Praktikum Teknik Tenaga Surya Fotovoltaik*, Malang, Indonesia:UNMER. 2020
- [6] Y. Saefulhak, *Energi Terbarukan: Energi untuk Kini dan Nanti*, Jakarta, Indonesia: IESR.2017
- [7] T. Haryanto, H. Charles, dan H. Pranoto, "Perancangan Energi Terbarukan Solar Panel untuk Essential Load dengan Sistem Switch," ISSN 2549-2888 *Jurusan Teknik Mesin*, hal 41-50, Feb. 2021
- [8] T. Majaw, dkk, "Solar Charge Controllers using MPPT and PWM: AReview," *ADB U Journal of Electrical and Electronics Engineering*, Vol 2 Issue 1, Feb. 2018
- [9] (2021) KESDM-RI website [Online]. Available: <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/semakin-ekonomis-pengguna-plts-atap-diharapkan-terus-bertambah>
- [10] (2021) KESDM-RI website [Online]. Available: <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/ini-tiga-jurus-ekspansi-tenaga-surya>
- [11] (2021)DIY Solar website [Online]. Available: <https://diysolarforum.com/threads/fully-charged-maximum-depletion.23453/>
- [12] *CMP Series Pyranometer*, Kipp and Zonen, 2016
- [13] *8A 180KHz 40V Buck DC to DC Converter*, XLSEMI, 2016
- [14] *MPPT Solar Charge Controller PTR Tracer Series (10A/20A/30A/40A 12V/24V)*, Photonic Universe, 2016
- [15] *SCC PWM RBL-10A*, POWMR, 2016
- [16] *JSKYE Monocrystalline Solar Cell*, Sky Energy. 2020