

Analisis Kinerja Solar *Charge Controller* Menggunakan *Thyristor* dengan Sumber Energi Hibrida

Ferdyanto^{1,3*}, Hadi Sutanto^{1,2}, Mufti Ahmad Fadilah³, Raden Danuprawira Harris³,
Muhammad Raihan Fadlurrahman³

¹Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Biosains, Teknologi, dan Inovasi, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jalan Jenderal Sudirman 51 Jakarta 12930

²Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Biosains, Teknologi, dan Inovasi, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jalan Jenderal Sudirman 51 Jakarta 12930

³Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta, Jalan R.S. Fatmawati No. 1, Jakarta Selatan, DKI Jakarta 12450

Article Info

Abstract

Article history:

Received
June, 04 2025

Accepted
July, 14 2025

Keywords: Battery,
Charging, Electric
Motorcycle, Solar Panel,
Thyristor.

This study aims to enhance innovation in electric motorcycle battery charging systems using solar panels as the energy source. A 14-day performance comparison was conducted between a thyristor-based charger and a conventional charger, with current and voltage data recorded from PLN grid and solar power sources. The maximum charging power from the PLN grid reached 359.21 W with a 4.5-hour charging time, while the solar panel produced 621.71 W with a 2.5-hour charging time. The hybrid system using a 3A power supply achieved 3.103 W. These results align with the calculated power based on the specified input and output parameters.

Info Artikel

Abstrak

Histori Artikel:

Diserahkan:
04 Juni 2025

Diterima:
14 Juli 2025

Kata Kunci: Baterai,
Charger, Sepeda Motor
Listrik, Panel Surya,
Thyristor.

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan inovasi pada sistem pengisian baterai sepeda motor listrik dengan memanfaatkan panel surya sebagai sumber energi. Perbandingan performa dilakukan selama 14 hari antara *charger* berbasis *thyristor* dan *charger* konvensional, dengan pengambilan data arus dan tegangan dari sumber listrik PLN dan panel surya. Daya maksimum pengisian dari sumber PLN mencapai 359,21 W dengan waktu pengisian 4,5 jam, sedangkan panel surya menghasilkan 621,71 W dengan waktu pengisian 2,5 jam. Sistem *hybrid* menggunakan *power supply* 3A mencapai 3,103 W. Hasil tersebut konsisten dengan perhitungan daya berdasarkan parameter input dan output yang ditentukan.

1. PENDAHULUAN

Pengisi daya berbasis tenaga surya merupakan perangkat yang tersusun dari kumpulan sel surya yang dirancang secara sistematis untuk mengoptimalkan penyerapan energi cahaya matahari. Sel-sel ini yang dikenal dengan istilah sel fotovoltaik (PV), memiliki peran utama dalam proses konversi langsung energi radiasi matahari menjadi energi listrik melalui efek fotovoltaik. Sel fotovoltaik akan menghasilkan arus listrik secara kontinu selama menerima paparan sinar matahari, dengan posisi optimal menghadap langsung ke arah datangnya sinar. Energi listrik yang dihasilkan oleh sel ini berupa arus searah (DC), menjadikannya komponen vital dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya (Dilla, B,

*Corresponding author. Ferdyanto
Email address: ferdy9777@gmail.com

Wilyanti, S., Antono, Z.M., Widi,B., Jaenul, A., Pangestu, A., 2022) (Istiqomah, S., Sutopo,W., Hisjam, M., Wicaksono, H., 2022) (Saodah and Hariyanto, 2019).

Thyristor atau yang lebih dikenal dengan istilah teknis *silicon controlled rectifier* (SCR), merupakan salah satu perangkat semikonduktor yang esensial dalam pengendalian arus listrik, baik untuk daya rendah maupun tinggi. Perangkat ini memiliki kapabilitas untuk mengubah arus searah menjadi arus bolak-balik, serta sebaliknya. Meskipun prinsip operasinya serupa dengan dioda, *thyristor* dilengkapi dengan terminal gerbang (*gate*) yang berfungsi mengatur besar kecilnya tegangan keluaran berdasarkan sudut penyalan. Sudut penyalan ini mengacu pada selang waktu dari munculnya tegangan positif hingga saat *thyristor* mulai menghantarkan arus yang memungkinkan kontrol lebih presisi terhadap daya listrik (Oktaviastuti and Wijaya, 2017).

Baterai lithium-polymer (Li-Po) merupakan jenis baterai yang memiliki karakteristik mirip dengan baterai lithium-ion (Li-Ion) namun menggunakan elektrolit berbasis polimer padat berbentuk film tipis sebagai pengganti elektrolit cair. Pertukaran ion antara elektroda positif (katoda) dan negatif (anoda) berlangsung melalui lapisan film tersebut. Pendekatan ini memungkinkan fleksibilitas tinggi dalam perancangan ukuran dan bentuk baterai, menjadikannya cocok untuk berbagai aplikasi modern.

Arsitektur baterai Li-Po tidak lepas dari tantangan teknis yang salah satunya adalah rendahnya efisiensi perpindahan ion dalam elektrolit padat, yang menyebabkan proses pengisian dan pengosongan menjadi lebih lambat. Meski peningkatan suhu dapat mempercepat mobilitas ion, pendekatan tersebut dinilai kurang efisien dan tidak praktis untuk aplikasi sehari-hari. Oleh karena itu, apabila tantangan ini berhasil diatasi melalui inovasi teknologi, potensi risiko yang berkaitan dengan keamanan baterai litium dapat diminimalkan secara signifikan (Purwoto, B.H., Jatmiko,J., Fadilah,M.A., Huda,I.F., 2018).

2. METODE PELAKSANAAN

Pengisi daya tenaga surya merupakan perangkat yang terdiri dari serangkaian sel berbasis cahaya matahari yang disusun sedemikian rupa agar mampu menyerap dan memanfaatkan sinar matahari secara optimal. Sel-sel ini, yang umumnya dikenal sebagai sel fotovoltaik (PV), berperan penting dalam mengonversi energi radiasi matahari menjadi energi listrik melalui proses fotovoltaik. Sel fotovoltaik secara langsung menghasilkan listrik selama terkena cahaya matahari, dan biasanya diposisikan menghadap ke arah datangnya sinar matahari untuk efisiensi maksimal. Komponen elektronik ini menghasilkan arus listrik searah (DC) sebagai hasil dari konversi energi matahari yang diterimanya.

