

ANALISIS RUGI-RUGI DAYA AKIBAT *SHADOW* PADA *PHOTOVOLTAIC* DI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) SENGKOL, LOMBOK TENGAH EFFECT LOSS ANALYSIS *SHADOW* ON *PHOTOVOLTAIC* AT THE SENGKOL SOLAR POWER PLANT (PLTS), CENTRAL LOMBOK

Aprizal Rizki^{1*}, Ahmad Jaya², Nova Aryanto³, Muhammad Hidayatullah⁴

^{1,2,3,4}Universitas Teknologi Sumbawa/Fakultas Rekayasa Sistem
aprizalrizki89@gmail.com^{1*}, *ahmad.jaya@uts.ac.id*², *nova.aryanto@uts.ac.id*³,
*muhhammad.hidayatullah@uts.ac.id*⁴

INFO ARTIKEL

Submitted: 30 Juni 2023

Revised: 20 Juli 2023

Accepted: 31 Juli 2023

ABSTRAK

Pembangkit Listrik Tenaga Surya *on grid* Sengkol, Lombok Tengah, Nusa Tenggara Barat (NTB) tersusun dari kumpulan modul surya (*photovoltaic*), *array*, *inverter*, kabel *string*, dan peralatan pengaman yang dirangkai dalam satu kesatuan sistem. Masing-masing dari komponen tersebut memiliki peran dalam menyalurkan energi listrik yang dihasilkan *photovoltaic* ke PLN. Terdapat banyak masalah yang terjadi pada PLTS Sengkol, salah satu masalah yang sering terjadi adalah terjadinya *losses* atau rugi-rugi daya pada *photovoltaic* yang disebabkan oleh *shadow* (bayangan) yang menutupi *photovoltaic*. *Losses* merupakan kebocoran daya atau daya yang hilang di sepanjang jalur penyaluran tenaga listrik. Penelitian ini bertujuan untuk memaksimalkan daya listrik yang dihasilkan oleh PLTS. Bayangan adalah suatu cahaya terhalang sesuatu benda, maka terbentuklah bayang-bayang. Beberapa penelitian menunjukkan produksi listrik yang dihasilkan *photovoltaic* mengalami penurunan karena adanya efek bayangan, hal ini berlaku jika diamatai pada *photovoltaic* karena semakin kecil *losses* yang terjadi, maka semakin besar produksi daya listrik yang dihasilkan. Bayangan disebabkan oleh terjadinya gerak semu matahari. Gerak semu matahari disebabkan oleh rotasi bumi berada pada porosnya dimana bumi berputar dari arah barat ke timur sehingga seolah-olah matahari bergerak dari timur ke barat. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode kuantitatif yaitu metode yang menghitung dan menganalisa *losses* yang terjadi. Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa yang telah dilakukan diperoleh rugi-rugi daya akibat bayangan sebesar 1,98% yang dihasilkan oleh *photovoltaic*. Rugi-rugi daya sebesar 1,98% dinyatakan masih berada pada nilai aman.

Kata Kunci: PLTS *on grid*, *Losses*, Bayangan, Gerak Semu Matahari.

ABSTRACT

Solar Power Plant On grid Sengkol, Central Lombok, West Nusa Tenggara (NTB) is composed of a collection of solar modules (photovoltaic), array, inverter, cablestring, and safety equipment arranged in a single system. Each of these components has a role in distributing the generated electrical energy photovoltaic to PLN. There are many problems

that occur in PLTS Sengkol, one of the problems that often occurs is the occurrence losses or power losses in photovoltaic which is caused by shadow (shadow) covering photovoltaic. Loss is power leakage or power loss along the electric power distribution lines. This study aims to maximize the electric power generated by PLTS. Shadow Is a light that is blocked by an object, then a shadow is formed. Several studies have shown the resulting electricity production photovoltaic has decreased due to the shadow effect, this applies if observed on photovoltaic Because it's getting smaller losses that occur, the greater the production of electrical power generated. Shadows are caused by the apparent motion of the sun. The apparent motion of the sun is caused by the rotation of the earth on its axis where the earth rotates from west to east so that it seems as if the sun is moving from east to west. The method used in this study is a quantitative method, namely a method that calculates and analyzes losses that happened. Based on the results of calculations and analysis that has been done, it is obtained that the power losses due to shadows are 1.98% generated by photovoltaic. Power losses of 1.98% are stated to be at a safe value.

