

INVESTIGASI HOTSPOT (TITIK PANAS) PADA PERMUKAAN MODUL FOTOVOLTAIK TERHADAP OUTPUT DAYA DI PLTS SELONG

Nurkholis Majid¹, Supriyatna, ST.,MT², Abdul Natsir, ST.,MT³

³Jurusan Teknik Elektro Universitas Mataram
Jl.Majapahit no. 62, Mataram, Lombok, NTB, Indonesia

¹nurkholismajid@mhs.unram.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk menginvestigasi hotspot (titik panas) pada permukaan modul fotovoltaik yang terjadi pada suatu pembangkit listrik tenaga surya. Tujuan penelitian ini untuk mengidentifikasi dampak, penyebab serta mitigasi yang disebabkan oleh anomali hotspot terhadap output daya yang dihasilkan. Hasil penelitian ini diperoleh daya keluaran akibat anomali hotspot dengan rata-rata iradiasi matahari sebesar 771,84 W/m² dan rata-rata temperatur sebesar 56,49 °C. Rata-rata daya input yang dihasilkan sebesar 1414,50 W serta daya maksimum sebesar 285,07 Wp dengan efisiensi sebesar 17,75%. Anomali hotspot disebabkan oleh kerusakan pada modul fotovoltaik, faktor kebersihan pada modul fotovoltaik, kerusakan pada bypass dioda serta adanya bayangan.

Kata kunci : Pembangkit Listrik Tenaga Surya, Daya Keluaran, Thermal Image, Hotspot (Titik Panas)

ABSTRACT

This research was conducted to investigate hotspots on the surface of photovoltaic modules that occur in a solar power plant. The purpose of this study is to identify the impact, causes and mitigation caused by the hotspot anomaly on the resulting power output. The results of this study obtained the output power due to the hotspot anomaly with an average solar irradiation of 771.84 W/m² and an average temperature of 56.49°C. The average input power is 1414.50 W and the maximum power is 285.07 Wp with an efficiency of 17.75%. The hotspot anomaly is caused by damage to the photovoltaic module, the cleanliness factor of the photovoltaic module, damage to the bypass diode and the presence of shadows.

Keywords: Solar Power Plant, Output Power, Thermal Image, Hotspots

I. PENDAHULUAN

Penyediaan energi listrik saat ini masih bergantung pada sumber energi tak terbarukan dari sumber daya alam seperti minyak bumi (4,03%), batubara (60,50%) dan gas alam (23,11%) yang cepat atau lambat sumber energi tersebut akan habis. Energi terbarukan mempunyai peran penting dalam memenuhi kebutuhan energi listrik, selain itu jumlahnya yang tidak terbatas, dalam pemanfaatannya juga tidak menimbulkan pencemaran yang dapat merusak lingkungan. Energi surya memiliki potensi yang sangat besar untuk digunakan sebagai sumber energi terbarukan. Potensi tersebut terlihat dari ketersediaan energi surya yang melimpah di Indonesia yaitu sebesar 4,5 - 4,8 kWh/m² setiap harinya. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan salah satu pembangkit listrik energi

terbarukan yang memanfaatkan sumber energi matahari. *Hotspot* atau titik panas merupakan salah satu gangguan pada modul fotovoltaik dimana suatu bagian yang diakibatkan oleh panas terlokalisasi pada sel fotovoltaik terjadi ketika ada perbedaan pencahayaan di antara sel-sel fotovoltaik (Ramadhani, 2018). *Hotspot* dapat menurunkan kinerja dan produksi daya listrik yang dihasilkan oleh suatu sistem PLTS.

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan salah satu pembangkit listrik energi terbarukan yang memanfaatkan sumber energi matahari. Perkembangan teknologi telah memungkinkan pembangkitan tenaga listrik secara langsung dari sinar matahari dengan menggunakan sel surya. Sel surya atau modul fotovoltaik merupakan suatu teknologi digunakan untuk memanfaatkan sumber energi matahari ramah lingkungan dengan

mengkonversi energi matahari langsung menjadi energi listrik. Daya listrik yang dihasilkan oleh modul fotovoltaik nilainya berbanding lurus dengan iradiasi diterima modul fotovoltaik. Semakin besar iradiasi yang diterima oleh modul fotovoltaik maka semakin besar pula nilai daya keluaran yang dihasilkan. Iradiasi merupakan energi cahaya yang dipancarkan oleh matahari kemudian diserap oleh modul fotovoltaik.

PLTS Selong beroperasi pada tahun 2019 dengan kapasitas sebesar 7 MWp, modul fotovoltaik yang digunakan oleh PLTS Selong adalah jenis *polycrystalline* berefisiensi sebesar 13,8%. Modul fotovoltaik merupakan perangkat yang berperan penting pada sistem PLTS. Dengan demikian gangguan pada modul fotovoltaik tidak boleh dianggap sepele, gangguan tersebut dapat mengganggu energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tersebut. Selain itu juga dapat berisiko mempengaruhi kondisi modul dan dapat mengurangi umur (*lifetime*) dari modul *photovoltaic*.