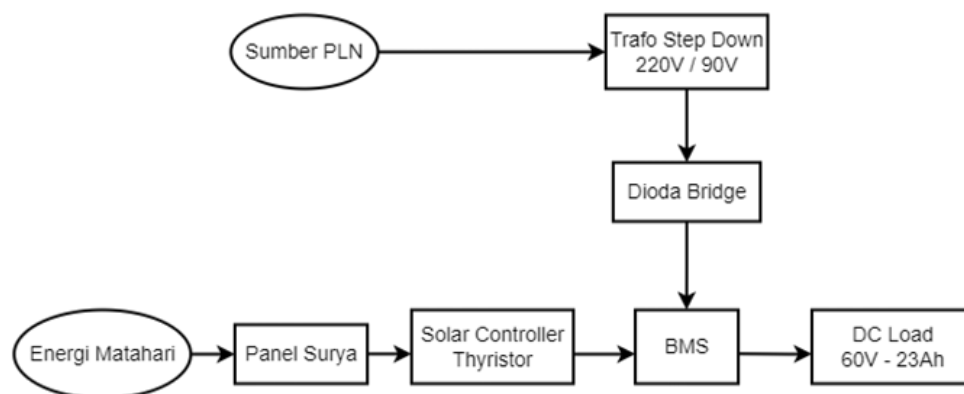
Thyristor atau secara teknis dikenal sebagai SCR, adalah salah satu perangkat semikonduktor yang digunakan untuk mengatur dan mengendalikan aliran arus, baik skala kecil maupun besar. Perangkat ini memiliki kemampuan untuk mengonversi arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) dan sebaliknya (Solanki, J. Backer, J., Walimeter,P., Froehleke, N., 2013). Dalam prinsip kerja yang mirip dengan dioda, *thyristor* dilengkapi dengan gerbang pengendali yang memungkinkan pengaturan tegangan keluaran melalui pengaturan sudut penyalan. Sudut penyalan ini merupakan interval antara awal tegangan masukan positif hingga aktifnya *thyristor* yang menentukan kapan perangkat mulai menghantarkan arus Listrik (Surya I. P ; H. Hasan ; R. S. Lubis, 2017). Dalam topologi *line-commutated inverter* (LCI) pada PLTS, *thyristor* mengatur *turn-on* melalui sinyal *gate* dan memanfaatkan komutasi paksa baik melalui arah arus balik maupun antiparalel untuk mematikan perangkat (Rachmanita, 2022) (Syam, Thamrin and Maharani B.Z, 2024).

Ketika kondisi rangkaian berubah, implementasi nasional pada inverter PLTS biasanya melibatkan rangkaian *thyristor* berkapasitas mulai dari ratusan watt hingga beberapa kilowatt sehingga memberikan fleksibilitas pada berbagai skala instalasi kampus atau industri lebih lanjut (Syahwil and Kadir, 2021) (Saiful Islam, Rifat-Ul-Karim Shovon and Khan, 2018). *Thyristor* memiliki sifat multifungsi pada inverter mencakup injeksi daya reaktif untuk kompensasi faktor daya serta peningkatan kualitas tegangan sesuai standar grid, sehingga mengurangi biaya penalti akibat daya reaktif dan *thyristor* juga diaplikasikan dalam rangkaian pengaturan tegangan AC berbasis *phase-angle triggering* untuk meredam efek voltage sag pada titik sambung PLTS ke jaringan dengan sudut pemicu yang adaptif terhadap fluktuasi beban dan sumber energi (Zhang, 2020) (Rajashekara and Skvarenina, 2004).

Baterai lithium-polymer (Li-Po) pada dasarnya memiliki karakteristik yang mirip dengan baterai lithium-ion (Li-Ion), namun menggunakan elektrolit polimer kering dalam bentuk lapisan film tipis sebagai pengganti elektrolit cair. Pertukaran ion antara anoda dan katoda terjadi melalui lapisan film ini. Metode tersebut memungkinkan produksi baterai dalam berbagai ukuran dan bentuk yang fleksibel.

Desain baterai Li-Po juga memiliki beberapa kelemahan. Salah satunya adalah rendahnya laju perpindahan ion melalui elektrolit polimer kering yang berdampak pada penurunan kecepatan pengisian dan pengosongan baterai. Meskipun pemanasan baterai dapat mempercepat laju pertukaran ion, solusi ini kurang praktis untuk penggunaan sehari-hari. Apabila tantangan ini dapat diatasi oleh para peneliti, maka potensi risiko keselamatan dari baterai litium dapat dikurangi secara signifikan (Muhammad Thowil Afif and Ilham Ayu Putri Pratiwi, 2015).

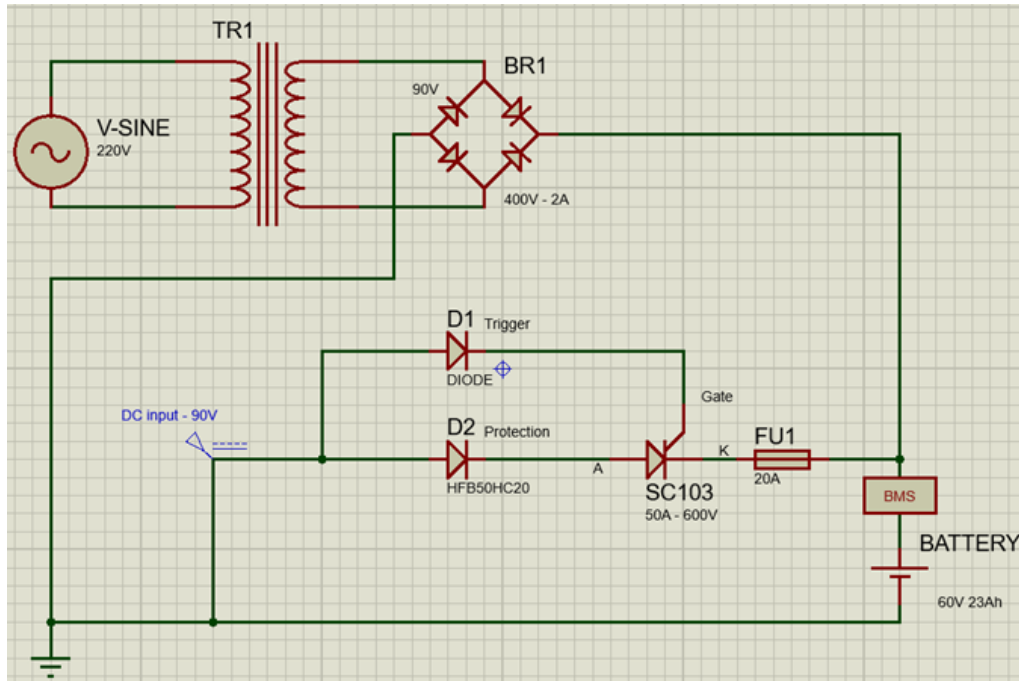
Pada tahap ini dilakukan perancangan dan konfigurasi beberapa peralatan yang akan digunakan penulis dalam proses pengumpulan data. Semua spesifikasi alat juga akan dijelaskan pada tahap ini. Berikut adalah flowchart dan diagram algoritma alat dalam penelitian ini.



Gambar 1.
Flowchart Algoritma *Thyristor*

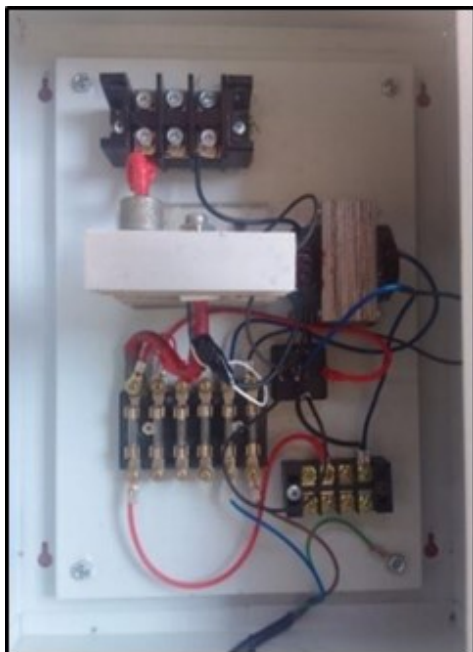
Komponen yang dipakai terdiri dari 2 buah solar panel 450Wp, multimeter, *miniature circuit breaker* (MCB), kabel solar panel, kabel tembaga, dioda 150 A, *thyristor* SCR 200V 45A, transformator step down 220V/90V 5A, box panel 30 x 40, fuse 25A, terminal box. Prinsip kerja dari rangkaian SCC menggunakan *thyristor* yaitu dalam kondisi tanpa sinyal pada *gate*, *thyristor* bertindak seperti dua transistor yang saling berhubungan, sehingga

tidak memungkinkan arus mengalir dari anoda ke katoda. Ketika sinyal yang cukup diterapkan pada *gate*, *thyristor* beralih ke keadaan konduktif. Jadi ketika input dari solar panel memberikan sinyal tegangan dan arus kepada D1 dan D2, *thyristor* akan beralih menjadi keadaan konduktif atau dapat menghantarkan listrik. *Thyristor* juga akan menstabilkan tegangan sesuai dengan keperluan dari beban sesuai dengan karakteristik yang dimiliki *thyristor*.



