



Department of Digital Business

Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)

Homepage: <https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS>

Vol. 5 No. 2 (2026) pp: 6943-6950

P-ISSN: 2963-9298, e-ISSN: 2963-914X

Analisis Losses String terhadap Shading Antar Table Diakibatkan Pergeseran Matahari PLTS Vena Energi Site Sengkol

Nikmah Izzatul Mukarromah, Royb Fatkhur Rizal

Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Malang

nikmah.izzatul.2309346@students.um.ac.id, fatkhurizal.fv@um.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh shading antar table akibat pergeseran posisi matahari terhadap losses energi pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Vena Energy Site Sengkol selama periode Juni–September 2025. Pergeseran posisi matahari menyebabkan perubahan sudut datang cahaya dan arah bayangan yang dapat memengaruhi distribusi radiasi matahari yang diterima modul fotovoltaik. Kondisi tersebut berpotensi menimbulkan mismatch losses pada rangkaian string sehingga mengurangi energi yang dihasilkan sistem. Metode penelitian dilakukan melalui pengambilan data menggunakan sistem Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) dengan interval pengukuran setiap satu jam. Data yang diperoleh berupa daya keluaran per string pada Array Box yang kemudian dikonversi menjadi energi harian dalam satuan kilowatt-hour (kWh). Tahapan analisis dilakukan dengan membandingkan nilai energi setiap string pada periode pengamatan untuk mengidentifikasi adanya penurunan energi akibat pengaruh shading. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat variasi energi yang dihasilkan pada setiap string selama periode pengamatan. Pada bulan Juni, energi minimum tercatat sebesar 2197,3 kWh dan maksimum sebesar 2518,5 kWh. Bulan Juli menunjukkan nilai energi terendah sebesar 2192,6 kWh dan maksimum sebesar 2438,3 kWh. Pada bulan Agustus terjadi peningkatan energi dengan nilai minimum 2386,4 kWh dan maksimum 2811,1 kWh, sedangkan bulan September menghasilkan energi tertinggi dengan nilai minimum 2580,5 kWh dan maksimum mencapai 3097,8 kWh. Hasil dokumentasi lapangan menunjukkan adanya bayangan pada beberapa string tertentu yang menyebabkan energi keluaran lebih rendah dibandingkan string lainnya. Penelitian ini menunjukkan bahwa pergeseran posisi matahari memiliki pengaruh langsung terhadap terbentuknya shading antar table yang menyebabkan losses energi dan berpotensi menurunkan efisiensi serta performa sistem PLTS.

Kata kunci: PLTS, Shading Antar Table, Pergeseran Matahari, Mismatch Losses, Energi Keluaran.

1. Latar Belakang

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan sistem pembangkit listrik menfaatkan energi radiasi matahari untuk dikonversikan menjadi energi listrik melalui prinsip fotovoltaik pada material semikonduktor [1]. Pengembangan PLTS terus mengalami peningkatan karena mampu menjadi solusi penyediaan energi yang ramah lingkungan dan dapat mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil [2]. Salah satu implementasi PLTS skala besar di Indonesia adalah PLTS Vena Energy Site Sengkol yang berlokasi di Lombok Tengah, Nusa Tenggara Barat, serta mendukung pemanfaatan energi baru terbarukan. Dalam operasional PLTS, salah satu tantangan teknik yang sering muncul adalah bayang antar table Pv yang dapat mempengaruhi daya keluaran sistem. Bayangan ini terjadi akibat perbedaan tinggi antar table, dan pergeseran matahari [3].

Pada sistem PLTS skala besar, modul fotovoltaik umumnya disusun secara seri dalam beberapa *table* dan *string* untuk memperoleh kapasitas daya yang lebih besar. Akan tetapi susunan tersebut memungkinkan terjadinya *shading* antar *table*, *shading* merupakan kondisi ketika sebagian modul tertutup bayangan sehingga intensitas radiasi matahari yang diterima modul menjadi berkurang [4].