Hotspot atau titik panas merupakan salah satu gangguan pada modul fotovoltaik dimana suatu bagian yang diakibatkan oleh panas terlokalisasi pada sel fotovoltaik terjadi ketika ada perbedaan pencahayaan di antara sel-sel fotovoltaik (Ramadhani, 2018). Anomali hotspot sendiri memiliki penyebab yang tidak terbatas, dapat dikarenakan oleh adanya bayangan sebagian (*partial shading*) pada modul fotovoltaik, buruknya kualitas sel dan penyolderan yang buruk antara sel. Hotspot dapat menurunkan kinerja dan produksi daya listrik yang dihasilkan oleh suatu sistem PLTS. Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh anomali hotspot pada permukaan modul fotovoltaik terhadap output daya di PLTS Selong PT. Infrastruktur Terbaru Buana sehingga dapat dilakukan perbaikan untuk memperoleh kualitas listrik yang diharapkan.

II. METODOLOGI

Jenis metode penelitian yang digunakan dalam penulisan skripsi ini adalah metode kuantitatif. Metode kuantitatif yaitu suatu metode yang menggunakan data penelitian berupa angka dan analisis menggunakan statistik. Data kuantitatif yang digunakan dalam penelitian ini adalah data output daya harian dengan intensitas database

per 30 menit, data irradiance, data temperatur modul fotovoltaik, data tegangan serta arus modul fotovoltaik. Penelitian ini dilakukan pengambilan gambar termal permukaan modul fotovoltaik untuk mengetahui suhu dari modul fotovoltaik tersebut. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan FLIR Thermal Imaging IR Camera.

A. SPESIFIKASI ALAT DAN BAHAN

Pada pengujian terhadap modul *photovoltaic* ini digunakan untuk mendeteksi suhu pada modul *photovoltaic*, data suhu ini akan digunakan untuk di *inputkan* ke dalam alat ukur I-V *tester* guna untuk melengkapi data pengukuran. Spesifikasi alat *camera thermography* (FLiR) i7 dapat dilihat pada Tabel 1. dan Tabel 2. :

Tabel 1. Spesifikasi *Camera Thermography* FLiR i7 (www.flir.com)

<i>Resolution</i>	128 x 96 pixels
<i>Total pixels</i>	12.288
<i>Thermal Sensitivity</i>	<70 mK
<i>Accuracy</i>	+/- 3% or 3°C
<i>Temperature Range</i>	-4°F to 572° F (-20°C to 300°C)
<i>Field of View</i>	53.6° × 53.6°
<i>Focus</i>	Focus Free
<i>Detector</i>	Uncooled Microbolometer
<i>Screen</i>	IPS
<i>Frame Rate</i>	8 Hz
<i>Emissivity</i>	0.1 to 1.0 Adjustable
<i>Temperature Range Max</i>	482 F
<i>Temperature Min</i>	-4 F

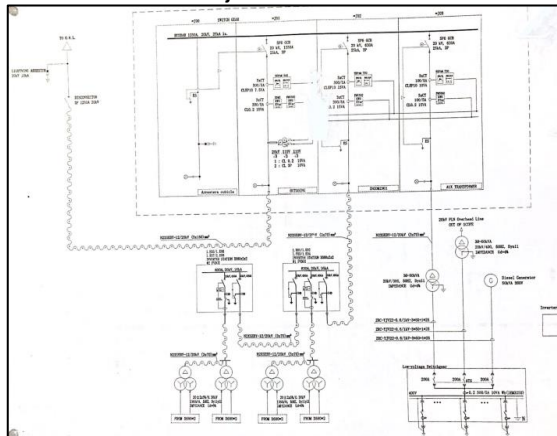
Tabel 2. Karakteristik Listrik PV Modul Trinasolar tipe *Polycrystalline*

<i>Maximum power</i>	<i>P_{max}</i>	325 W
<i>Maximum power Voltage</i>	<i>V_{mp}</i>	37.4 V
<i>Maximum power current</i>	<i>I_{mp}</i>	8.69 A
<i>Open circuit Voltage</i>	<i>V_{oc}</i>	45.6 A
<i>Short Circuit Current</i>	<i>I_{sc}</i>	9.27 A
<i>Maximum series fuse</i>		15 A
<i>Power selection</i>		0 – 5 W
<i>Module application</i>		<i>Class A</i>
<i>Maximum system voltage</i>		IEC1500V

B. SINGLE LINE DIAGRAM PLTS

PLTS Selong 7 MWp terdapat 2 jenis *table* yaitu *table* besar dan kecil, dimana yang besar terdiri dari 80 modul surya dan yang kecil terdiri dari 40 modul surya dengan kapasitas daya maksimum (*P_{max}*) sebesar 325 Wp sesuai STC (*Standart Test Conditon*).

