



SNESTIK

Seminar Nasional Teknik Elektro, Sistem Informasi,
dan Teknik Informatika

<https://ejurnal.itats.ac.id/snestik> dan <https://snestik.itats.ac.id>



Informasi Pelaksanaan :

SNESTIK IV - Surabaya, 27 April 2024

Ruang Seminar Gedung A, Kampus Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

Informasi Artikel:

DOI : 10.31284/p.snestik.2024.5862

Prosiding ISSN 2775-5126

Fakultas Teknik Elektro dan Teknologi Informasi-Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya
Gedung A-ITATS, Jl. Arief Rachman Hakim 100 Surabaya 60117 Telp. (031) 5945043
Email : snestik@itats.ac.id

Studi Investigasi Keluaran Daya Sistem PLTS dengan PV Optimizer pada Kondisi Kaca Panel Surya Retak dan Bayangan

Haviz Darmawan, Asepta Surya Wardhana*, Suka Handaja Budi

Teknik Instrumentasi Kilang, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas

*E-mail: aseptasw@esdm.go.id

ABSTRACT

The conventional method commonly used to overcome the shadow problem is to use a standard inverter without using a PV Optimizer; where if a string of inverters experiences a decrease in performance due to many factors, the overall system will experience a decline. The method in this study is to measure and compare data from the results of the application of PV Optimizer. Quantitative data is obtained after optimizing and evaluating the measured power capacity. The results showed that using the PV Optimizer significantly increased the power capacity of PLTS. Based on data analysis, the power output from solar panels after the use of PV Optimizer gets optimal results where the average production obtained is around 15.50 Watts, compared to the power output generated by solar panels without the use of PV Optimizer only getting output around 11.8 Watts with the application of this method. PV Optimiser can supply energy to the load more stably and the power output of the AC load is 13.89 Watts.

Keywords: solar power plant, PV optimizer, string inverter, buck-boost converter

ABSTRAK

Metode konvensional yang umum digunakan untuk mengatasi masalah bayangan adalah menggunakan inverter standar tanpa penggunaan PV Optimizer dimana jika terdapat dalam satu string inverter mengalami penurunan performa akibat banyaknya faktor tersebut maka secara keseluruhan sistem tersebut akan mengalami penurunan. Metode dalam penelitian ini melakukan pengukuran dan perbandingan data dari hasil penerapan PV Optimizer. Data kuantitatif diperoleh setelah melakukan optimasi dan dievaluasi berdasarkan kapasitas daya yang terukur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan PV Optimizer signifikan meningkatkan kapasitas daya PLTS. Berdasarkan analisis data, bahwa keluaran daya dari panel

surya setelah penggunaan *PV* Optimizer mendapatkan hasil yang optimal dimana rerata output yang didapat berkisar 15,50 Watt, dibandingkan dengan keluaran daya yang dihasilkan oleh panel surya tanpa menggunakan *PV* Optimizer hanya mendapatkan output berkisar 11,8 Watt dengan penerapan metode ini. *PV* Optimizer dapat menyalurkan energi ke beban lebih stabil dan keluaran daya dari beban AC 13,89 Watt.

Kata kunci: Pembangkit Listrik Tenaga Surya, *PV* Optimizer, string inverter, buck-boost converter

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara beriklim tropis yang memiliki potensial energi matahari cukup tinggi. Sebagai negara yang dilalui oleh garis khatulistiwa maka paparan radiasi matahari yang didapat memiliki sumber energi harian rata - rata mencapai 4.8 kWh/m^2 [1]. Sebagian besar wilayah yang ada di Indonesia dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik yang berasal dari matahari. Penggunaan pemanfaatan energi matahari dapat diaplikasikan menjadi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang dibagi menjadi beberapa sistem, yaitu Sistem On-Grid, Sistem Off-Grid, dan Sistem Hybrid. Seiring berkembangnya kemajuan teknologi di dunia industri energi surya, selain bertambahnya fitur yang ada pada panel surya, inverter, dan beberapa aksesoris pendukung lainnya yakni salah satunya adalah *PV* Optimizer. Masalah mendasar pada fotovoltaik (PV) adalah jumlah daya keluaran yang dihasilkan bervariasi tergantung pada jumlah intensitas matahari dan suhu lingkungan sekitar. Sistem fotovoltaik dengan efisiensi 10% dapat menghasilkan daya 100 Watt dalam keadaan normal dengan intensitas matahari 1.000 W/m^2 dan suhu 25°C [2].