Keywords: PLTS on Grid, Losses, Shadows, Pseudo Motion of the Sun.

1. PENDAHULUAN

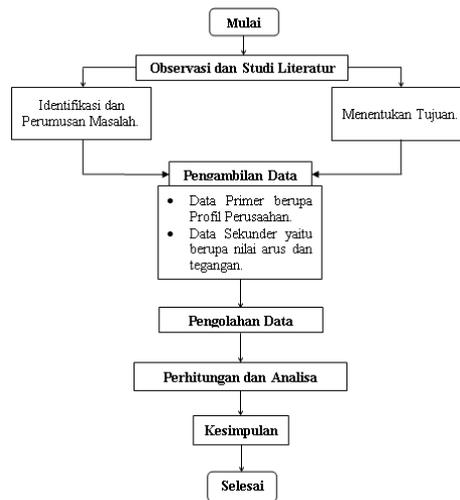
Seiring berjalannya waktu, teknologi berkembang semakin pesat. Semakin banyaknya penduduk, semakin banyak pula energi listrik yang dibutuhkan. Untuk mengatasi hal tersebut, Perusahaan Listrik Negara (PLN) harus memaksimalkan energi listrik yang ditransmisikan ke masyarakat. Untuk menyuplai penyediaan energi listrik pada PLN dibutuhkan pembangkit-pembangkit listrik yang memanfaatkan sumber energi terbarukan, salah satunya adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Sistem kerja alat PLTS adalah pada saat siang hari, saat matahari bersinar, radiasi yang dihasilkan dari cahaya matahari ditangkap oleh panel surya, maka elektron – elektron yang pada sel surya akan bergerak dari N ke P, sehingga pada terminal keluaran dari panel surya berbeda – beda tergantung dari jumlah sel surya yang dikombinasikan di dalam panel surya tersebut [1]. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah kumpulan beberapa peralatan yang terdiri dari material utama berupa panel sel surya dan beberapa komponen utama lainnya untuk merubah energi matahari menjadi energi listrik [2]. energi panas matahari merupakan sumber energi terbarukan yang tidak akan pernah habis. Penggunaan energi surya juga dapat mencegah penggunaan bahan bakar fosil. Penggunaan energi surya tidak menghasilkan emisi karbon sama seperti Bahan Bakar Minyak (BBM). Oleh karena itu energi surya dapat dikatakan sebagai salah satu sumber energi alternatif yang sangat lingkungan. Dan pastinya hal ini dapat mencegah pemanasan global yang dapat menyebabkan perubahan iklim tak menentu. Tak hanya itu saja, panel surya juga memproduksi energi dalam diam, sehingga tak mengeluarkan bunyi bising dan lainnya [3]. Ketidakseimbangan antara peningkatan kebutuhan energi dan ketersediaan sumber energi membutuhkan sebuah solusi. Salah satu yang telah dilakukan banyak negara di dunia adalah mengarahkan kebijakan energi negaranya pada spektrum baru. Salah satu contohnya adalah penggunaan energi yang signifikan, ramah lingkungan, dan keberadaanya belum dimanfaatkan secara maksimal yaitu PLTS, mengkonversikan energi radiasi matahari menjadi energi listrik. Terkait dengan energi surya, sebagai negara tropis Indonesia mempunyai potensi energi yang cukup besar. PLTS Sengkol menggunakan *photovoltaic* sebagai alat mengkonversi energi matahari menjadi listrik menggunakan efek *photoelectric*. Daya yang dihasilkan *photovoltaic* sangat berpengaruh dengan bagaimana intensitas dari cahaya matahari. Salah satu penyebab dari kurangnya daya yang dihasilkan adalah tertutupnya *photovoltaic* oleh suatu *Shadow* (bayangan). Penyebab terjadinya bayangan yang menutupi *photovoltaic* antara lain terjadi bayangan antar tabel, tumbuhnya pepohonan di dekat area pemasangan *photovoltaic*, dan pemasangan tiang CCTV yang kurang tepat, serta dipengaruhi oleh gerak semu matahari. Sehingga dari permasalahan tersebut akan mengakibatkan terjadinya *losses* (rugi-rugi daya) pada *Photovoltaic*. Penelitian ini menganalisis rugi-rugi daya akibat *shadow* pada *photovoltaic* di Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sengkol, Lombok Tengah.