Kemudian pada masing-masing *array* terdapat 1 *string array* yang terdiri dari 40 modul surya yang dirangkai secara seri dan 2 *string* dirangkai secara paralel dengan kapasitas daya keluaran masing-masing *string* sebesar 13000 Wp atau 13 kWp. Total *string* yang masuk ke dalam *array box* maksimal 14 *string*. Setiap daya keluaran yang dihasilkan oleh modul fotovoltaik akan ditampung oleh *array box*, kemudian dari *array box* daya listrik akan diteruskan ke DC *box*, dan DC *box* mengumpulkan *inputan* PV menuju *inverter* yang akan merubah daya listrik DC yang dihasilkan PV menjadi listrik AC.



Gambar 1. Single Line Diagram PLTS Selong

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan dianalisis mengenai hasil penelitian mencakup data *hotspot* berupa data pengecekan *Thermal image* modul fotovoltaik dan data sekunder meliputi data temperatur, iradiasi, arus dan tegangan. Proses pengumpulan data dan pengecekan temperatur modul fotovoltaik menggunakan *thermal imaging IR camera* ini dilakukan ketika radiasi matahari mencapai sekitar 400-1000 W/m^2 . Data-data yang didapatkan pada pengumpulan data ini berupa data MEAS (*measurement*) yang dapat diartikan sebagai kegiatan atau upaya yang dilakukan untuk memberikan angka-angka pada suatu peristiwa atau benda sehingga hasil pengukuran akan selalu berupa angka. Pengumpulan data dilakukan pada PLTS Selong PT. ITB.

A. PENGUMPULAN DATA

1. DATA TEMPERATUR MODUL DAN IRADIASI MATAHARI






Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Selong mulai beroperasi sejak tahun 2019. Temperatur modul fotovoltaik dan iradiasi surya yang digunakan untuk menghitung nilai daya keluaran dari modul fotovoltaik. Data temperatur modul dan iradiasi surya tersedia di 3 lokasi. PLTS Selong memiliki stasiun cuaca untuk mengukur temperatur dan iradiasi surya yang tersebar di 3 lokasi. Lokasi titik 1 berada di zona 1 (Pulau 1), lokasi titik 2 berada di zona 2 (Pulau 2) dan lokasi titik 3 berada di zona 3 (Pulau 3). Pengukuran dilakukan pada bulan November 2022. Analisis penelitian ini mengambil nilai rata-rata ketiga data temperatur modul serta iradiasi surya, yang digunakan dalam perhitungan seperti berikut:

Tabel 3. Data Temperatur Modul dan Iradiasi Surya

Date	Time	Temperatur Modul PV (°C)				Iradiasi Matahari (W/m ²)			
		TITIK 1	TITIK 2	TITIK 3	RATA-RATA	TITIK 1	TITIK 2	TITIK 3	RATA-RATA
01 November 2022	06:00	23,05	22,93	22,97	22,98	22,12	22,21	21,21	21,85
	06:30	24,26	24,33	24,38	24,32	77,78	78,13	78,73	78,21
	07:00	28,13	26,56	28,11	27,60	147,32	148,92	150,31	148,85
	07:30	31,62	32,34	33,02	32,33	196,59	200,19	200,74	199,18
	08:00	34,75	36,44	36,64	35,94	270,52	274,85	276,54	273,97
	08:30	37,28	39,18	38,81	38,42	327,41	330,94	332,81	330,39
	09:00	39,98	42,24	42,32	41,51	481,54	482,97	493,67	486,06
	09:30	45,30	48,58	46,47	46,78	518,57	515,34	522,77	518,89
	10:00	46,63	48,97	46,27	47,29	760,71	775,53	780,75	772,33
	10:30	48,57	50,58	48,31	49,15	748,93	760,07	768,05	759,02
	11:00	52,51	54,71	52,67	53,30	900,94	911,28	941,59	917,94
	11:30	54,89	56,79	54,94	55,54	1007,93	1017,31	1028,84	1018,03
	12:00	55,94	57,60	55,18	56,24	1008,78	1022,90	1031,18	1020,95
	12:30	53,59	56,33	52,02	53,98	986,32	1007,00	1009,38	1000,90
	13:00	54,83	54,09	52,60	53,84	937,11	960,58	964,33	954,01
	13:30	51,92	53,44	50,98	52,11	884,64	911,72	908,45	901,60
	14:00	50,12	50,97	48,78	49,96	815,88	844,84	838,36	833,03
	14:30	45,83	44,77	43,22	44,61	523,43	475,11	421,79	473,44
	15:00	41,24	40,76	41,66	41,22	462,00	490,01	533,24	495,08
	15:30	35,67	36,12	35,80	35,87	229,29	252,08	255,91	245,76
	16:00	37,83	38,23	38,85	38,30	382,23	405,63	406,37	398,07
	16:30	32,43	32,99	33,29	32,90	165,00	186,03	210,80	187,28
	17:00	29,97	30,30	30,31	30,19	62,08	64,10	63,63	63,27
	17:30	28,41	28,43	28,62	28,49	21,20	21,38	20,75	21,11
18:00	27,73	27,65	27,93	27,77	4,21	4,25	3,05	3,84	