Namun implementasi pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya banyak yang kurang memperhatikan adanya faktor yang mempengaruhi performa dan produksi yang dihasilkan dari sistem PLTS. Berawal dari indikasi kerusakan pada panel surya yaitu micro crack, snail track, dan potensi hotspot akibat adanya shading atau bayangan yang menimpa pada permukaan panel surya. Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya terutama pada panel surya sangat bergantung pada kondisi cuaca, dan titik operasi sekitar radiasi matahari dan temperatur. Oleh karena itu, pengontrol pelacakan titik daya maksimum (MPPT) sangat penting untuk memastikan pemanenan energi dari energi listrik maksimum yang tersedia, terlepas dari radiasi dan suhu operasi sekitar [3].

Efek bayangan adalah potensi bayangan objek yang menutupi panel surya, sehingga energi matahari yang diterima oleh sel panel surya menjadi lebih sedikit. Dalam banyak situasi, bayangan akan menutupi panel surya, baik sebagian atau seluruhnya. Hot Spot adalah efek pemanasan yang terjadi pada salah satu dari rangkaian sel surya. Hal ini terjadi ketika sel surya secara konstan terkena efek bayangan/tertutup selama jangka waktu tertentu. Sel surya (yang buruk) yang terkena efek bayangan/tertutup akan menghasilkan arus listrik yang paling lemah dibandingkan dengan sel surya lainnya. Akibatnya, ini akan membatasi jumlah total arus listrik yang melewati rangkaian sel surya. Kelebihan arus listrik yang dihasilkan oleh sel surya (baik) yang tidak terpengaruh oleh efek bayangan/tertutup akan diteruskan (forward bias) ke sel surya (buruk) yang terpengaruh oleh efek bayangan/tertutup. Ini mengarah pada studi tentang karakteristik modul *PV* [4]. Penelitian lain melakukan konfigurasi rangkaian photovoltaic untuk mengatasi partial shading dan kerusakan dioda bypass sehingga dapat menaikkan daya sampai 72% [5]. Array *PV* berisi beberapa modul *PV* yang diikat secara seri dan atau paralel untuk meningkatkan level tegangan dan arus. Mereka dapat menghasilkan tegangan dan arus yang optimal ketika semua modul *PV* berfungsi dengan baik. Saat bayangan terjadi pada modul *PV*, daya keluaran akan berkurang. Hal ini pada gilirannya mempengaruhi proses modul *PV* sehat lainnya dalam rangkaian *PV* yang terhubung. *PV* Optimizer dapat digunakan sebagai solusi efektif untuk mengurangi pengaruh masalah bayangan parsial. Unit *PV* Optimizer terpasang pada setiap modul *PV* dan mengurangi dampak naungan modul *PV* pada kinerja sistem *PV*. *PV* Optimizer mengubah daya photovoltaic yang dihasilkan menjadi arus dan voltase optimal untuk modul photovoltaic tersebut. *PV* Optimizer meningkatkan keluaran daya dari sistem *PV* dengan

terus melacak MPPT setiap modul *PV* satu per satu. *PV* Optimizer terhubung secara serial untuk membentuk string [6].