Telah dilakukan penelitian sebelumnya yang pertama terkait analisis *losses* (rugi-rugi daya) pada suatu penghantar DC pada PLTS 1 Mwp *on-grid*. Penelitian tersebut dilakukan dengan menggunakan rumus matematis dan menganalisis nilai arus, tegangan dan daya yang mengalir pada suatu resistansi kabel DC. Kabel penghantar yang ada pada PLTS memiliki nilai resistansi yang dinyatakan dalam satuan ohm/km. Perhitungan dan analisa dilakukan dengan menggunakan data hasil pengukuran yang dihasilkan *software fusion solar* [4]. Penelitian yang kedua yaitu terkait Analisa Daya Pada Panel Surya Di Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Rooftop On Grid* Kapasitas 30 Kva Gedung Kantor PT. Energi Listrik Batam [5]. Penelitian selanjutnya yaitu Analisis Efisiensi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya [6]. Dari ketiga penelitian tersebut didapatkan *losses* yang terjadi pada salah satu komponen PLTS. Berdasarkan kelemahan ataupun kekurangan dari penelitian ini penulis menganalisa *losses* yang dihasilkan pada suatu *photovoltaic* (panel surya) yang terjadi akibat tertutup oleh suatu bayangan dari pepohonan atau benda-benda yang berada persis didekat *photovoltaic*.

2. METODOLOGI PENELITIAN

A. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif yaitu metode yang menghitung dan menganalisa rugi-rugi daya yang terjadi akibat bayangan pada *photovoltaic*.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

B. Persamaan yang digunakan pada Penelitian

- Rumus menghitung daya pada *Photovoltaic*.

$$P = V \cdot I \dots\dots\dots (1)$$

Persamaan diatas merupakan rumus untuk menghitung daya keluaran *photovoltaic* dimana P adalah daya, V adalah nilai tegangan, dan I adalah nilai arus yang dihasilkan *photovoltaic*.

- Rumus menghitung rugi-rugi daya akibat *shadow*.

$$P_{loss} = 2 \cdot I_{rc}^2 \cdot R \dots\dots\dots (2)$$

Persamaan diatas merupakan rumus untuk menghitung daya *losses* yang terjadi pada *photovoltaic* yang terjadi akibat bayangan yang menutupi bagian *photovoltaic*, dimana P_{loss} adalah nilai *losses* (rugi-rugi daya), I_{rc} adalah nilai arus yang terkena bayangan, dan R adalah nilai resistansi.

- Rumus menghitung persentase rugi-rugi daya akibat *shadow*.

$$\%Rugi = \frac{P_{loss}}{P_{tot}} \times 100 \% \dots\dots\dots (3)$$

Persamaan diatas merupakan rumus untuk menghitung persentase rugi-rugi daya yang dihasilkan, dimana %rugi adalah total persentase rugi daya yang dihasilkan, P_{loss} adalah nilai rugi-rugi daya, dan P_{tot} adalah nilai daya total yang dibangkitkan *photovoltaic*.

C. PLTS Sengkol

1. Konfigurasi PLTS Sengkol

PLTS Sengkol 7 MWp memiliki 21.600 buah *Photovoltaic* dengan kapasitas per *photovoltaic* modul sebesar 325 Wp dan keseluruhan spesifikasi ditunjukkan pada gambar 2. Terdapat 40 buah modul yang dirangkai menggunakan rangkaian paralel kemudian membentuk *string*, setiap masing-masing *string* ke *Array box* selanjutnya dihubungkan menuju *DC Box* dan dihubungkan lagi menuju *inverter* untuk diubah menjadi listrik AC. *Array box* merupakan salah satu komponen penting pada PLTS yang berfungsi memproteksi dari gangguan internal maupun eksternal yang terjadi pada komponen PLTS yaitu dari *photovoltaic*, kabel *string*, dan juga *array box* itu sendiri. Pada panel *array box* dipasang komponen kontrol tegangan dan arus untuk setiap *string photovoltaic* dengan tujuan agar daya keluaran *photovoltaic* dapat dimonitor setiap jam. Instalasi Panel *Array Box* terdiri atas instalasi fuse atau sekering dengan tujuan membatasi arus dari panel *photovoltaic* ke Panel *Array Box*, instalasi peralatan *String Monitoring* sebagai alat ukur *output photovoltaic*, instalasi *Disconnecting Switch* sebagai saklar penghubung *Array Box* dan *Inverter*, instalasi proteksi lonjakan untuk melindungi PLTS dari lonjakan tegangan [7]. Kotak penghubung (*Array Box*) digunakan sebagai terminal penghubung antara serangkaian sel surya ke beban atau ke panel lainnya. Perangkat ini berisi kawat busbar dari rangkaian sel surya, kabel dan *bypass diode* [8]. Kabel *String* merupakan perangkat yang berfungsi sebagai media penghantar listrik untuk mendistribusikan daya dari *Photovoltaic* menuju *Array Box*.