Gambar 2.

Rangkaian SCC Menggunakan *Thyristor*



Gambar 3.

SCC dengan *Thyristor* yang telah disambungkan

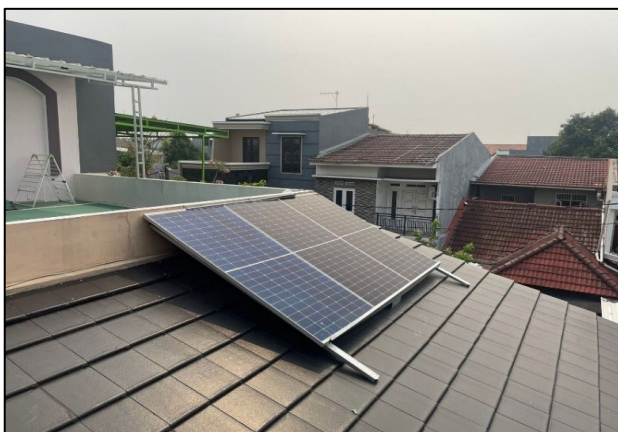
Spesifikasi baterai yang digunakan yaitu lifepo4 sebesar 60 Volt 23 Ah (1380 Wh), berat senilai 13 Kg dengan dimensi 240x150x20mm dan lithium baterai *charger* model *charger* 60V 5A, input sebesar 180 - 240 VAC, 50/60Hz, 2A, output sebesar 73.0 VDC, waktu pengecasan 4.0 - 4.5 Jam.



Gambar 4.
Baterai Volta SGB LiFePO4



Gambar 5.
Lithium Baterai *Charger*



Gambar 6.
Solar Panel Jembo 450Wp

ELECTRICAL PERFORMANCE*	
Max Power (Pmax)	450 Wp
Power Output Tolerance (ΔP_{max})	+/- 3%
Module Efficiency (η)	20.67 %
Max Power Point Voltage (Vmpp)	41.25
Max Power Point Current (Impp)	10.91
Open Circuit Voltage (Voc)	48.41
Short Circuit Current (Isc)	11.44
THERMAL CHARACTERISTIC	
NOCT	45 °C +/- 2 °C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.36% / °C
Temperature Coefficient of Voc	-0.29% / °C
Temperature Coefficient of Isc	0.05% / °C
MATERIALS	
Cells per Module	144
Cell Type	Monocrystalline PERC Halfcut
Glass	High Transmission, AR Coated Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
J-Box	Split Junction Box (IP67 Rated)

Gambar 7.

Spesifikasi Solar Panel Merk Jembo 450Wp

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Didapatkan nilai tegangan dan arus dari sumber panel surya yang digunakan untuk pengambilan data. Nilai rata-rata tegangan input yang dihasilkan sebesar 87.52 V dan rata-rata arus input sebesar 4.83 A. Daya rata-rata yang dihasilkan setelah kalkulasi dari tegangan dan arus yaitu sebesar 423.05 W.

Tabel 1.

Data Pengujian Panel Surya

Nomor	Waktu (WIB)	Input		Daya (W)
		Tegangan (V)	Arus (A)	
1	09.00 – 10.00	86.1	9.0	774.9
2	10.00 – 11.00	87.5	8.0	700.0
3	11.00 -12.00	88.6	10.0	886.0
4	12.00 – 13.00	87.4	10.0	874.0
5	13.00 – 14.00	88.5	8.0	708.0
6	14.00 – 15.00	87.0	7.0	609.0
Mean		87.5	8.6	758.6
Energi				4,552 (Kwh)

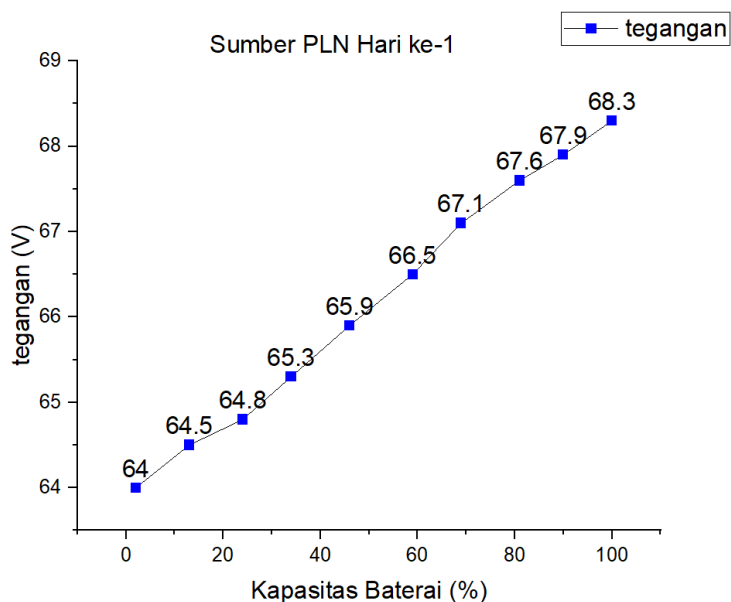
Didapatkan nilai tegangan, kuat arus, daya, tegangan baterai dan daya persentase baterai dari sumber PLN pada hari ke-1.

Tabel 2.

Pengambilan Data Sumber PLN Hari ke-1

Nomor	Waktu (WIB)	Input		Daya (W)	Baterai	
		Tegangan (V)	Arus (A)		Tegangan (V)	Kapasitas (%)
1	10.30 – 11.00	64.1	5.0	370.0	64.0	2
2	11.00 – 11.30	64.6	4.9	316.5	64.5	13
3	11.30 – 12.00	64.9	4.8	311.5	64.8	24
4	12.00 – 12.30	65.4	4.7	307.4	65.3	34
5	12.30 – 13.00	66.0	5.0	330.0	65.9	46
6	13.00 – 13.30	66.6	5.0	333.0	66.5	59
7	13.30 – 14.00	67.2	4.9	329.3	67.1	69
8	14.00 – 14.30	67.6	4.9	331.2	67.6	81
9	14.30 – 15.00	68	5.0	340.0	67.9	90
10	15.00 – 15.30	68.4	4.7	321.5	68.3	100

Didapatkan grafik tegangan baterai dan daya baterai, ketika baterai di *charge* menggunakan sumber listrik dari PLN.