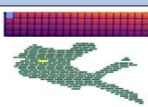
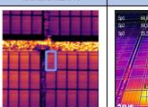
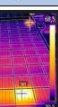
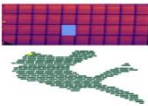
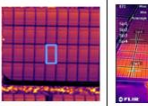
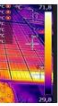
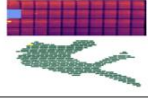
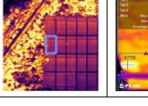
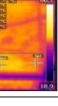
2. DATA THERMAL IMAGE SENSEHAWK DAN FLIR CAMERA

PLTS Selong memiliki luas tanah secara keseluruhan 9,18 hektar dengan luas pemasangan panel surya digunakan sebesar 5,4 hektar. Luas tanah sebesar 5,4 hektar terpasang 270 *table* yang terdiri dari 80 panel surya untuk *table* besar dan 40 modul fotovoltaik untuk *table* kecil dengan total keseluruhan modul fotovoltaik sebanyak 21.600, *array box* sebanyak 40 buah, PV *Box* sebanyak 2 buah yang didalamnya terdapat 8 inverter dan 8 DC *Box* dapat dilihat pada Gambar 2.

Peta	Peta Zona	Luas Area (m ²)	Jumlah Modul PV	Jumlah Tabak	Jumlah String	Jumlah Array
		51.371,93	15.080	182	91	18
		14.745,94	4.200	56	28	14
		8.566,94	2.320	32	16	8
Total		74.684,81	21.600	270	135	40

Gambar 2. Peta dan Data Pendukung PLTS Selong

Thermal image digunakan untuk menganalisis anomali *hotspot* (titik panas) pada permukaan modul fotovoltaik yang terdiri dari data *Thermal image sensehawk* untuk mengambil *image* per *array/string*. Kemudian data *image* FLIR digunakan untuk mengambil *Thermal image* yang terindikasi *hotspot* pada modul fotovoltaik dalam *string*. Peta dari PLTS Selong dan pengecekan termal modul PV dilakukan saat radiasi surya berkisar 400 – 1000 W/m^2 . Data *Thermal image* disajikan pada seperti Gambar 3.

No	No Array Box	Map	Thermal by Sensehawk	Thermal by Flir
1	E02.D02.A04.S09			
2	E01.D01.A04.S12			
3	E01.D01.A04.S13			

Gambar 3. Data *Thermal image* Sensehawk dan Flir

3. DATA TEGANGAN, ARUS DAN DAYA

Tabel 4. Data Tegangan, Arus dan Daya Modul Fotovoltaik

Array Box	String	Modul	Irr (W/m^2)	Tpv (°C)	Pmpp (W)	Vmpp (V)	Impp (A)
E01.D01.A01	S01	Modul 1	805,25	53,52	242	39,1	7,89
	S02	Modul 2	826,87	54,89	236	37,2	8,00
	S09	Modul 3	829,90	55,31	241	38,0	7,99
	S11	Modul 4	900,94	55,94	292	35,5	8,23
E01.D01.A02	S02	Modul 5	729,51	53,38	241	32,9	7,33
	S06	Modul 6	875,38	49,48	233	32,8	7,11
	S08	Modul 7	779,07	53,76	265	33,4	7,31
	S08	Modul 8	799,80	52,84	262	32,9	7,67
	S09	Modul 9	678,03	49,32	255	32,8	7,79
	S12	Modul 10	822,35	53,15	235	33,0	7,84
E02.D02.A04	S09	Modul 11	730,78	59,80	263	31,7	8,72
E01.D01.A04	S12	Modul 12	900,94	54,43	252	33,8	7,45
	S13	Modul 13	947,71	55,53	259	38,5	7,64

4. DATA BYPASS DIODE

Hasil inspeksi lapangan diperoleh data *bypass dioda* yang memiliki kondisi bagus dan tidak bagus berdasarkan nilai dari Tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) dan Arus Hubung Singkat (I_{sc}) dapat dilihat pada Tabel 4.3. Batasan yang digunakan untuk menentukan kondisi dari *bypass dioda* yaitu nilai V_{oc} dan I_{sc} sesuai dengan spesifikasi yang tertera pada modul fotovoltaik tersebut, dimana nilai tegangan *open circuit* (V_{oc}) bernilai berkisar 38 – 45 V dengan *arus short circuit* sebesar 6 – 9 A.

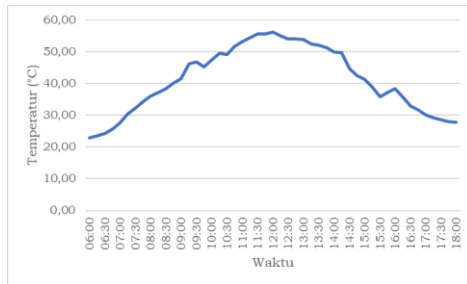
Tabel 4. dapat juga dilihat bahwa salah satu *array box* yaitu E01.D01.A01.S01 (dimana kode E untuk inverter, D untuk *DC box*, A untuk nomor *array box* dan S untuk nomor *string*) diperoleh nilai tegangan *open circuit* mendekati nilai V_{oc} sesuai yang ada pada modul, tapi diperoleh nilai *arus short circuit* rendah sehingga kondisi *bypass dioda* dinyatakan tidak bagus.