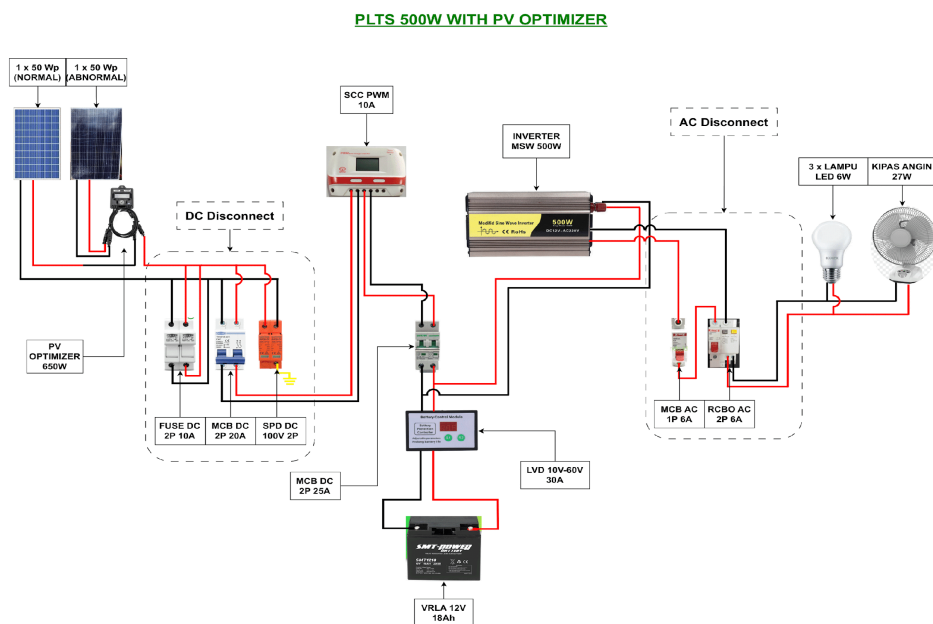
METODE

PV Optimizer memiliki prinsip cara kerja sebagai individu multi power point tracking (MPPT) [7], [8] jika pada kondisi normal pada performance dari modul *PV* yang memiliki tujuan sebagai pengoptimalan daya keluaran dari output modul *PV* seperti pada gambar 1. Kemudian jika terjadinya drop losses energy pada sistem pembangkit listrik tenaga surya yang salah satu penyebabnya adalah daya keluaran dari modul *PV* yang dalam permasalahan ini mengalami gangguan akibat titik hotspot maupun shading. Oleh karena itu *PV* Optimizer memiliki prinsip kerja sebagai *buck* atau *boost operation*. *buck* atau *boost operation* ini memiliki peran jika 1 modul *PV* terkena shading (arus turun) dalam 1 string yg sama, maka 1 string tersebut langsung mengikuti arus terendah karena dirangkai dalam seri, kemudian dioptimalkan dalam pengoperasian *buck* atau *boost* agar modul *PV* lainnya tidak terganggu. Fitur dalam *PV* Optimizer salah satunya adalah dapat memonitoring daya keluaran per modul *PV*, memudahkan dalam maintenance ketika pada saat troubleshooting karena 0V safety maintenance artinya tidak perlu mematikan sistem untuk melihat performa modul *PV* karena 0V dan juga dapat memitigasi shading [9], [10].



Gambar 1. Skema *Smart PV Optimizer*

Dalam melakukan rancangan bangun diperlukan lima tahapan proses. Pertama melakukan studi literatur yang membahas terkait dengan rancang bangun prototype sebagai referensi. Kedua, menyiapkan komponen-komponen yang diperlukan untuk rancang bangun prototype. Ketiga, melakukan tahapan rancangan hardware yang sudah disiapkan yaitu pemasangan tiang penyangga custom, solar panel 50 WP sebanyak 2 unit, *PV* Optimizer, Solar Charge Controller 12V 10A, Baterai 12V 18 Ah, Inverter 500 Watt, Lampu LED 6 Watt 3 unit. Keempat, melakukan pengujian alat *PV* Optimizer terhadap keluaran daya dari solar panel dengan kondisi adanya titik hotspot serta melakukan konfigurasi sistem PLTS. Kelima tahap percobaan prototype, jika sistem tidak berjalan dengan baik maka akan dilakukan kembali tahap rancang bangun hardware hingga sistem berjalan dengan baik. Selanjutnya memastikan respon yang dihasilkan sistem bagus, apabila respon kurang sesuai maka dilakukan kembali tahap pengujian *PV* Optimizer untuk mengkonfigurasi ulang agar hasil yang diinginkan mendapatkan respon yang sesuai.



Gambar 2. Rancangan *Wiring Diagram* pada Hardware

Pada gambar 2 merupakan rancangan hardware yang tersusun dari beberapa komponen. Bagian yang pertama berupa panel surya yang digunakan berkapasitas 50 WP sebanyak 2 unit, salah satu panel surya terdapat titik area hotspot maupun shading yang nantinya akan digunakan untuk pengujian alat smart *PV Optimizer* serta akan dirangkai secara seri dengan satu panel surya yang dalam keadaan normal. Spesifikasi panel surya seperti pada Tabel 1.

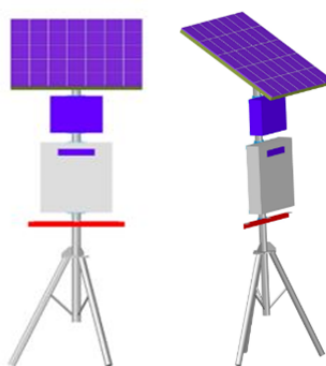
Tabel 1. Spesifikasi Data Panel Surya

Parameter	Spesifikasi
Rated Maximum Power (Pmax)	50W
Current at Pmax (Imp)	2.78A
Voltage at Pmax (Vmp)	18.00V
Open-Circuit Voltage (Voc)	22.11V
Short-Circuit Current (Isc)	2.94A
Dimensions (MM)	400*625*25
Efficiency (EFF)	17.6%

PV Optimizer yang digunakan dalam prototype ini adalah berkapasitas 650 W, mempunyai fungsi sebagai pengoptimalan keluaran daya dari panel surya yang mengalami shading ataupun adanya titik area hotspot dengan menggunakan prinsip kerja buck converter dan boost converter [11]. Solar Charge Controller dengan standar tegangan 12V dan arus 10A berfungsi untuk menghindari pengisian energi baterai yang berlebihan dengan mengontrol jumlah dan laju pengisian daya baterai. Solar Charge Controller (SCC) juga menghindari penipisan baterai [12] dengan mematikan perangkat ketika daya yang tersimpan turun di bawah kapasitas 50% dan mengisi baterai pada tingkat tegangan yang tepat. Jenis baterai yang akan digunakan adalah *Valve Regulated Lead Acid* (VRLA) dengan spesifikasi 12V 18Ah yang bertujuan untuk menyimpan energi dari keluaran daya panel surya dan mendistribusikan ke beban untuk kebutuhan yang sudah ditentukan. Inverter dengan spesifikasi input 12V kapasitas 500 Watt

mempunyai peranan sebagai pengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) pada tegangan dan frekuensi yang diperlukan dari sistem. Sumber input dari inverter berasal dari output panel surya maupun sumber energi dari baterai.