**Gambar 8.**

Grafik Sumber PLN

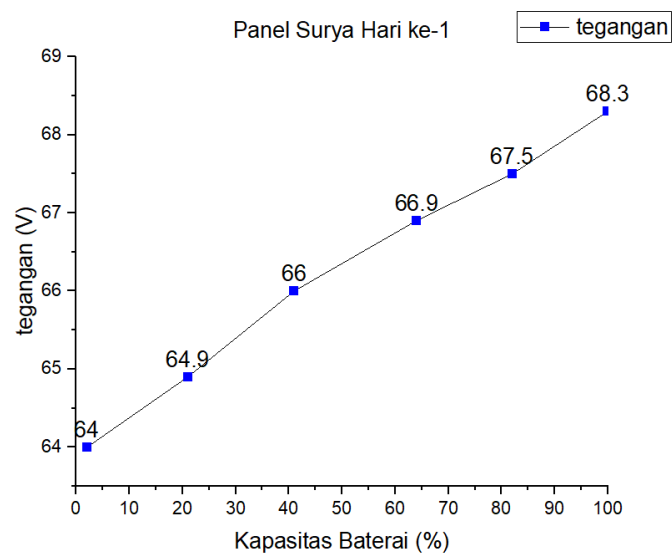
Didapatkan nilai tegangan, kuat arus, daya, tegangan baterai dan daya persentase baterai dari sumber panel surya pada hari ke-1.

Tabel 3.

Pengambilan Data Panel Surya hari ke-1

Nomor	Waktu (WIB)	Input		Daya (W)	Baterai	
		Tegangan	Arus		Tegangan	Kapasitas
		(V)	(A)		(V)	(%)
1	11.00 – 11.30	64.2	10.0	642.0	64.0	2
2	11.30 – 12.00	65.1	9.0	585.9	64.9	21
3	12.00 – 12.30	66.2	10.0	662.0	66.0	41
4	12.30 – 13.00	67.0	9.0	603.0	66.9	64
5	13.00 – 13.30	67.7	10.0	677.0	67.5	82
6	13.30 – 14.00	68.5	9.0	616.5	68.3	100

Didapatkan grafik tegangan baterai dan daya baterai, ketika baterai di *charge* menggunakan sumber listrik dari panel surya.

**Gambar 9.**

Grafik Sumber Panel Surya

Pengambilan data pengecasan baterai dengan menggunakan sumber PLN, menggunakan alat *charger* sepeda motor listrik yang sudah ada. Dilakukan dengan mengambil sebanyak 133 sampel data selama 14 hari. Data yang ditarik yaitu besar tegangan input, arus input, daya yang dihasilkan dengan mengkalkulasikan data arus dan tegangan, waktu pengisian, dan energi yang dihasilkan dengan mengkalkulasikan data daya dengan waktu. Berikut hasil pengumpulan data dalam bentuk tabel dan grafik.

Tabel 4.

Data Pengisian Baterai Menggunakan Sumber PLN

Hari ke-	Rata-rata			Waktu (h)	Energi (Wh)
	Tegangan Input (V)	Arus Input (A)	Daya (W)		
1	66.53	4.78	318.01	4.5	1431.06
2	66.50	4.88	324.52	4.5	1460.34
3	66.51	4.89	325.23	4.5	1463.55
4	66.58	4.89	325.58	4.5	1465.09
5	66.59	4.91	326.96	4.5	1471.31
6	66.50	5.21	346.47	4.0	1385.86
7	66.80	5.22	348.70	4.0	1394.78
8	66.78	5.24	349.93	4.0	1399.71
9	66.27	5.25	359.21	4.0	1436.82
10	66.58	4.93	328.24	4.5	1477.08
11	66.61	4.71	313.73	4.5	1411.80
12	66.72	5.22	348.28	4.0	1393.11
13	66.69	5.23	348.79	4.0	1395.15
14	66.70	5.05	336.84	4.0	1347.34
Mean	66.75	5.03	335.75	4.25	-
Total	-	-	-	-	19,993

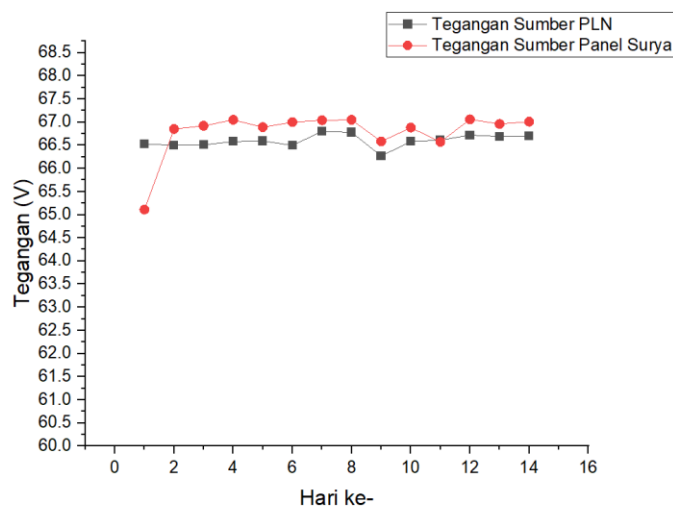
Pengambilan data pengecasan baterai dengan menggunakan sumber dari panel surya secara langsung, dilakukan dengan mengambil sebanyak sampel data. Data yang ditarik yaitu besar tegangan input, arus input, daya yang dihasilkan dengan mengkalkulasikan data arus dan tegangan, waktu pengisian dan energi yang dihasilkan dengan mengkalkulasikan data daya dengan waktu. Berikut hasil pengumpulan data dalam bentuk tabel dan grafik.

Tabel 5.

Data Pengisian Baterai Menggunakan Panel Surya

Hari ke-	Rata-rata			Waktu (h)	Energi (Wh)
	Tegangan Input (V)	Arus Input (A)	Daya (W)		
1	65.11	9.1	592.50	2.5	1481.25
2	66.85	9.3	621.71	2.5	1554.26
3	66.92	9.2	615.66	2.5	1539.16
4	67.05	8.7	583.34	2.5	1458.34
5	66.89	8.4	561.88	3.0	1685.63
6	67.00	8.5	569.50	2.5	1423.75
7	67.04	8.9	596.66	2.5	1491.64
8	67.05	8.3	556.52	2.5	1391.29
9	66.58	7.4	492.69	3.0	1478.08
10	66.88	9.1	608.61	2.5	1521.52
11	66.57	7.3	485.96	3.0	1457.88
12	67.06	8.4	563.30	2.5	1408.26
13	66.96	8.4	562.46	2.5	1406.16
14	67.01	8.6	576.29	2.5	1440.72
Mean	66.78	8.54	570.50	2.6	-
Total	-	-	-	-	20,738

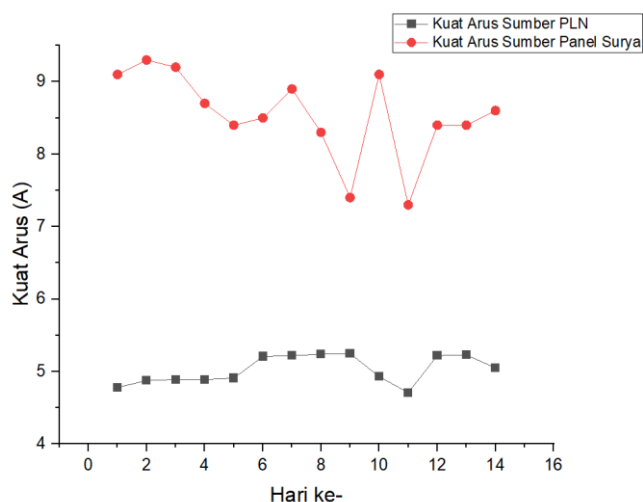
Didapatkan grafik perbandingan tegangan, kuat arus, rata rata daya, dan energi pada pengisian baterai menggunakan sumber listrik dari PLN dan panel surya.