Tabel 5. Data *Bypass Dioda* Modul Fotovoltaik PLTS Selong

No	No Array Box	Voc	Isc	Result
1	E01.D01.A01.S01	40,95	0,53	NOT OK
2	E01.D01.A01.S09	41,56	3,79	OK
3	E01.D01.A03.S05	34,74	3,22	OK
4	E01.D01.A02.S12	27,37	2,39	NOT OK
5	E01.D01.A05.S04	27,57	2,93	NOT OK
6	E02.D02.A01.S01	27,22	2,29	NOT OK
7	E02.D02.A03.S04	27,68	5,34	NOT OK
8	E02.D02.A02.S05	26,45	1,70	NOT OK
9	E02.D02.A02.S05	39,89	1,47	OK
10	E02.D02.A02.S10	27,91	1,70	NOT OK
11	E02.D02.A01.S14	33,30	1,71	OK
12	E02.D02.A01.S14	38,36	1,25	NOT OK
13	E02.D02.A05.S06	21,18	2,05	NOT OK
14	E02.D02.A05.S11	27,68	2,10	NOT OK
15	E03.D03.A01.S05	40,63	3,01	OK
16	E03.D03.A04.S13	41,17	2,56	OK
17	E04.D04.A01.S03	38,85	3,76	OK
18	E04.D04.A03.S01	39,93	2,46	OK
19	E04.D04.A05.S13	23,15	1,81	NOT OK
20	E04.D04.A05.S13	34,76	1,73	OK
21	E04.D04.A05.S07	27,39	3,41	NOT OK
22	E05.D05.A02.S06	27,77	1,72	NOT OK
23	E05.D05.A02.S08	27,11	3,20	NOT OK
24	E05.D05.A02.S01	27,11	3,26	NOT OK
25	E05.D05.A02.S09	40,25	2,51	OK
26	E05.D05.A03.S04	27,5	5,76	NOT OK
27	E05.D05.A03.S04	27,46	5,62	NOT OK
28	E05.D05.A04.S05	27,59	5,42	NOT OK
29	E05.D05.A05.S02	27,26	5,22	NOT OK
30	E05.D05.A05.S03	38,14	1,38	OK
31	E05.D05.A05.S08	41,38	4,75	OK
32	E06.D06.A04.S07	27,18	7,25	NOT OK
33	E06.D06.A04.S15	27,27	7,33	NOT OK
34	E08.D08.A01.S01	40,58	8,17	OK
35	E07.D07.A01.S03	27,1	7,49	NOT OK
36	E08.D08.A02.S02	40,93	8,23	OK
37	E07.D07.A02.S01	27,26	7,59	NOT OK
38	E08.D08.A02.S07	27,57	7,70	NOT OK
39	E08.D08.A02.S10	13,62	7,83	NOT OK
40	E08.D08.A03.S04	27,04	7,08	NOT OK
41	E08.D08.A05.S12	27,06	1,97	NOT OK

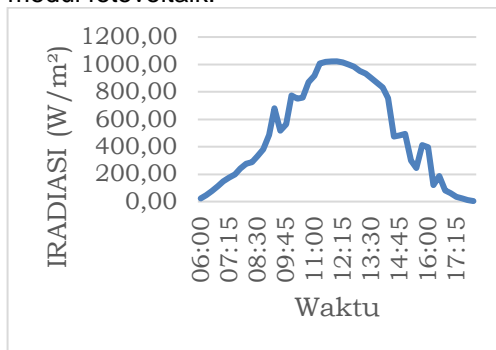
B. ANALISIS DATA

1. TEMPERATUR, IRADIASI MATAHARI, ARUS DAN TEGANGAN



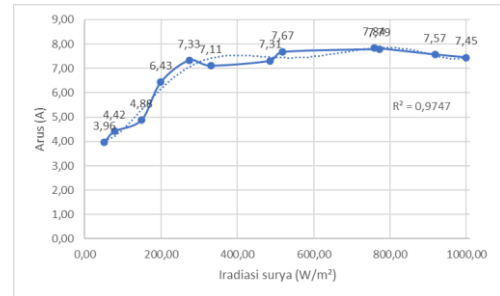
Gambar 4. Grafik Temperatur Modul (°C) Terhadap Waktu

Gambar 4. dapat dianalisis bahwa temperatur modul fotovoltaik yang panas akan diperoleh pada waktu peak sun yaitu pada jam 10.00 – 14.00 WITA. Temperatur tertinggi yang terukur sebesar 55,09 °C. Temperatur yang disebabkan oleh besarnya iradiasi yang diterima modul fotovoltaik.