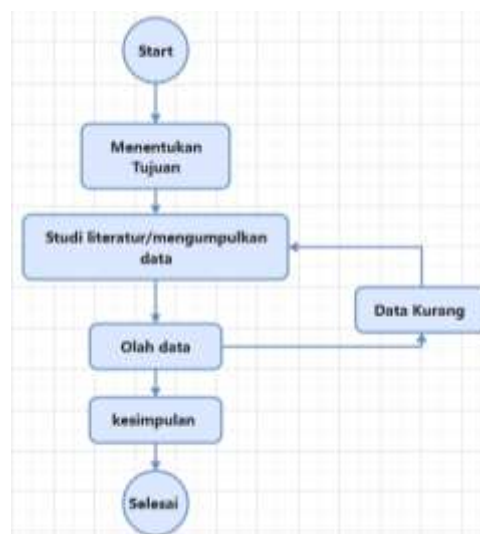


Gambar 1. Shading antar table

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa *partial shading* dapat menurunkan daya keluaran panel surya panel surya karena modul yang mengalami bayang akan membatasi arus pada rangkaian seri. Shading antar table pv menyebabkan penurunan pada energi listrik. Kondisi ini dapat menimbulkan mismatch losses pada string, karena arus keluar string akan mengikuti modul dengan performa terendah, akibatnya energi listrik berkurang. Dampak shading sangat berpengaruh terhadap energi yang dihasilkan string [5]. Penelitian lain juga menunjukkan bahwa bayangan dapat menurunkan efisiensi sistem PLTS [6]. Selain itu, bentuk dan posisi bayangan yang berbeda dapat memberikan pengaruh terhadap keluaran energi sistem [7]. Sebagian besar penelitian sebelumnya berfokus pada pengaruh *shading* terhadap keluaran daya pada string. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk analisis pengaruh *shading* antar *table* akibat pergeseran posisi matahari terhadap keluaran energi listrik di setiap string pada sistem PLTS Vena Energy Site Sengkol.

2. Metode Penelitian

2.1. Langkah penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Langkah penelitian.

Diagram tersebut menunjukkan tahapan penelitian yang dilakukan. Proses dimulai dari menentukan tujuan lalu studi literatur sebagai dasar teori, kemudian dilanjutkan dengan pengumpulan data di lapangan. Setelah data diperoleh dilakukan perbandingan energi harian pada string yang didapatkan, hasil analisis tersebut digunakan sebagai dasar dalam menarik kesimpulan. Dengan alur ini, penelitian dapat dilakukan secara lebih terstruktur dan sistematis.

2.2. Lokasi dan Waktu penelitian

Penelitian ini dilakukan di PT. Infrastruktur Terbarukan Cemerlang sebagai lokasi utama pengambilan data. pemilihan tempat penelitian didasarkan pada pelaksanaan kegiatan magang penulis di perusahaan tersebut, selain

itu PT. Infrastruktur Terbarukan Cemerlang memiliki proyek utama yang bernama PLTS Sengkol, dengan kapasitas awal sebesar 7 Mega Watt (MW). pada sistem PLTS ini juga sering terjadi shading karena bayang antar table yang mendukung proses analisis dalam penelitian ini. Waktu dan data yang digunakan penelitian merupakan pada bulan Juni hingga September pada tahun 2025, dimana pada bulan tersebut bulan pergeseran matahari.

2.3. Pengumpulan data

Pengumpulan data ini di ambil pada SCADA merupakan sistem yang berfungsi untuk mengumpulkan dan mengolah data dari seluruh sensor serta komponen yang ada pada PLTS ke computer. semua kegiatan monitoring dapat dilakukan melalui sistem ini [8]. Data yang diambil merupakan daya per string yang ada dalam Array Box, dimana daya tersebut di total di 1 hari mula jam 7.00 hingga 17.00 yang menghasilkan energi (kWh) per string. Langkah awal mengambil data energi pada 4 bulan di Array Box lalu dijumlahkan pada 4 bulan tersebut, di ambil nilai relatif rendah diantara nilai lainnya, menemukan array box yang menghasilkan energi rendah, menuju ke lapangan untuk melihat mana string yang mengalami bayang antar table karena perbedaan tinggi.