Konstruksi dari penelitian ini menggunakan tiang penyangga panel surya di desain secara custom menyesuaikan dengan komponen yang ada serta terbuat dari pipa galvanish dengan diameter 2 inch dengan ketinggian sekitar 1.8 Meter. Tiang penyangga panel surya ini mempunyai konsep yaitu portable sehingga dapat dibongkar pasang sesuai dengan kebutuhan. Pada gambar 3 ditunjukkan konsep 3D desain ini dirancang secara portable dan dapat dibongkar pasang menyesuaikan lokasi maupun posisi penyinaran matahari. Pada komponen atas terdapat Panel Surya berkapasitas 50 WP sebanyak 2 unit, kemudian komponen berikutnya adalah Box panel yang didalamnya terdapat inverter dan baterai, dan dari box panel menuju ke load atau beban yang digunakan pada prototype ini adalah lampu LED berkapasitas 6 watt sebanyak 3 unit.



Gambar 3. Desain Prototype Rancangan Hardware

Dalam pembuatan software untuk kebutuhan perancangan prototype ini menggunakan pemantauan kinerja dari sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya dengan penggunaan software Blynk. Yang bertujuan untuk mengetahui beberapa parameter yang ada di dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya seperti dari sisi sistem DC untuk melihat Voltage PV , Arus PV , daya yang dihasilkan dari Output PV serta energi harian yang diperoleh. Kemudian dari sisi AC untuk melihat Voltage AC, Arus AC, daya yang dihasilkan dari Output AC atau beban, Power Faktor, Frekuensi serta energi total yang diperoleh seperti tampilan pada gambar 4.



Gambar 4. Pemantauan Output PV & Beban AC Dengan Software Blynk

Tabel 2. Kebutuhan Hardware Sistem

No	Item	Detail Item	Suggest Brand	Qty	Unit
PV Module + Inverter System					
1	PV Module + Inverter System	Monocrystalline 50 Wp	Lokal Brand (Maysun)	2	Pcs
2	Inverter PSW HF / LF	Inverter 500W Pure Sine Wave LF	Kenika, Taffware, Visero, Souer	1	Pcs
Smart PV Optimizer					
3	PV Optimizer	PV Power Optimizer 650W 75V	PowMr	1	Pcs
Combiner Box					
4	DC Combiner	MCB DC 20A 2P	Chint, Tomzn, Suntree	1	Pcs
		MCB DC 25A 2P	Chint, Tomzn	1	Pcs
		MCB DC 32A 2P	CAFF	1	Pcs
		PV DC Fuse Holder 10A 1P	Tomzn, Suntree	1	Pcs
		SPD DC 1000V 2P	Exapower,Funelec	1	Pcs
	AC Combiner	MCB AC 6A 1P	Chint, Himel	1	Pcs
		RCBO 1P+N 30mA 6A	Himel	1	Pcs
Wiring System					
5	DC Cable	PV Cable NYAF 1 x 6 mm @10Meter	Jembo,KMI,DII	1	Roll
	AC Cable	Cable Power NYHY 1 x 1,5 mm @5Meter	Eterna,Jembo	1	Roll
	Cable Grounding	NYAF 1 x 6 mm @3Meter	Eterna,Jembo	1	Roll
Accessories					
6	Accessories	Stop Kontak	Uticon, Dutron	1	Pcs
		Box Panel 50 x 40 x 20	Lokal	1	Pcs
		Skun, Isolasi, Kabel Duck, DII	Lokal	1	Set
		Tiang Bracket Panel Surya	Custom	1	Set
		PZEM-015 Battery Analyzer 100A	PZEM, Pecaefair	1	Pcs
		PZEM-017 DC 300V 50A & PZEM AC 220V	PZEM, Peacefair	1	Set
		PZEM-028 AC Power Meter 400V 100A	PZEM, Peacefair	1	Pcs
		LVD YX612 10V-60V 30A	Lokal	1	Pcs
Solar Charge Controller					
7	Solar Charge Controller	SCC PWM 10A 12/24V	PowMr, Stec, Mikachi	1	Pcs
Battery Storage					
8	Battery Storage	VRLA 12V 20Ah	VOZ, Solana	1	Pcs