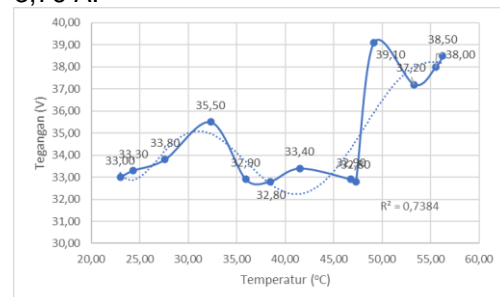
Gambar 5. Grafik Iradiasi Matahari (W/m²) Terhadap Waktu

Gambar 5. dapat dianalisis bahwa iradiasi matahari yang diserap permukaan modul fotovoltaik akan terukur tinggi pada peak sun (matahari puncak) yaitu pukul 12.00 WITA dengan iradiasi matahari sebesar 1022,12 W/m². Modul fotovoltaik akan bekerja ketika iradiasi surya yang diterima berkisar 400 – 1000 W/m² sehingga nilai iradiasi surya akan meningkat seiring waktu yang mendekati matahari puncak.



Gambar 6. grafik perubahan arus (A) terhadap radiasi matahari (W/m²)

Gambar 6. dapat dianalisis bahwa semakin besar iradiasi matahari yang terukur, maka arus yang dihasilkan oleh modul surya akan semakin meningkat, begitupun sebaliknya ketika iradiasi matahari yang terukur rendah maka arus yang dihasilkan juga akan menurun. Iradiasi matahari yang terukur sebesar 51,21 W/m² arus yang dihasilkan sebesar 3,96 A. Nilai iradiasi matahari yang terukur mengalami peningkatan sebesar 1000,03 W/m² arus yang dihasilkan sebesar 7,45 A. Iradiasi matahari mengalami peningkatan sebesar 948,82 W/m² dan arus mengalami peningkatan sebesar 3,76 A.



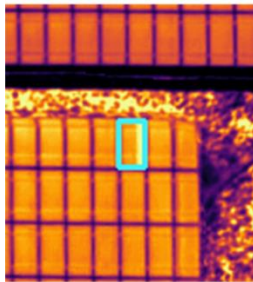
Gambar 7. grafik tegangan (V) terhadap temperatur (°C) modul surya

Gambar 7. dapat dianalisis bahwa semakin besar iradiasi matahari yang terukur pada modul surya, maka secara bersamaan temperatur modul surya juga akan mengalami peningkatan. Perubahan temperatur pada modul surya sangat besar pengaruhnya terhadap tegangan (V) keluaran yang dihasilkan oleh modul surya. Nilai iradiasi matahari yang terukur 805,25 W/m² dengan temperatur yang diperoleh sebesar 22,98°C, tegangan yang dihasilkan sebesar 33 V. Iradiasi matahari yang terukur mengalami peningkatan sebesar 900,94 W/m²

temperatur yang diperoleh juga mengalami peningkatan sebesar 56,24 °C, dan tegangan yang dihasilkan sebesar 38,5 V.

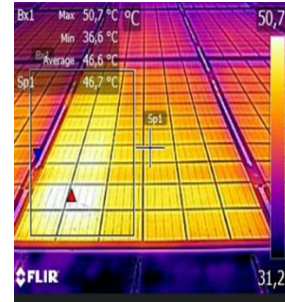
2. THERMAL IMAGING MODUL FOTOVOLTAIK

Data hasil pengecekan Thermal image pada permukaan modul fotovoltaik menggunakan alat Sensehawk dan FLIR Camera IR Imaging untuk mengecek permukaan pada modul fotovoltaik terdapat anomali hotspot atau normal. Anomali hotspot pada permukaan modul fotovoltaik menyebabkan arus akan tertahan pada sel modul fotovoltaik yang terdampak hotspot sehingga terjadi panas yang terlokalisasi pada sel yang terdampak. Pengambilan gambar termal dilakukan dengan cara mengambil gambar termal di seluruh zona yang ada di PLTS menggunakan drone sensehawk. Data hasil gambar termal pada modul fotovoltaik yang memiliki anomali hotspot pada PLTS Selong sebagai berikut:



Gambar 8. Thermal image Array E08.D08.A05 Menggunakan Sensehawk

Gambar 8. dapat dianalisis bahwa array modul fotovoltaik dengan kode E08.D08.A05 tersusun dari 80 modul surya yang dilakukan pengecekan termal menggunakan drone sensehawk. Modul surya yang terindikasi hotspot sebanyak 1 modul fotovoltaik terdapat 24 sel fotovoltaik pada modul surya terindikasi anomali hotspot sehingga modul yang terindikasi hotspot tersebut dilakukan pengecekan termal menggunakan FLIR camera untuk mengetahui lebih spesifikasi penyebab modul surya tersebut memiliki anomali hotspot (titik panas).



Gambar 9. Thermal Image Permukaan Modul Fotovoltaik Array E08.D08.A05 Pada String 12

Gambar 9. dapat dianalisis bahwa pada array dengan kode E08.D08.A05 string 12 terdapat 24 sel fotovoltaik dari 72 sel PV yang terindikasi terkena anomali hotspot. Sel PV ini terindikasi hotspot akibat tingginya temperatur. Nilai temperatur pada 24 sel fotovoltaik dengan temperatur tertinggi sebesar 50,7°C dan temperatur terendah sebesar 36,6 °C dengan temperatur rata-rata sebesar 46,7 °C.