Gambar 10.

Grafik Perbandingan Tegangan Sumber PLN dan Panel Surya

Pada grafik tegangan diatas, tegangan keluaran sumber PLN relatif stabil di kisaran 66.7 - 66.8 V sepanjang 14 hari pengamatan, tegangan panel surya menunjukkan fluktuasi kecil direntang 66.5 - 67.0 V, mulai dari 65.0 V pada hari pertama dan kemudian stabil di sekitar 66.7 V setelah hari ke-3. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa meski panel surya mampu mencapai tegangan operasi yang sebanding dengan PLN, panel surya lebih dipengaruhi kondisi radiasi harian sehingga variasinya sedikit lebih besar.

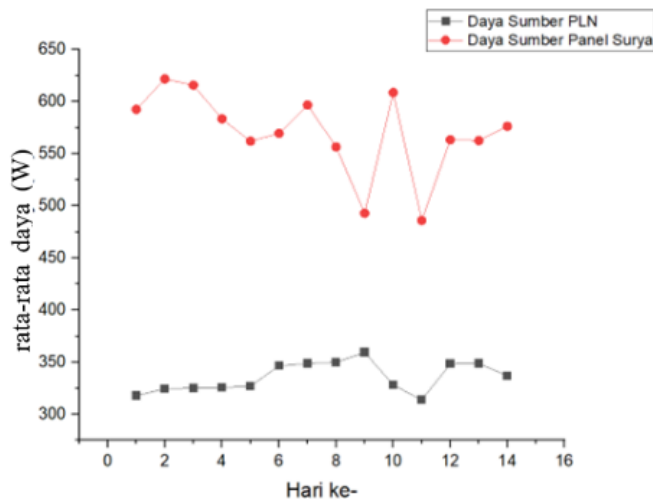


Gambar 11.

Grafik Perbandingan Kuat Arus Sumber PLN dan Panel Surya

Pada grafik kuat arus diatas, arus maksimum panel surya menurun dari sekitar 9.2 A pada hari ke-2 menjadi 7.4 A pada hari ke-8, lalu berfluktuasi antara 7.2 - 9.0 A, sedangkan sumber PLN mempertahankan arus sempit diantara 4.8 - 5.3 A. Hal ini menjelaskan bahwa panel surya secara konsisten mampu menyediakan arus dua kali lebih besar daripada PLN

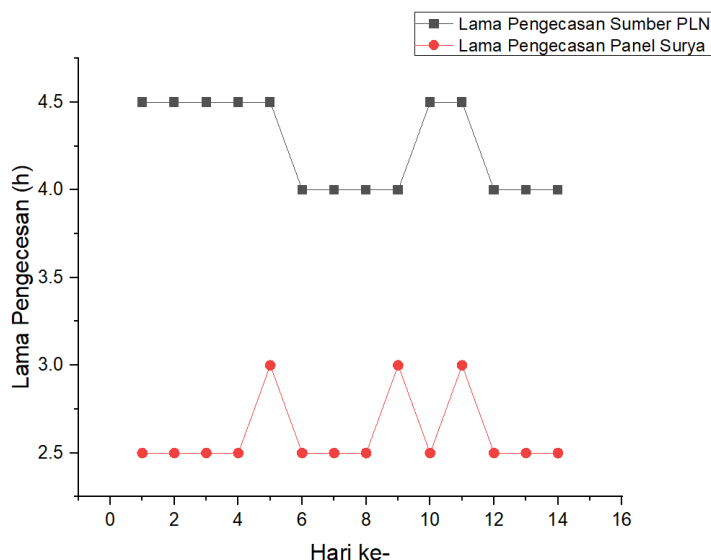
meski dengan variasi yang mencerminkan intensitas cahaya dan berpotensi mendukung beban lebih tinggi pada siang hari.



Gambar 12.

Grafik Perbandingan Rata-Rata Daya Sumber PLN dan Panel Surya

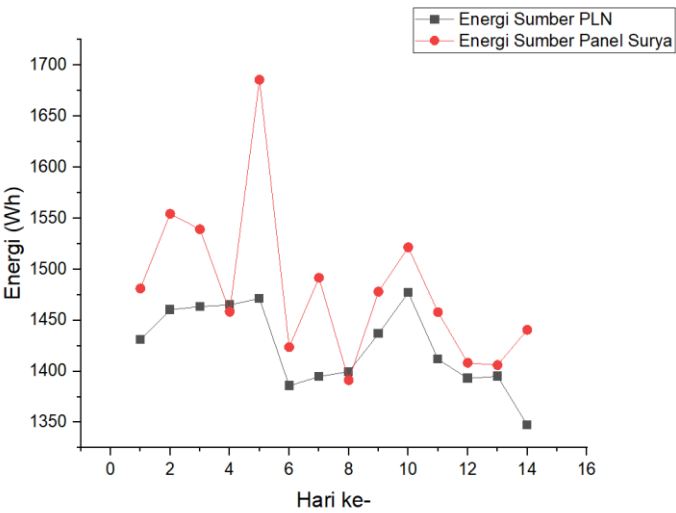
Akibat kombinasi tegangan dan arus tersebut, rata-rata daya (W) keluaran pada gambar diatas panel surya berada di kisaran 550 - 620 W, dengan puncak mendekati 620 W pada hari ke-2 dan ke-9, sementara sumber PLN hanya menghasilkan daya 320 - 360 W. Perbedaan ini menegaskan efisiensi konversi energi listrik panel surya yang jauh lebih tinggi di bawah kondisi sinar matahari optimal dibandingkan tegangan tetap PLN.



Gambar 13.

Grafik Perbandingan Waktu Pengecasan Sumber PLN dan Panel Surya

Mengenai waktu pengisian gambar diatas, panel surya memerlukan rata-rata 2.5 - 3.0 jam untuk mengisi baterai penuh, sedangkan sumber PLN memerlukan 4.0 - 4.5 jam. Artinya, panel surya mampu memangkas durasi pengisian sekitar 30 - 45 % berkat output daya yang lebih besar. Variasi kecil pada panel meningkat ke 3.0 jam pada hari ke-5, ke-8 dan ke-11 kembali berkaitan dengan penurunan daya puncak di hari-hari tersebut.



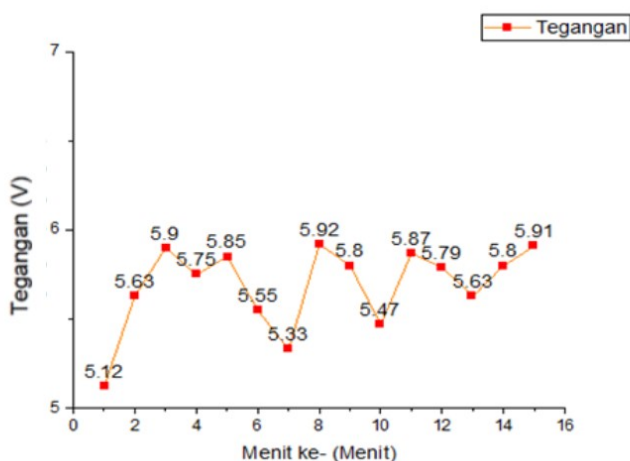
Gambar 14.
Grafik Perbandingan Energi Sumber PLN dan Panel Surya

Akhirnya, energi total harian pada gambar diatas yang disuplai panel surya berkisar 1350 - 1680 Wh, dengan nilai tertinggi (1680 Wh) pada hari ke-6, sedangkan sumber PLN hanya menyuplai 1380 - 1470 Wh. Fluktuasi energi panel surya lebih lebar, namun secara konsisten rata-rata sekitar 1520 Wh dan 1430 Wh pada PLN menunjukkan potensi panel surya sebagai alternatif yang lebih efisien dan cepat dalam konteks suplai energi harian.