Pemilihan kabel string dalam suatu PLTS adalah berdasarkan pada nilai Kuat Hantar Arus (KHA). Pada kabel *string* memiliki nilai arus yang sama dengan arus yang ada pada tiap *photovoltaic*, sedangkan nilai tegangan pada *string* merupakan penjumlahan dari tegangan tiap *photovoltaic* [9]. *Inverter* adalah salah satu perangkat pada PLTS yang berfungsi mengubah listrik arus DC menjadi listrik arus AC, dimana listrik arus AC sudah siap untuk didistribusikan kepada pengguna dan *grid*. Penentuan kapasitas *inverter* adalah sebesar 1,25 dari kapasitas PV terpasang [10]. Sumber tegangan input inverter dapat menggunakan battery, tenaga surya, atau sumber tegangan DC yang lain [11]. Adapun spesifikasi *photovoltaic* yang digunakan pada PLTS Sengkol dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Modul *Photovoltaic*

<i>Module Tipe : TSM-325PEG14</i>	
<i>Maximum Power (Pmax)</i>	325 W
<i>Maximum Power Voltage (Vmp)</i>	37.4 V
<i>Maximum Power Current (Imp)</i>	8.69 A
<i>Open Circuit Voltage (Voc)</i>	45.6 V
<i>Short Circuit Current (Isc)</i>	9.27 A
<i>Maximum Series Fuse</i>	15 A
<i>Power Selection</i>	0-5 W
<i>Module Application</i>	Class A
<i>Maximum System Voltage</i>	IEC1500V

Electrical Rating At STC AM = 1.5 IRRADIANCE =1000W/m2 Temp = 25° C

Terdapat 8 *inverter* dan 40 *array box* di PLTS Sengkol, masing-masing *array box* terhubung pada 12-14 buah *string*. Setiap satu *string* terhubung ke 40 buah *photovoltaic* yang telah diparalelkan, pada *inverter* dan *array box* telah dipasang komponen kontrol yang menggunakan jaringan internet untuk memberi sinyal dan mentransfer data hasil pengukuran ke sistem *scada*.

2. Letak Geografis PLTS Sengkol



Gambar 2. Map PLTS Sengkol.

Indonesia yang berada pada garis khatulistiwa ini diperkirakan mempunyai penyinaran radiasi matahari sebesar 4,8kWh/m² per hari. Panel surya mengkonversi energi foton menjadi energi listrik dimana matahari sangat berperan penting dalam hal ini, kondisi lingkungan yang terus berubah bisa mempengaruhi daya output pada panel surya [12]. PLTS Sengkol terletak di desa Sengkol kecamatan Pujut kabupaten Lombok Tengah provinsi Nusa Tenggara Barat (NTB). PLTS Sengkol memiliki luas tanah secara keseluruhan seluas 9,18 hektar dengan luas pemasangan *photovoltaic* seluas 5,4 hektar. Dalam pemasangan *photovoltaic*, terdapat 270 tabel yang terdiri dari 80 *photovoltaic* untuk setiap tabelnya dengan total keseluruhan *photovoltaic* modul berjumlah 21.600, *Array Box* sebanyak 40 buah, *PV Box* 2 buah yang didalamnya terdapat 8 buah *Inverter* dan 8 buah *DC Box*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Rugi-rugi daya pada *Photovoltaic* akibat bayangan.