Kebutuhan hardware dalam pembuatan monitoring sistem ini sesuai tabel 2 yang diintegrasikan dengan software Blynk untuk pemantauan kondisi secara real time. Tujuan dari pemantauan secara monitoring system ini bisa mendapatkan informasi secara realtime atau langsung dengan fokus pemantauan kinerja dari keluaran daya panel surya dalam kondisi abnormal atau shading dengan mengimplementasikan prinsip kerja dari *PV* Optimizer yaitu dengan metode Buck-Boost Converter. Dalam Pembuatan Software Blynk seperti pada gambar 4 ini diperlukan beberapa komponen untuk perancangan dari segi hardware dan dikonfigurasi melalui program Arduino. Komponen tersebut adalah :

1. Board Node MCU ESP8266
2. Sensor voltage dan arus AC PZEM-004t
3. Sensor voltage dan arus DC PZEM-016
4. Sensor Suhu dan Kelembaban DHT22
5. Indicator Lamp

HASIL DAN PEMBAHASAN

PV Optimizer memiliki prinsip kerja sebagai buck-boost converter, dimana komponen dari *PV* Optimizer memiliki persamaan dengan komponen yang terdapat pada buck-boost converter yaitu : Kapasitor, Resistor, Induktor, IC PCB Board, dan komponen pendukung lainnya. *PV* Optimizer memiliki berbagai macam kapasitas daya yang disesuaikan dengan kebutuhan dari sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya, Namun pada penelitian yang dilakukan menggunakan *PV* Optimizer dengan kapasitas 650 W seperti pada gambar 5.



Gambar 5. Alat Smart *PV* Optimizer

Pengukuran penelitian yang dilakukan menggunakan beberapa pengujian metode ukur untuk mendapatkan hasil perbandingan keluaran daya pada sistem pembangkit listrik tenaga surya dengan menggunakan *PV* optimizer dan solar charge controller. Pengujian pertama yang dilakukan yaitu dengan mengukur kualitas dari tiap masing-masing panel surya dengan kondisi normal dan abnormal (kaca tempered pecah, shading, dan debu) untuk mengetahui kemampuan output panel surya yang sesuai dengan datasheet atau tidak dan dapat dilihat di tabel 3 dibawah berikut ini.

Tabel 3. Hasil Pengukuran *PV* 50 Wp dalam Kondisi Normal dan Abnormal

<i>PV</i> Abnormal	Nilai	<i>PV</i> Normal	Nilai
Voltage at Pmax (Vmp)	19,73 V	Voltage at Pmax (Vmp)	21,76 V
Current at Pmax (Imp)	0,37 A	Current at Pmax (Imp)	0,55 A
Short-Circuit Current (Isc)	0,58 A	Short-Circuit Current (Isc)	1,37 A
Power Max (Pm)	11,44 W	Power Max (Pm)	29,81 W

Sesuai dengan perumusan untuk mengukur daya dalam suatu sistem listrik adalah:

Perhitungan daya *PV* Normal sebagai berikut,

$$\begin{aligned}\text{Daya (P)} &= 19,73 \text{ V} \times 0,58 \text{ A} \\ &= 11,44 \text{ Watt}\end{aligned}$$

Perhitungan daya *PV* Abnormal sebagai berikut,

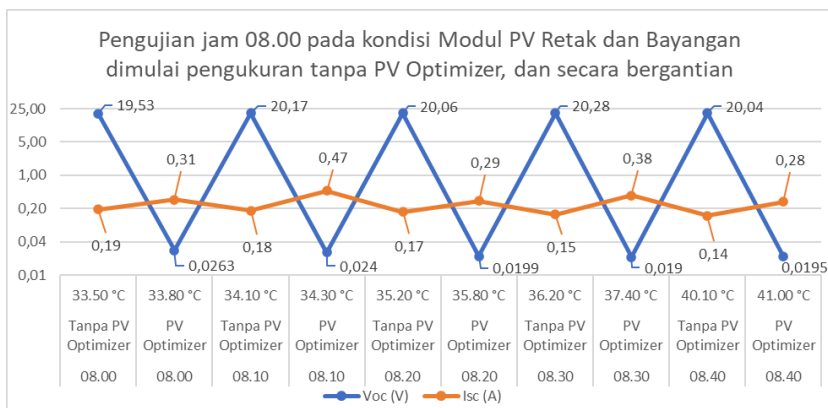
$$\begin{aligned}\text{Daya (P)} &= 21,76 \text{ V} \times 1,37 \text{ A} \\ &= 29,81 \text{ Watt}\end{aligned}$$