Tabel 6.
Data Pengisian Baterai *Hybrid SCC* dengan *Power Supply 3A*

Nomor	Menit Ke-	Output		Daya (W)	Energi (Wh)
		Tegangan (V)	Arus (A)		
1	1	5.12	2.0	10.24	0.171
2	2	5.63	2.1	11.82	0.394
3	3	5.90	2.0	11.80	0.590
4	4	5.75	2.0	11.50	0.767
5	5	5.85	2.1	12.28	1.023
6	6	5.55	2.1	11.65	1.165
7	7	5.33	2.3	12.26	1.430
8	8	5.92	2.1	12.43	1.657
9	9	5.80	2.3	13.34	2.001
10	10	5.47	2.0	10.94	2.230
11	11	5.87	2.1	12.33	2.410
12	12	5.79	2.3	13.32	2.664
13	13	5.63	2.0	11.26	2.700
14	14	5.80	2.0	11.60	2.941
15	15	5.91	2.1	12.41	3.103
rata-rata	-	5.69	2.1	11.95	-
Total	-	-	-	-	2.988

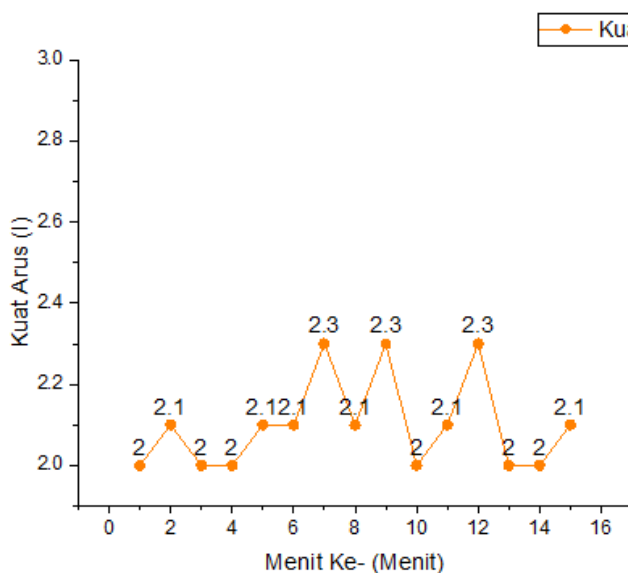
Didapatkan grafik perbandingan tegangan, kuat arus, rata rata daya, dan energi pada output BMS SCC *hybrid* PLTS dan PLN ke baterai



Gambar 15.

Grafik Sumber Tegangan Output SCC *Hybrid* ke Baterai

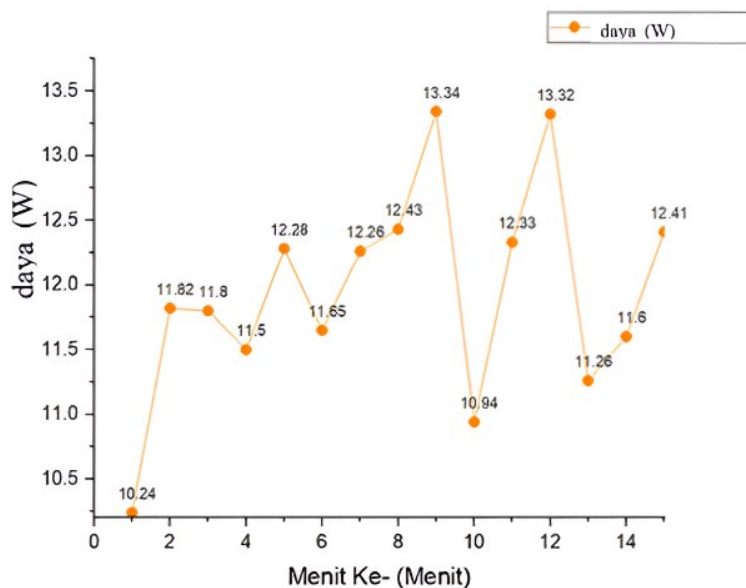
Grafik diatas menunjukkan variasi tegangan output pada baterai yang dihasilkan oleh sistem solar *charge* controller (SCC) *hybrid* antara PLTS dan PLN selama periode 15 menit. Tegangan awal yang tercatat pada menit ke-1 adalah sebesar 5.12 Volt, kemudian mengalami peningkatan signifikan pada menit ke-2 menjadi 5.63 Volt dan terus mengalami fluktuasi selama proses pengamatan. Nilai tegangan tertinggi tercatat pada menit ke-9 sebesar 5.92 Volt, sedangkan nilai terendahnya terjadi pada menit ke-7 sebesar 5.33 Volt. Variasi tegangan ini mengindikasikan adanya penyesuaian daya dari dua sumber (PLTS dan PLN) yang masuk ke sistem SCC secara bergantian atau simultan. Meski terjadi fluktuasi, grafik tetap menunjukkan kondisi stabil, yang ditandai dengan kembalinya tegangan mendekati nilai maksimum sebesar 5.91 Volt pada menit ke-15. Hal ini menunjukkan bahwa SCC mampu mengelola fluktuasi suplai dengan baik sehingga tetap memberikan output tegangan yang relatif stabil ke baterai.



Gambar 16.

Grafik Kuat Arus Output SCC *Hybrid* ke Baterai

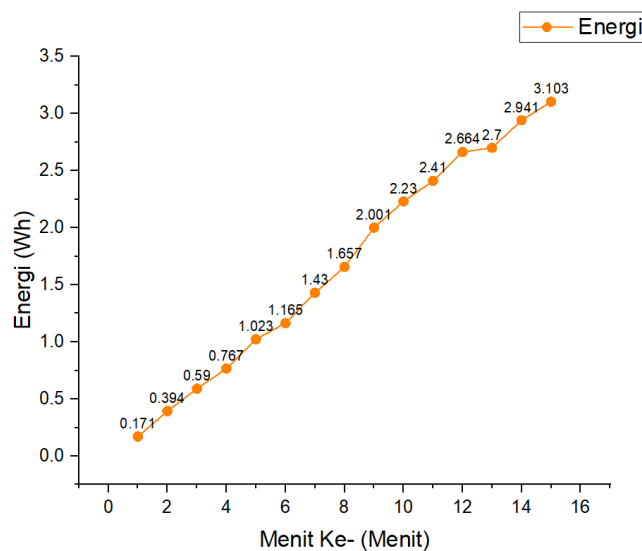
Grafik kedua menggambarkan perubahan kuat arus (I) yang dihasilkan oleh sistem SCC *hybrid* ke arah baterai. Kuat arus awal pada menit ke-1 berada pada nilai 2.0 ampere dan cenderung stabil selama periode pengamatan dengan kisaran antara 2.0 hingga 2.3 ampere. Arus tertinggi sebesar 2.3 ampere tercatat pada beberapa titik waktu, yaitu pada menit ke-6, 8, 11, dan 13. Fluktuasi arus yang relatif kecil ini menunjukkan bahwa sistem SCC bekerja secara adaptif terhadap perubahan beban atau sumber input tanpa menghasilkan lonjakan yang signifikan. Kestabilan arus ini merupakan indikator bahwa proses pengisian baterai berlangsung secara aman dan efisien. Dengan kemampuan mengatur arus secara proporsional terhadap tegangan dan kondisi baterai, sistem SCC *hybrid* ini berhasil menjaga performa pengisian tetap optimal dalam menghadapi variabilitas suplai daya dari PLTS maupun PLN.