Rugi-rugi daya listrik merupakan suatu listrik yang hilang dalam penyaluran daya listrik suatu sumber ke sumber yang lain [13]. Nilai arus dan tegangan setiap *string* yang dialirkan ke *array box* akan masuk datanya ke sistem *scada* dalam waktu *real time*. Terdapat beberapa faktor yang menyebabkan kurang ya daya yang dihasilkan *photovoltaic*, salah satunya bayangan. Bayangan sangat berpengaruh terhadap daya produksi yang dihasilkan

photovoltaic, jika terdapat bayangan yang menutupi permukaan *photovoltaic*, maka daya yang dihasilkan *photovoltaic* tidak akan maksimal [14]. Semakin tinggi radiasi matahari yang mengenai permukaan *photovoltaic* maka semakin besar pula arus listrik yang dihasilkan. Semakin pendek panjang gelombang cahaya maka semakin tinggi energi foton yang dimiliki sehingga mengakibatkan besarnya energi yang dihasilkan dan juga semakin besar arus yang mengalir [15]. Nilai arus dan tegangan pada setiap *array box* yang terdapat pada sistem *scada* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai arus dan tegangan setiap *array box* pada sistem *scada*.

Array Box	Nilai Rata-Rata		
	Arus (A)	Standar Deviasi Arus	Tegangan (V)
Array Box 1-1-1	115,9	79,25	660,3
Array Box 1-1-2	115,44	79,25	662,8
Array Box 1-1-3	115,33	78,83	666,58
Array Box 1-1-4	99,64	68,52	671,05
Array Box 1-1-5	100,27	68,71	666,34
Array Box 2-2-1	98,66	67,48	662,48
Array Box 2-2-2	115,85	78,62	666,88
Array Box 2-2-3	115,26	78,59	659,48
Array Box 2-2-4	114,97	78,18	662,02
Array Box 2-2-5	106,7	73,23	667,72
Array Box 3-3-1	106,43	72,09	657,48
Array Box 3-3-2	114,4	76,76	658,97
Array Box 3-3-3	113,23	75,72	662,49
Array Box 3-3-4	115,08	77,69	670,98
Array Box 3-3-5	107,43	72,44	660,06
Array Box 4-4-1	114,47	77,15	655,12
Array Box 4-4-2	114,36	76,64	655,09
Array Box 4-4-3	114,37	77,17	656,19
Array Box 4-4-4	115,4	78,06	656,48
Array Box 4-4-5	97,77	67,43	669,64
Array Box 5-5-1	114,39	78,83	658,77
Array Box 5-5-3	82,2	60,1	658,23

Nilai arus rata-rata pada tabel di atas adalah nilai penjumlahan rata-rata arus *string* yang menuju ke satu *array box*. Perhitungan daya rata-raya dapat dihitung menggunakan persamaan (1) yaitu dengan menggunakan nilai tegangan dan arus, yakni sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Array Box 1-1-1} : P &= V \cdot I \\
 P &= 660,3 \times 115,9 \\
 P &= 80.582,69 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan hasil perhitungan daya yang dibangkitkat pada *array box* 1-1-1 sampai dengan *array box* 5-5-3. Daya produksi masing-masing *array box* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan daya rata-rata

Array Box	Daya produksi rata-rata(W)
Array Box 1-1-1	80.582,69
Array Box 1-1-2	80.400,93
Array Box 1-1-3	80.963,95
Array Box 1-1-4	70.369,86
Array Box 1-1-5	70.219,24
Array Box 2-2-1	68.927,38
Array Box 2-2-2	81.544,77
Array Box 2-2-3	80.175,22
Array Box 2-2-4	80.290,09
Array Box 2-2-5	75.162,64

Array Box 3-3-1	73.713,97
Array Box 3-3-2	79.006,42
Array Box 3-3-3	79.066,28
Array Box 3-3-4	81.514,79
Array Box 3-3-5	74.725,1
Array Box 4-4-1	78.935,44
Array Box 4-4-2	78.840,81
Array Box 4-4-3	79.032,68
Array Box 4-4-4	79.808,2
Array Box 4-4-5	68.975,98
Array Box 5-5-1	79.667,48
Array Box 5-5-3	57.281,54