Dari tabel 3 pengukuran dan perhitungan daya tersebut dapat di analisa bahwa terjadi perbedaan dari beberapa parameter ukur seperti perbedaan pada tegangan *PV* abnormal yang mengalami penurunan di 19,73 V atau selisih 2,03 V dari *PV* dalam kondisi normal yang mempunyai tegangan sebesar 21,76 V. Kemudian perbedaan pada arus (I_{mp}) atau tanpa beban, *PV* abnormal yang mengalami penurunan di 0,37 A atau selisih 0,18 A dari *PV* dalam kondisi normal yang mempunyai arus (I_{mp}) sebesar 0,55 A. Untuk pengukuran arus short circuit (I_{sc}) dilakukan dengan menshortkan antara kedua kutub positif dan negatif selama 3 detik dimana *PV* abnormal yang mengalami penurunan di 0,58 A atau selisih 0,18 A dari *PV* dalam kondisi normal yang mempunyai arus (I_{sc}) sebesar 0,79 A. Sedangkan keluaran daya yang didapat juga mengalami perbedaan dimana *PV* abnormal hanya memperoleh 11,44 Watt, dalam kondisi dapat disimpulkan bahwa *PV* abnormal mendapatkan hasil keluaran daya yang sangat jauh sesuai dengan spesifikasi dari panel surya tersebut. Dan keluaran daya pada *PV* normal memperoleh 29,81 Watt.



Gambar 6. Kondisi *PV* Normal dan Abnormal

Pengujian kedua, seperti pada gambar 6 dilakukan metode pengukuran yang berfokus pada kondisi *PV* Abnormal tanpa menggunakan *PV* Optimizer dan dengan menggunakan *PV* Optimizer untuk melihat keluaran tegangan dalam keadaan tanpa beban (V_{oc}) dan arus hubung singkat atau short circuit selama 3 detik (I_{sc}) terhadap suhu lingkungan di sekitar.



Gambar 7. Grafik Pengujian jam 08.00 pada kondisi Modul *PV* Retak dan Bayangan

Dari gambar 7 menunjukkan grafik bahwa keluaran tegangan Voc yang dimulai pada pukul 08.00 jika tanpa menggunakan *PV* Optimizer menghasilkan 19,53 V dan akan terus meningkat seiring adanya kenaikan pada suhu sekitar, sedangkan untuk keluaran arus Isc tertinggi menghasilkan 0,19 A. Kemudian jika pada kondisi menggunakan *PV* Optimizer maka nilai tegangan Voc yang dimulai pukul 08.00 mengalami penurunan menjadi 0,0263 V. Dalam situasi tersebut *PV* Optimizer bekerja sebagai buck converter atau menurunkan tegangan. Sedangkan untuk keluaran arus Isc tertinggi menghasilkan 0,47 A. Hal ini *PV* Optimizer mampu mengoptimalkan keluaran arus Isc pada permasalahan kaca panel surya yang retak dan bayangan yang sebelumnya jika tanpa menggunakan *PV* Optimizer hanya mendapatkan nilai arus Isc tertinggi 0,19 A kemudian dapat meningkat menghasilkan nilai arus Isc sebesar 0,47 A dengan penggunaan *PV* Optimizer.

Pengukuran keenam adalah dengan melakukan pengujian keluaran daya dari PV Abnormal dan PV Normal dalam kondisi tanpa penggunaan *PV* Optimizer yang terhubung secara seri dan menyalakan saklar MCB dari solar charge controller dan inverter serta menghubungkan dengan beban yaitu beban disini menggunakan 3 buah lampu LED dengan daya masing-masing lampu 6 Watt. Pengujian ini dilakukan agar mengetahui tegangan dan arus yang akan disuplai ke beban tersebut dan mengukur beberapa parameter dari beban AC tersebut. Data dari pengukuran keenam dapat dilihat dari tabel 4 sebagai berikut.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Tanpa *PV* Optimizer dengan Beban Terhubung Secara Seri

Pukul	Suhu (°C)	Kelembaban (RH)	Voltase PV (V)	Arus PV (A)	Daya PV (W)	Voltase AC (V)	Arus AC (A)	Daya AC (W)	Frekuensi (Hz)	Power Factor (PF)
14.30	47,00 °C	30,70%	13,20	0,92	12,14	237,00	0,10	13,98	48,80	0,59
14.40	46,40 °C	30,60%	13,18	0,91	11,99	236,90	0,10	13,98	48,90	0,59
14.50	46,50 °C	30,60%	13,17	0,91	11,98	236,80	0,10	13,97	48,80	0,59
15.00	46,60 °C	30,90%	13,17	0,90	11,85	236,80	0,10	13,97	48,90	0,59
15.10	47,60 °C	29,10%	13,17	0,91	11,98	236,80	0,09	12,57	48,80	0,59
15.20	47,30 °C	29,60%	13,16	0,90	11,84	236,80	0,10	13,97	48,90	0,59
15.30	48,40 °C	28,10%	13,16	0,90	11,84	236,80	0,10	13,97	48,80	0,59
15.40	49,20 °C	28,50%	13,16	0,90	11,84	236,80	0,09	12,57	48,90	0,59
15.50	50,50 °C	26,10%	13,16	0,90	11,84	236,80	0,10	13,97	48,80	0,59