Gambar 17.

Grafik Daya pada Output SCC *Hybrid* ke Baterai

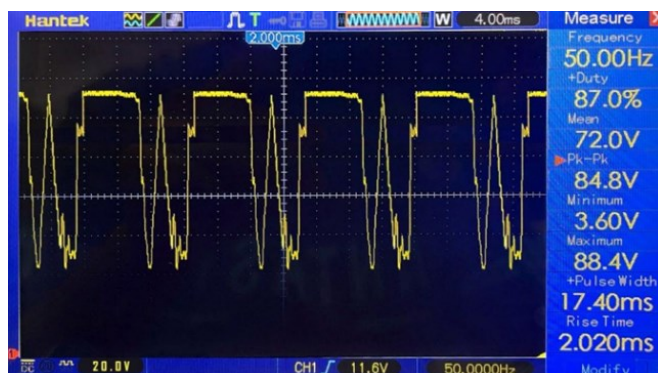
Grafik pertama menunjukkan fluktuasi nilai rata-rata daya (dalam Watt) yang dihasilkan dari output baterai oleh sistem SCC *hybrid* PLTS dan PLN selama interval waktu 15 menit. Pada menit pertama, daya rata-rata tercatat sebesar 10.24 Watt, lalu meningkat cukup signifikan pada menit ke-2 menjadi 11.82 Watt. Setelah itu, nilai daya mengalami fluktuasi, namun tetap berada pada kisaran yang relatif stabil antara 11.5 hingga 13.34 Watt. Puncak tertinggi terjadi pada menit ke-9, yaitu sebesar 13.34 Watt, menunjukkan bahwa pada saat tersebut terjadi kondisi optimum suplai energi baik dari PLTS maupun PLN ke sistem baterai. Penurunan mendadak tampak pada menit ke-10 dengan daya hanya 10.94 Watt, yang kemudian kembali meningkat hingga mencapai 13.32 Watt pada menit ke-12. Meski mengalami variasi, tren data menunjukkan kemampuan sistem SCC dalam merespons perubahan kondisi input dan beban secara dinamis, menjaga agar daya output ke baterai tetap berada dalam rentang efisiensi yang baik.

**Gambar 18.**

Grafik Energi pada Output SCC *Hybrid* ke Baterai

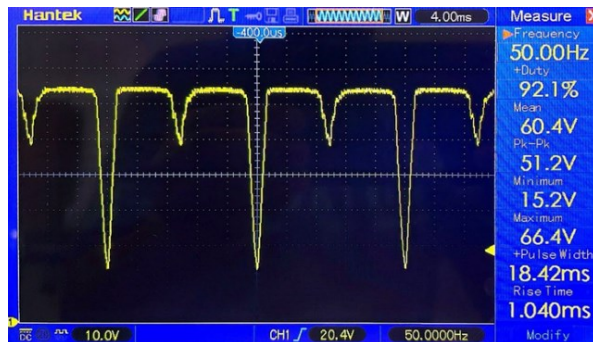
Grafik diatas menggambarkan akumulasi energi (dalam Wh) yang disalurkan ke baterai oleh sistem SCC *hybrid* selama periode waktu pengamatan. Energi awal tercatat sebesar 0.17 Wh pada menit ke-1 dan meningkat secara konsisten hingga mencapai nilai maksimum 3.103 Wh pada menit ke-16. Kenaikan energi ini bersifat linier, mengindikasikan bahwa proses pengisian energi berlangsung dengan kontinu dan stabil. Setiap menitnya, energi yang tersimpan bertambah dalam proporsi yang sesuai dengan nilai daya rata-rata yang tercatat pada grafik sebelumnya. Misalnya, pada menit ke-8 hingga ke-9, lonjakan daya turut berdampak pada peningkatan energi yang signifikan. Konsistensi pertumbuhan energi ini mencerminkan bahwa sistem SCC *hybrid* mampu menjaga kontinuitas suplai daya secara efisien, serta mendukung efektivitas pengisian baterai tanpa adanya hambatan atau lonjakan ekstrem.

Pada gambar dibawah ini, merupakan pengambilan data menggunakan alat bantu osiloskop untuk melihat gelombang frekuensi, sebelum dan sesudah terpasang beban. Input panel surya disimulasikan menggunakan *power supply*. Pada gambar 19 dibawah ini, bisa kita amati bahwa tegangan *power supply* sebelum ada beban sebesar 88.4 V dan untuk frekuensinya di 50 hz. Ini membuktikan bahwa *power supply* yang digunakan sudah diatur sesuai dengan spesifikasi panel surya pada saat penelitian yaitu 90 V.

**Gambar 19.**

Data Osiloskop *Power Supply* Sebelum Ada Beban Baterai

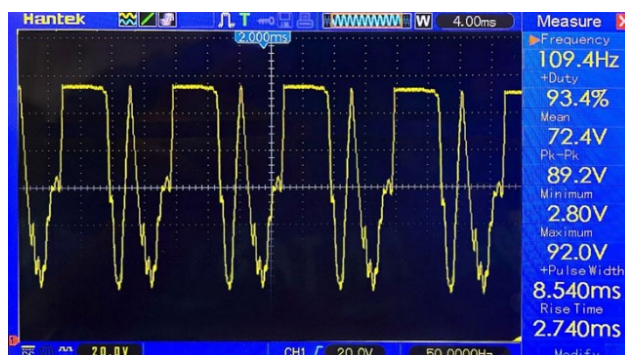
Pada gambar 20 dibawah ini, bisa kita amati bahwa tegangan *power supply* setelah ada beban sebesar 66.4 V dan untuk frekuensinya di 50 Hz. Ini membuktikan bahwa tegangan input *power supply* yang digunakan sudah berhasil diubah oleh *thyristor* sesuai dengan beban baterai yang ada.



Gambar 20.

Data Osiloskop *Power Supply* Setelah Ada Beban Baterai

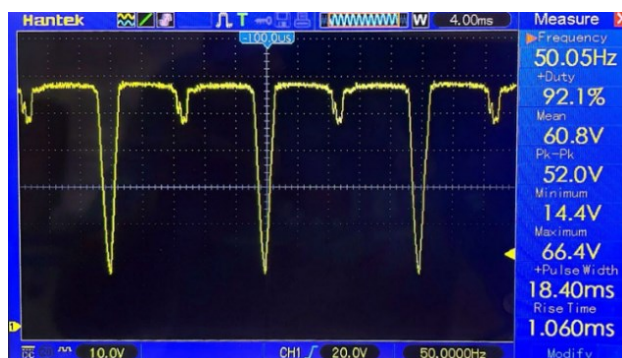
Pada gambar 21 dibawah, bisa kita amati bahwa tegangan *power supply* dan PLN sebelum ada beban sebesar 92 V dan untuk frekuensinya di 109.4 Hz. Ini juga telah membuktikan bahwa sumber *power supply* dan PLN yang digunakan sudah diatur sesuai dengan spesifikasi panel surya pada saat penelitian yaitu 90 V.