B. Perhitungan rugi-rugi daya pada array box 1-1-1 sampai dengan Array box 5-5-3.

Kabel *string* yang digunakan pada PLTS Sengkol memiliki nilai resistansi sebesar 3,6 ohm/km dengan panjang kabel yang digunakan sepanjang 80m, jadi total nilai resistansinya sebesar 0,288ohm. *Losses* yang terjadi akibat bayangan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2) dimana nilai arus setiap *string* dapat dilihat dari sistem *scada*, yakni sebagai berikut:

$$P_{loss} = 2 \times I_{rc}^2 \times R \dots\dots\dots (2)$$

Maka: Array box 1-1-1

$$P_{lossAB_{1-1-1}} = 2 \times (115,9)^2 \times 0,288$$

$$= 2 \times 13.432,81 \times 0,288$$

Dari perhitungan diatas, didapatkan rugi-rugi daya akibat bayangan yang terjadi pada zona 1a dan zona 1b yaitu pada array box 1-1-1 sampai dengan array box 5-5-3. Hasil perhitungan *losses* dapat ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Perhitungan *losses* akibat bayangan

Array Box	Arus (A)	Nilai Rata-Rata	
		Standar deviasi arus	Rugi daya (W)
Array Box 1-1-1	115,9	79,25	7.737,98
Array Box 1-1-2	115,44	79,25	7.676,85
Array Box 1-1-3	115,33	78,83	7.661,55
Array Box 1-1-4	99,64	68,52	5.719,44
Array Box 1-1-5	100,27	68,71	5.792,02
Array Box 2-2-1	98,66	67,48	5.607,56
Array Box 2-2-2	115,85	78,62	7.730,81
Array Box 2-2-3	115,26	78,59	7.652,36
Array Box 2-2-4	114,97	78,18	7.614,04
Array Box 2-2-5	106,7	73,23	6.558,06
Array Box 3-3-1	106,43	72,09	6.525,07
Array Box 3-3-2	114,4	76,76	7.539,01
Array Box 3-3-3	113,23	75,72	7.385,57
Array Box 3-3-4	115,08	77,69	7.629,11
Array Box 3-3-5	107,43	72,44	6.648,19
Array Box 4-4-1	114,47	77,15	7.548,58
Array Box 4-4-2	114,36	76,64	7.533,78
Array Box 4-4-3	114,37	77,17	7.535,44
Array Box 4-4-4	115,4	78,06	7.671,99
Array Box 4-4-5	97,77	67,43	5.506,57
Array Box 5-5-1	114,39	78,83	7.538,21
Array Box 5-5-3	82,2	60,1	3.892,83

Setiap *array box* terdiri dari 12-14 kabel *string*, arus rata-rata pada tabel di atas merupakan nilai rata-rata setiap *string* dan dijumlahkan dengan rata-rata *string* yang lain yang masih berada pada satu *array box* tersebut. Perhitungan *losses* akibat bayangan dihitung menggunakan nilai arus rata-rata seluruh *string* yang berada pada *array box*. Setelah dilakukan perhitungan didapatkan nilai *losses* tertinggi terjadi pada *array box* 1-1-1 sebesar 7,7 Kw dan terendah pada *array box* 5-5-5 sebesar 3,8 Kw.

C. Perhitungan persentase losses

Untuk menghitung persentase *losses* akibat bayangan menggunakan persamaan (3) yakni sebagai berikut:

$$\%Rugi = \frac{P_{loss}}{P_{tot}} \times 100 \% \dots\dots\dots (3)$$

Maka: Array box 1-1-1

$$\%Rugi = \frac{7.737,98}{80.582,69} \times 100 \%$$

$$\%Rugi = 0,096\%$$

Dari perhitungan diatas, didapatkan persentase rugi-rugi pada *array box* 1-1-1 sampai dengan *array box* 5-5-3. Hasil perhitungan persentase *losses* dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Persentase *losses* akibat bayangan