Jika terjadi hotspot pada sel fotovoltaik pada salah satu bypass dioda yang aktif menyebabkan arus tertahan pada sel fotovoltaik, menyebabkan arus pada sel fotovoltaik akan hilang. Apabila terjadi hotspot pada semua sel fotovoltaik di salah satu bypass dioda direkomendasikan untuk mengganti modul fotovoltaik.

3. BYPAS DIODE

Berdasarkan Tabel 5. dapat dianalisis bahwa terdapat kondisi bypass dioda yakni kondisi bagus (OK) dan kondisi tidak bagus (NOT OK). Bypass dioda yang dalam kondisi baik berjumlah 14 buah. Sedangkan bypass dioda dengan kondisi tidak bagus berjumlah 27 buah. Bypass dioda dikategorikan bagus dan tidak bagus dilihat dari nilai tegangan open circuit (Voc) dan arus hubung singkat (Isc). Nilai tegangan open circuit (Voc) tinggi dengan arus hubung singkat rendah maka kondisi bypass dioda yang tidak bagus pada modul surya. Nilai Tegangan open circuit (Voc) rendah dengan arus hubung singkat (Isc) tinggi maka bypass dioda dalam kondisi baik.

Sel surya sangat sensitive terhadap shading sehingga panel surya pun akan

menjadi sensitif juga terhadap shading. Apabila terjadi shading, sel surya atau panel surya yang terkena shading akan menjadi parasit bagi sel surya atau panel surya yang lain yang terhubung baik paralel maupun seri. Arus sirkuit tertutup (ISC) maupun arus daya maksimum (IMP) akan berkurang. Begitu juga dengan tegangan sirkuit terbuka (VOC) maupun tegangan daya maksimum (VMP) juga akan berkurang sehingga daya keluaran yang merupakan perkalian dari tegangan dan arus juga akan berkurang.

C. ANALISIS PERHITUNGAN

Untuk memperjelas pembahasan terhadap data yang didapatkan. Maka pada tahap analisis ini dilakukan analisis data array box dan tiap-tiap string dengan masing-masing zona yang telah didapatkan pada saat pengukuran di modul fotovoltaik. Perhitungan daya dan efisiensi pada AB112-ST02, ST06 serta ST08 menggunakan persamaan sehingga:

- Menghitung daya input yang dihasilkan oleh modul fotovoltaik dengan persamaan (2-3) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_{in} &= I_{rr} \times A \text{ (Luas area modul)} \\ &= 729,51 \times 1,9622 \\ &= 1431,44 \text{ W} \end{aligned}$$

- Menghitung daya maksimum yang dihasilkan oleh modul fotovoltaik menggunakan persamaan (2-1) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_{max} &= V_{mp} \times I_{mp} \\ &= 32,9 \times 7,33 \\ &= 241,15 \text{ Wp} \end{aligned}$$

- Menghitung efisiensi pada modul fotovoltaik menggunakan persamaan (2-4) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{\text{daya keluaran}}{\text{daya masukan}} \times 100\% \\ &= \frac{241,15}{1431,44} \times 100\% \\ &= 16,6 \% \end{aligned}$$

D. PENYEBAB DAN MITIGASI HOTSPOT PADA MODUL FOTOVOLTAIK

Hotspot (titik panas) modul fotovoltaik di PLTS Selong disebabkan oleh faktor gangguan yang terjadi pada panel fotovoltaik atau *string* fotovoltaik dari beberapa *array*, antara lain:

- a. Faktor kebersihan panel surya

Lokasi modul fotovoltaik *array box* E06.D06.A01.S09 di area terbuka sangat memungkinkan adanya debu ataupun kotoran burung yang hinggap diatas modul fotovoltaik dan meninggalkan kotorannya. Faktor kebersihan yang dapat mempengaruhi *output* dari modul fotovoltaik tersebut. Mitigasi *hotspot* yang disebabkan oleh faktor kebersihan modul fotovoltaik yaitu dengan cara rutin dilakukan pembersihan pada modul fotovoltaik yang terkena debu maupun kotoran burung sehingga *output* dari modul fotovoltaik maksimal.

- b. Bayangan (*Shading*)

Salah satu modul fotovoltaik pada *array box* E01.D01.A02.S03 tertutupi oleh *shading* (bayangan) baik bayangan sebagian maupun bayangan permanen, sel fotovoltaik akan berhenti menghasilkan energi listrik dan mengubahnya menjadi beban pasif. Sel fotovoltaik ini akan berlaku seperti dioda dalam kondisi memblok arus yang dihasilkan oleh sel lain dalam susunan seri sehingga akan mengakibatkan keseluruhan produksi dari modul fotovoltaik tersebut, selain itu juga dapat merusak modul fotovoltaik akibat adanya panas yang berlebihan.