Gambar 21.

Data Osiloskop *Hybrid* Sebelum Ada Beban Baterai

Pada gambar 22, bisa kita amati bahwa tegangan input *power supply* dan PLN setelah ada beban sebesar 66.4 V dan untuk frekuensinya di 50.05 Hz. Ini membuktikan bahwa tegangan input *power supply* yang digunakan sudah berhasil diubah oleh *thyristor* sesuai dengan beban baterai yang ada.



Gambar 22.

Data Osiloskop *Hybrid* Setelah Ada Beban Baterai

Dari beberapa data diatas, dapat dilihat perbedaan tegangan, arus, dan daya dalam satuan waktu ketika dilakukan pengisian menggunakan panel surya dan hibrida (panel surya dan PLN) Pada tabel 4 pengecasan baterai menggunakan sumber PLN membutuhkan waktu selama 4 - 4.5 Jam untuk baterai terisi penuh. Ini masih terbilang cukup sesuai dengan rata-rata pengisian baterai sepeda motor listrik pada umumnya.

Nilai rata-rata tegangan input yang dihasilkan sebesar 66.79 V, rata-rata arus input yang dihasilkan sebesar 5.02 A, rata-rata daya yang dihasilkan sebesar 335.43 W dan rata-rata energi yang dihasilkan sebesar 1422.3 Wh. Pada tabel 5 pengecasan baterai menggunakan sumber panel surya membutuhkan waktu selama 2.5 - 3 jam untuk baterai terisi penuh. Ini masih terbilang cukup cepat dibandingkan dengan pengisian baterai menggunakan sumber dari PLN pada umumnya.

Nilai rata-rata tegangan input yang dihasilkan sebesar 66.78 V, rata-rata arus input yang dihasilkan sebesar 8.53 A, rata-rata daya yang dihasilkan sebesar 579.54 W dan rata-rata energi yang dihasilkan sebesar 1479.11 Wh. Percobaan dengan menggunakan bantuan *power supply*, dilakukan guna untuk pengambilan data menggunakan alat bantu osiloskop. Didapatkan nilai frekuensi sebelum terpasang beban sebesar 109.4 Hz, dengan tegangan 92 V. Setelah terpasang beban didapatkan nilai frekuensi sebesar 50.05 Hz dengan tegangan 66.4 V. Ini membuktikan bahwa *thyristor* telah bekerja secara baik.

4. KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa solar cell dapat digunakan sebagai *charger* Baterai sepeda motor listrik, dengan bantuan *thyristor* sebagai controller. *Thyristor* juga aman untuk digunakan, sesuai dengan uji coba yang telah dilakukan.

Penelitian ini juga telah membuktikan bahwa *thyristor* dapat menstabilkan tegangan sesuai dengan beban yang diinginkan. Penggunaan *thyristor* ini juga sudah bisa dilakukan secara *hybrid* karena inputnya bisa bersamaan sumber dari PLN yang disearahkan dengan dioda bridge.

Setelah dilakukan beberapa percobaan dalam penelitian ini, waktu pengecasan baterai sepeda motor listrik menggunakan *thyristor* dengan sumber panel surya secara langsung selama 2.5 jam dengan daya paling besar yaitu 614.93 W dan energi sebesar 1537.32 Wh, nilai ini masih sesuai dengan maksimal kapasitas beban yaitu sebesar 1570 Wh. Dalam penelitian ini pengecasan dilakukan dalam rentang waktu 10.00 - 15.00 WIB ketika cuaca cerah.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. Dilla, B, Wilyanti, S., Antono,Z.M., Widi,B., Jaenul, A., Pangestu, A. (2022) 'Implementasi Solar Charge Controller Untuk Pengisian Baterai Dengan Menggunakan Sumber Energi Hybrid Pada Sepeda Motor Listrik', *Jurnal Edukasi Elektro*, 6(2): 128–135. Available at: <https://doi.org/10.21831/jee.v6i2.53327>.
2. Istiqomah, S., Sutopo,W., Hisjam, M., Wicaksono, H. (2022) 'Optimizing Electric Motorcycle-Charging Station Locations for Easy Accessibility and Public Benefit: A Case Study in Surakarta', *World Electric Vehicle Journal*, 13(12): 1-16. Available at: <https://doi.org/10.3390/wevj13120232>.
3. Muhammad Thowil Afif and Ilham Ayu Putri Pratiwi (2015) 'Analisis Perbandingan Baterai Lithium-Ion, Lithium-Polymer, Lead Acid dan Nickel-Metal Hydride pada Penggunaan Mobil Listrik-Review', *Jurnal Rekayasa Mesin*, 6(2): 95–99.

4. Purwoto, B.H., Jatmiko,J., Fadilah,M.A., Huda,I.F (2018) ‘Efisiensi Penggunaan Panel Surya sebagai Sumber Energi Alternatif’, Emitter: *Jurnal Teknik Elektro*, 18(1): 10–14. Available at: <https://doi.org/10.23917/emitor.v18i01.6251>.
5. Rachmanita, R.E. (2022) ‘Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Untuk Penerangan Jalan Umum (Pju) Di Dusun Karang Tengah Desa Jatisari Kabupaten Lumajang’, *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 10(1): 7–15. Available at: <https://doi.org/10.32487/jtt.v10i1.1289>.
6. Rajashekara, K.S. and Skvarenina, T.L. (2004) Power electronics, *The Engineering Handbook*, Second Edition. Available at: <https://doi.org/10.1201/b12917-15>.
7. Saiful Islam, M., Rifat-Ul-Karim Shovon, M. and Khan, M.A.G. (2018) ‘Comparative study of thyristor vs IGBT based AC-DC power converter’, *AIUB Journal of Science and Engineering*, 17(3): 89–102. Available at: <https://doi.org/10.53799/ajse.v17i3.14>.
8. Saodah, S. and Hariyanto, N. (2019) ‘Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Hybrid Dengan Kapasitas 3 kVA’, *Prosiding Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Pada Masyarakat*, pp. 187–190.
9. Solanki, J. Backer, J., Walimeter,P., Froehleke, N.(2013) ‘Comparison of thyristor-rectifier with hybrid filter and chopper- rectifier for high-power, high-current application’, *PCIM Europe Conference Proceedings*, 1(May), 1391–1398.
10. Surya I. P ; H. Hasan ; R. S. Lubis (2017) ‘Perancangan dan Analisis Back to Back Thyristor Untuk Regulasi Tegangan AC Satu Fasa’, *KITEKTRO: Jurnal Online Teknik Elektro*, 2(2): 24.
11. Syahwil, M. and Kadir, N. (2021) ‘Rancang Bangun Modul Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sistem Off-grid Sebagai Alat Penunjang Praktikum Di Laboratorium’, *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan*, 3(1): 26–35. Available at: <https://doi.org/10.14710/jplp.3.1.26-35>.
12. Syam, D.I., Thamrin, S. and Maharani B.Z, C. (2024) ‘Perkembangan Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida (PLT Hibrida) Di Indonesia Guna Mendukung Ketahanan Nasional’, *PENDIPA Journal of Science Education*, 8(2): 231–238. Available at: <https://doi.org/10.33369/pendipa.8.2.231-238>.
13. Zhang, Z. (2020) ‘Design of alternating current voltage–regulating circuit based on thyristor: Comparison of single phase and three phase’, *Measurement and Control (United Kingdom)*, 53(5–6): 884–891. Available at: <https://doi.org/10.1177/0020294020909123>.