Array Box	Nilai Rata-Rata		
	Daya Losses (W)	Daya produksi (W)	Persentase Losses (%)
Array Box 1-1-1	7.737,98	80.582,69	0,096
Array Box 1-1-2	7.676,85	80.400,93	0,095
Array Box 1-1-3	7.661,55	80.963,95	0,094
Array Box 1-1-4	5.719,44	70.369,86	0,081
Array Box 1-1-5	5.792,02	70.219,24	0,082
Array Box 2-2-1	5.607,56	68.927,38	0,081
Array Box 2-2-2	7.730,81	81.544,77	0,094
Array Box 2-2-3	7.652,36	80.175,22	0,095
Array Box 2-2-4	7.614,04	80.290,09	0,094
Array Box 2-2-5	6.558,06	75.162,64	0,087
Array Box 3-3-1	6.525,07	73.713,97	0,088
Array Box 3-3-2	7.539,01	79.006,42	0,095
Array Box 3-3-3	7.385,57	79.066,28	0,093
Array Box 3-3-4	7.629,11	81.514,79	0,093
Array Box 3-3-5	6.648,19	74.725,1	0,088
Array Box 4-4-1	7.548,58	78.935,44	0,095
Array Box 4-4-2	7.533,78	78.840,81	0,095
Array Box 4-4-3	7.535,44	79.032,68	0,095
Array Box 4-4-4	7.671,99	79.808,2	0,096
Array Box 4-4-5	5.506,57	68.975,98	0,079
Array Box 5-5-1	7.538,21	79.667,48	0,094
Array Box 5-5-3	3.892,83	57.281,54	0,067

Berdasarkan perhitungan diatas, didapatkan rata-rata persentase *losses* akibat bayangan tertinggi terjadi pada *array box* 1-1-1 dan *array box* 4-4-4 0,096%. Sedangkan persentase *losses* terendah pada *array box* 5-5-3 sebesar 0,067%. Dari perhitungan persentase *losses* yang telah dilakukan pada *array box* 1-1-1 sampai dengan *array box* 5-5-3 diperoleh nilai rugi-rugi akibat bayangan yaitu sebesar 1,98% dari daya produksi total yang dihasilkan pada zona 1a dan 1b. Jumlah persentase tersebut masih berada pada nilai aman.

PENUTUP

A. Kesimpulan

Total *string* yang terpengaruh akibat bayangan yaitu sebanyak 116 *String* yang terbagi pada tiga area yaitu area 1a sebanyak 63 *string*, area 1b sebanyak 47 *string*, dan area 2 sebanyak 6 *string*. Terdapat tiga penyebab terjadinya bayangan pada *photovoltaic* yaitu diantaranya terjadinya bayangan antar tabel, terjadinya bayangan dari tiang *cctv*, dan terjadinya bayangan dari pepohonan yang tumbuh di dekat area pemasangan *photovoltaic*.

Penyebab terjadinya bayangan yang menutupi *photovoltaic* pada area 1a dan 1b dipengaruhi oleh bayangan antar tabel *photovoltaic*, pepohonan, dan bayangan dari tiang *CCTV*. Sedangkan pada area 2 hanya dipengaruhi oleh bayangan pepohonan dan bayangan dari tiang *CCTV*.

Rata-rata persentase *losses* akibat bayangan dengan persentase rugi tertinggi terjadi pada *array box* 1-1-1 pada area 1a dan *array box* 4-4-4 pada area 2 yaitu sebesar 0,096%. Sedangkan persentase *losses* terendah pada *array box* 5-5-3 pada area 2 yaitu sebesar 0,067%. Pembagian *losses* terbagi pada tiga area yaitu total *losses* area 1a sebesar 0,918%, pada area 1b sebesar 0,731%, dan total *losses* pada area 2 sebesar 0,338%. Jadi total rugi-rugi daya yang didapatkan pada seluruh area yaitu pada *array box* 1-1-1 sampai dengan *array box* 5-5-3 adalah sebesar 1,98% dan dinyatakan masih berada pada nilai aman.

B. Saran

Untuk mengurangi *losses* pada *photovoltaic* yang terjadi akibat bayangan pepohonan, perusahaan bisa menebang pohon yang menutupi bagian *photovoltaic* pada area 1a yang mempengaruhi *string* 5 *array box* 1-1-2, pada area 1b yang mempengaruhi *string* 7 *array box* 2-2-1, dan pada area 2 yang mempengaruhi *string* 1 dan 5 *array box* 4-4-5, *string* 9 *array box* 5-5-1, dan *string* 13 dan 14 *array box* 5-5-3. Untuk Mengurangi *losses* yang terjadi akibat bayangan tiang *CCTV*, perusahaan bisa memindahkan tiang *CCTV* yang menutupi bagian

photovoltaic pada area 1a yang mempengaruhi *string 5 array box 1-1-1*, pada area 1b yang mempengaruhi *string 1 array box 2-2-1*, dan pada area 2 yang mempengaruhi *string 3 array box 4-4-4*.