Mitigasi *hotspot* yang disebabkan oleh bayangan (*shading*) yaitu ketika pemasangan modul fotovoltaik, pastikan tidak terdapat bayangan yang disebabkan oleh kabut, awan, pepohonan, daun yang jatuh atau bayangan dari modul fotovoltaik yang terpasang di dekatnya. Perlu dilakukan pengecekan secara rutin, sehingga bayangannya tidak menutupi modul fotovoltaik dan awan yang tebal. Jenis bayangan ini juga sulit untuk dihindari karena sangat sulit untuk memprediksi kapan datangnya awan. Jenis bayangan ini sangat mempengaruhi besarnya daya *output* yang dihasilkan pada panel surya.



Gambar 4.16 Bayangan Pohon Pada Array Box E01.D01.A02.S03

c. Kerusakan modul fotovoltaik

Kerusakan fisik pada modul fotovoltaik array box E01.D01.A02.S03 disebabkan oleh cuaca ekstrim (*thermal shock*), kesalahan konstruksi rangka, kegagalan manufaktur fotovoltaik (laminasi, kaca) dan lainnya. Hal ini dapat menyebabkan modul fotovoltaik menjadi lebih panas dan mengakibatkan *hotspot*. Keretakan dapat mengurangi transmisi cahaya ke sel *photovoltaic*. Salah satu upaya dari PLTS Selong dalam menghadapi gangguan *hotspot* yang diakibatkan oleh kerusakan adalah mengganti panel surya yang baru. Perbaikan ini harus segera dilakukan dikarenakan kerusakan ini dapat mengurangi transmisi cahaya ke sel fotovoltaik sehingga daya keluaran dari panel *photovoltaic* dapat berkurang.



Gambar 4. 17 Modul Fotovoltaik Retak Pada Array Box E01.D01.A02.S03

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil analisis pada investigasi *hotspot* (titik panas) pada permukaan modul fotovoltaik terhadap daya *output* di PLTS Selong, dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil analisis perhitungan daya akibat anomali *hotspot* diperoleh rata-rata iradiasi matahari sebesar $771,84 \text{ W/m}^2$ dengan rata-rata temperatur sebesar $56,49^\circ\text{C}$. Daya *input* yang dihasilkan sebesar $1514,50 \text{ W}$ serta daya maksimum

yang dihasilkan sebesar $284,38 \text{ Wp}$ dengan efisiensi sebesar $17,75\%$. Perhitungan daya tanpa *hotspot* diperoleh rata-rata iradiasi matahari sebesar $935,28 \text{ W/m}^2$ dengan temperatur sebesar $47,46^\circ\text{C}$. Daya *input* sebesar $1835,22 \text{ W}$ serta daya maksimum yang dihasilkan sebesar $306,59 \text{ Wp}$ dengan efisiensi sebesar $18,25\%$. Selisih efisiensi yang diperoleh akibat dan tanpa *hotspot* sebesar $0,5\%$ yang melebihi dari rata-rata penurunan efisiensi di tempat-tempat lain.

2. *Hotspot* pada permukaan modul fotovoltaik PLTS Selong berdasarkan investigasi disebabkan oleh kerusakan secara fisik modul fotovoltaik (pecah), faktor kebersihan modul fotovoltaik, adanya bayangan (*shading*) baik bayangan sebagian, bayangan permanen, bayangan antar tabel serta bayangan dari bangunan sekitarnya.
3. Mitigasi anomali *hotspot* (titik panas) pada permukaan modul fotovoltaik yang dilakukan PLTS Selong dengan cara melakukan pergantian modul fotovoltaik yang rusak atau pecah, mencabut atau mengganti kabel penghubung pada *string* yang mengalami kerusakan, membersihkan permukaan modul fotovoltaik secara rutin serta memperhatikan bayangan baik bayangan antar tabel akibat tanah tergerus maupun akibat bayangan awan, pohon atau daun yang jatuh.

V. DAFTAR PUSTAKA

- Dhimish, M., Holmes, V., Mehrdadi, B., Dales, M., & Mather, P. (2017). *Output power enhancement for hot spotted polycrystalline photovoltaic solar cells. IEEE Transactions on Device and Materials Reliability*, 18(1), 37-45.
- Dhimish, Mahmoud, Mather, Peter and Holmes, Violeta (2018) *Evaluating*

- Power Loss and Performance Ratio of Hot-Spotted Photovoltaic Modules*. IEEE Transactions on Electron Devices. pp. 5419-5427. ISSN 0018-9383
- Diputra, W. (2008). *Simulator algoritma pendeteksi kerusakan modul surya pada rangkaian modul surya*.
- E.L. Meyer dan E.E. Van Dyk. "Characterization module performance parameters". University of Port Elizabeth, Departement of Physics, PO Box 1600, Port Elizabeth 6000, South Africa. 8 April 2002
- Hidayat, T. (2020). *Teknologi Deteksi dan Diagnosis Kerusakan pada PLTS*. *Jurnal Teknik Elektro*, 9(1), 11-18.
- Najib Hamisu Umar, Birinchi Bora and Chandan Banerjee, *Effect of Hot-Spotted Cell on Pv Module Performance*, International Journal of Mechanical Engineering and Technology, 10(3), 2019, pp. 994-1000.