16.00	50,10 °C	26,20%	13,16	0,89	11,71	236,70	0,09	12,57	48,80	0,59
-------	----------	--------	-------	------	-------	--------	------	-------	-------	------

Pengukuran terakhir adalah dengan melakukan pengujian keluaran daya dari *PV* Abnormal dan *PV* Normal dalam kondisi dengan penggunaan *PV* Optimizer yang terhubung secara seri seperti pada Gambar 2 dan menyalakan saklar MCB dari solar charge controller dan inverter serta menghubungkan dengan beban yaitu beban disini menggunakan 3 buah lampu LED dengan daya masing-masing lampu 6 Watt. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan keluaran daya yang dihasilkan dari panel surya hingga didistribusikan ke beban dengan tanpa adanya penggunaan *PV* Optimizer. Data dari pengukuran keenam dapat dilihat dari tabel 5.

Dari data tabel 5 dapat diketahui kinerja *PV* Optimizer bekerja secara baik terhadap keseluruhan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Hal ini dapat dipastikan karena pada tabel pengukuran tanpa adanya penggunaan *PV* Optimizer tegangan yang keluar dari panel surya dan masuk ke solar charge controller lebih tinggi berkisar 13,16 V namun untuk arus yang keluar dari panel surya dan masuk ke solar charge controller lebih rendah yaitu berkisar 0,90 A. Setelah ditambah dengan penggunaan *PV* Optimizer maka hasil tegangan yang keluar dari panel surya dan masuk ke solar charge controller diturunkan ke tegangan yang berkisar 12,91 V, dalam hal ini *PV* Optimizer bekerja sebagai buck converter atau menurunkan tegangan. Tetapi arus yang keluar dari panel surya dan masuk ke solar charge controller dinaikkan menjadi 1,20 A.

Tabel 5. Hasil *PV* Optimizer dengan Beban Terhubung Secara Seri

Puku l	Suhu (°C)	Kelemb apan (RH)	Voltase PV (V)	Arus PV (A)	Daya PV (W)	Voltase AC (V)	Arus AC (A)	Daya AC (W)	Frek. (Hz)	Power Factor (PF)
14.50	45,70 °C	33,60%	12,93	1,21	15,6	235,5	0,09	12,51	48,80	0,59
15.00	45,80 °C	31,10%	12,92	1,20	15,5	235,5	0,09	12,51	48,90	0,59
15.10	44,50 °C	32,00%	12,92	1,20	15,5	235,5	0,09	12,51	48,80	0,59
15.20	44,60 °C	32,10%	12,90	1,20	15,4	235,5	0,09	12,51	48,90	0,59
15.30	44,40 °C	31,90%	12,91	1,20	15,4	235,5	0,10	13,89	48,80	0,59
15.40	44,50 °C	32,70%	12,92	1,20	15,5	235,5	0,10	13,89	48,90	0,59
15.50	44,30 °C	32,00%	12,92	1,20	15,5	235,5	0,10	13,89	48,80	0,59
16.00	44,10 °C	33,30%	12,91	1,20	15,4	235,5	0,09	12,51	48,90	0,59
16.10	44,20 °C	33,00%	12,91	1,20	15,4	235,5	0,09	12,51	48,80	0,59
16.20	44,00 °C	33,70%	12,91	1,20	15,4	235,5	0,09	12,51	48,80	0,59

Dapat disimpulkan bahwa keluaran daya dari panel surya setelah penggunaan *PV* Optimizer mendapatkan hasil yang optimal dimana rerata output yang didapat berkisar 15,50 Watt, dibandingkan dengan keluaran daya yang dihasilkan oleh panel surya tanpa penggunaan *PV* Optimizer hanya mendapatkan output berkisar 11,8 Watt. Implementasi pengujian seperti pada gambar 8, dengan adanya penggunaan *PV* Optimizer ini mampu mendistribusikan suplai ke beban lebih stabil dan keluaran daya dari beban AC tersebut lebih maksimal tanpa adanya gangguan dari intermitensi radiasi matahari dan suhu lingkungan. Dalam perhitungan beban AC dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\text{Daya Aktif (P)} = \text{Tegangan Efektif (V)} \times \text{Arus Efektif (I)} \times \text{Cosinus Phi (}\cos\phi\text{)}$$

Di mana:

Daya Aktif (P) = $235,50 \text{ V} \times 0,10 \text{ A} \times 0,59$

Daya Aktif (P) = 13,89 Watt



Gambar 8. Penggunaan *PV Optimizer* dengan Beban yang terhubung secara Seri

KESIMPULAN

Perancangan prototype Pembangkit Listrik Tenaga Surya dengan Inverter 500W menggunakan PV Optimizer dapat mengoptimalkan keluaran daya pada kondisi abnormal (kaca tempered pecah, shading, dan debu). Penelitian ini memberikan rekomendasi bahwa untuk pengoptimalan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya yang mengalami drop performance akibat dari salah satu faktor panel surya yang mengalami kerusakan atau keadaan yang tidak normal yang bersumber dari potensi shading, hotspot, dan lainnya. Dari pengukuran dan perbandingan data tersebut dapat disimpulkan bahwa, penggunaan PV Optimizer dapat meningkatkan efisiensi dari keluaran daya Pembangkit Listrik Tenaga Surya yang menerapkan prinsip kinerja PV Optimizer yaitu sebagai buck-boost converter atau menurunkan tegangan dan menaikkan tegangan untuk dapat dikonfigurasi dengan parameter lainnya. Dapat memberikan penjelasan mengenai prinsip kerja dari PV Optimizer dan fungsi kerja sehingga bisa berdampak pada keluaran daya dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Satria and S. Syafii, "Sistem Monitoring Online dan Analisa Performansi PLTS Rooftop Terhubung ke Grid PLN," *Jurnal Rekayasa ElektriKa*, vol. 14, no. 2, 2018, doi: 10.17529/jre.v14i2.11141.
- [2] D. . Pangestuningtyas, H. Hermawan, and K. Karnoto, "Analisis sudut panel solar cell terhadap daya output dan efisiensi yang dihasilkan," *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, vol. 8, no. 2, pp. 0–7, 2020.
- [3] A. Elmelegi, M. Aly, E. M. Ahmed, and A. Alhaider, "An efficient low-cost distributed MPPT method for energy harvesting in grid-tied three-phase PV power optimizers," in *In 2019 21st International Middle East Power Systems Conference (MEPCON)*, 2019, pp. 1042–1044.
- [4] P. Samantaray and S. Sushree, "Performance of Solar Photovoltaic Module Under Partial Shading Conditions," in *In 2016 10th International conference on intelligent systems and control (ISCO)*, 2016, pp. 1–4.
- [5] A. S. Wardhana, A. K. Dewi, and H. Taufiqurrahman, "Pengaruh Kerusakan Dioda Bypass pada Performa 50 Modul Photovoltaic berdasarkan Kondisi Partial Shading," in *Prosiding*

Seminar Nasional Teknologi Energi dan Mineral, 2021, vol. 1, pp. 887–895.

- [6] X. Zhang, M. Chen, Y. Fu, and Y. L. Power, “A step-down partial power optimizer structure for photovoltaic series-connected power optimizer system,” in *ieeexplore.ieee.org* X Zhang, M Chen, Y Fu, Y Li 2018 IEEE International Power Electronics and Application, 2018•*ieeexplore.ieee.org*, 2018, pp. 1–4, Accessed: Mar. 24, 2024. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8590325/>.
- [7] I. Winarno and L. Natasari, “Maximum Power Point Tracker (MPPT) Berdasarkan Metode Perturb and Observe Dengan Sistem Tracking Panel Surya Single Axis,” *Umj*, no. November, pp. 1–9, 2017.
- [8] A. Rajagukguk, C. W. Priananda, D. C. Riawan, and M. Ashari, ““Prototype of Power Optimization Based on Converter Topologies Reconfiguration Using PV String Smart Clustering Method for Static Miniature Photovoltaic Farm Under Partially Shaded Condition,”” *International Review of Automatic Control (IREACO)*, vol. 10, no. 4, pp. 289–295, 2017.
- [9] A. N. N. Afifah, Indrabayu, A. Suyuti, and Syafaruddin, “Hotspot Detection in Photovoltaic Module using Otsu Thresholding Method,” in *In2020 IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite (Comnetsat)*, 2020, pp. 408–412, doi: 10.1109/Comnetsat50391.2020.9328987.
- [10] V. B. Raju and C. Chengaiah, “Power Enhancement of Solar PV Arrays under Partial Shading Conditions with Reconfiguration Methods,” *2019 Innovations in Power and Advanced Computing Technologies, i-PACT 2019*, pp. 1–7, 2019, doi: 10.1109/i-PACT44901.2019.8960012.
- [11] A. Fauzi, M. Facta, and S. Sudjadi, “Perencanaan Maximum Power Point Tracking (Mppt) Dengan Metode Perturb and Observe Pada Panel Surya,” *Transient*, vol. 7, no. 4, p. 918, 2019, doi: 10.14710/transient.7.4.918-924.
- [12] Pujiyanto, P., A. S. Wardhana, and A. K. Dewi, “Pelatihan dan Pembuatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) untuk Penerangan Jalan di Masyarakat,” *Jurnal ESDM*, vol. 11, no. 1, pp. 37–43, 2022.