Adapun saran untuk peneliti selanjutnya yaitu untuk mengetahui besarnya *losses* secara keseluruhan, peneliti selanjutnya dapat melakukan analisis *losses* akibat bayangan pada seluruh area yaitu pada area 1a, 1b, dan area 2.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. M. Darno *Et Al.*, “Studi Perencanaan Modul Praktikum Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts),” *Stud. Perenc. Modul Prakt. Pembangkit List. Tenaga Surya*, Vol. 1, 2017.
- [2] A. Burhandono And N. Sinaga, “Menjaga Keandalan Sistem Plts Dengan Metode Failure Mode Effect Analysis (Fmea),” Vol. 12, No. 1, Pp. 30–39, 2022.
- [3] A. Apriansyah And N. W. Elmy Diahutari, “Desain Pemanfaatan Sel Surya Sebagai Energi Alternatif Bahan Bakar Solar Pada Perahu Wisata Di Pantai Lovina Bali,” *Zo. Laut J. Inov. Sains Dan Teknol. Kelaut.*, Vol. 2, No. 1, Pp. 25–29, 2021.
- [4] M. E. Gde Km Atmajaya, S.T., M.T.1*, Syamsyarief Baqaruzi, S.T., M.T.2, Bernardus Galih Dwi Wicaksono, S.T., M.T.3, Dr. Sabhan Kanata, S.T., M.T.4, Ali Muhtar, S.Pd., “Analisis Rugi-Rugi Daya Kabel Dc Pada Plts 1 Mwp On-Grid,” Pp. 196–200, 2022.
- [5] P. Gunoto And H. D. Hutapea, “Analisa Daya Pada Panel Surya Di Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop On Grid Kapasitas 30 Kva Gedung Kantor Pt. Energi Listrik Batam,” *Sigma Tek.*, Vol. 5, No. 1, Pp. 057–069, 2022.
- [6] S. & Siregar, “Analisis Efisiensi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya,” *Jesce*, Vol. 4, No. 2, Pp. 1–10, 2020.
- [7] A. Gabriel And S. Lestari, “Panel Combiner Box Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) On Grid Di Pt. Len Industri (Persero) Bandung,” 2017.
- [8] N. Arifin, “Unjuk Kerja Desain Perencanaan Dan Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya On-Grid Sistem Dc Coupling Kapasitas 17 Kwp Pada Gedung Hunian Graha Cendekia Yogyakarta Menggunakan Pvsyst 6.8.4,” 2019.
- [9] I. F. Nur Diansyah, S. Handoko, And J. Windarta, “Implementasi Dan Evaluasi Performa Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) On Grid Studi Kasus Smp N 3 Purwodadi,” *Transient J. Ilm. Tek. Elektro*, Vol. 10, No. 4, Pp. 701–708, 2021.
- [10] N. Febriana Pratiwi, A. Pudin, And W. B. Mursanto, “Perancangan Plts Atap On Grid Kapasitas 163,8 Kwp Untuk Suplai Daya Industri Tekstil,” *Pros. Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, Vol. 13, No. 1, Pp. 13–14, 2022.
- [11] B. Maharmi, “Perancangan Inverter Satu Fasa Lima Level Modifikasi Pulse Width Modulation,” 2017.
- [12] A. Asrori And E. Yudiyanto, “Kajian Karakteristik Temperatur Permukaan Panel Terhadap Performansi Instalasi Panel Surya Tipe Mono Dan Polikristal,” Vol. V, No. 2, Pp. 68–74, 2019.
- [13] A. P. Agus Setiawan, “Analisa Rugi-Rugi Daya Pada Transmisi Tegangan Tinggi 150 Kv Di Pln Sungguminasa,” *Angew. Chemie Int. Ed. 6(11)*, 951–952., Pp. 2013–2015, 2021.
- [14] E. P. D. Hattu, J. A. Wabang, And A. Palinggi, “Pengaruh Bayangan Terhadap Output Tegangan Dan Kuat Arus Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts),” 2018.
- [15] Safrizal, “Rancangan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Listrik Jurnal Disprotek,” *J. Disprotek*, Vol. 8, No. 2, Pp. 75–81, 2017.