	01-01-2019	02-01-2019	03-01-2019	04-01-2019	05-01-2019	06-01-2019	07-01-2019	08-01-2019	09-01-2019	10-01-2019	11-01-2019	12-01-2019	01-02-2019	02-02-2019	03-02-2019	04-02-2019	05-02-2019	06-02-2019	07-02-2019	08-02-2019	09-02-2019	10-02-2019	11-02-2019	12-02-2019	01-03-2019	02-03-2019	03-03-2019	04-03-2019	05-03-2019	06-03-2019	07-03-2019	08-03-2019	09-03-2019	10-03-2019	11-03-2019	12-03-2019	01-04-2019	02-04-2019	03-04-2019	04-04-2019	05-04-2019	06-04-2019	07-04-2019	08-04-2019	09-04-2019	10-04-2019	11-04-2019	12-04-2019	01-05-2019	02-05-2019	03-05-2019	04-05-2019	05-05-2019	06-05-2019	07-05-2019	08-05-2019	09-05-2019	10-05-2019	11-05-2019	12-05-2019	01-06-2019	02-06-2019	03-06-2019	04-06-2019	05-06-2019	06-06-2019	07-06-2019	08-06-2019	09-06-2019	10-06-2019	11-06-2019	12-06-2019	01-07-2019	02-07-2019	03-07-2019	04-07-2019	05-07-2019	06-07-2019	07-07-2019	08-07-2019	09-07-2019	10-07-2019	11-07-2019	12-07-2019	01-08-2019	02-08-2019	03-08-2019	04-08-2019	05-08-2019	06-08-2019	07-08-2019	08-08-2019	09-08-2019	10-08-2019	11-08-2019	12-08-2019	01-09-2019	02-09-2019	03-09-2019	04-09-2019	05-09-2019	06-09-2019	07-09-2019	08-09-2019	09-09-2019	10-09-2019	11-09-2019	12-09-2019	01-10-2019	02-10-2019	03-10-2019	04-10-2019	05-10-2019	06-10-2019	07-10-2019	08-10-2019	09-10-2019	10-10-2019	11-10-2019	12-10-2019	01-11-2019	02-11-2019	03-11-2019	04-11-2019	05-11-2019	06-11-2019	07-11-2019	08-11-2019	09-11-2019	10-11-2019	11-11-2019	12-11-2019	01-12-2019	02-12-2019	03-12-2019	04-12-2019	05-12-2019	06-12-2019	07-12-2019	08-12-2019	09-12-2019	10-12-2019	11-12-2019	12-12-2019	01-01-2020	02-01-2020	03-01-2020	04-01-2020	05-01-2020	06-01-2020	07-01-2020	08-01-2020	09-01-2020	10-01-2020	11-01-2020	12-01-2020	01-02-2020	02-02-2020	03-02-2020	04-02-2020	05-02-2020	06-02-2020	07-02-2020	08-02-2020	09-02-2020	10-02-2020	11-02-2020	12-02-2020	01-03-2020	02-03-2020	03-03-2020	04-03-2020	05-03-2020	06-03-2020	07-03-2020	08-03-2020	09-03-2020	10-03-2020	11-03-2020	12-03-2020	01-04-2020	02-04-2020	03-04-2020	04-04-2020	05-04-2020	06-04-2020	07-04-2020	08-04-2020	09-04-2020	10-04-2020	11-04-2020	12-04-2020	01-05-2020	02-05-2020	03-05-2020	04-05-2020	05-05-2020	06-05-2020	07-05-2020	08-05-2020	09-05-2020	10-05-2020	11-05-2020	12-05-2020	01-06-2020	02-06-2020	03-06-2020	04-06-2020	05-06-2020	06-06-2020	07-06-2020	08-06-2020	09-06-2020	10-06-2020	11-06-2020	12-06-2020	01-07-2020	02-07-2020	03-07-2020	04-07-2020	05-07-2020	06-07-2020	07-07-2020	08-07-2020	09-07-2020	10-07-2020	11-07-2020	12-07-2020	01-08-2020	02-08-2020	03-08-2020	04-08-2020	05-08-2020	06-08-2020	07-08-2020	08-08-2020	09-08-2020	10-08-2020	11-08-2020	12-08-2020	01-09-2020	02-09-2020	03-09-2020	04-09-2020	05-09-2020	06-09-2020	07-09-2020	08-09-2020	09-09-2020	10-09-2020	11-09-2020	12-09-2020	01-10-2020	02-10-2020	03-10-2020	04-10-2020	05-10-2020	06-10-2020	07-10-2020	08-10-2020	09-10-2020	10-10-2020	11-10-2020	12-10-2020	01-11-2020	02-11-2020	03-11-2020	04-11-2020	05-11-2020	06-11-2020	07-11-2020	08-11-2020
--	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

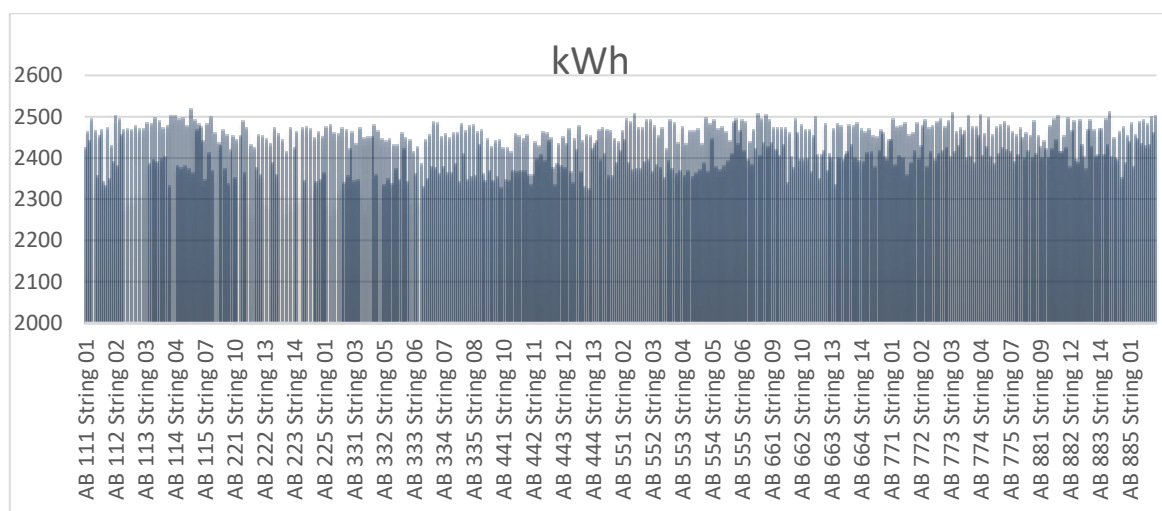
Gambar 3. Data kWh per Array Box

2.4. Metode Analisis

Metode analisis pada penelitian yang digunakan adalah membandingkan nilai tinggi dan rendah pada hasil perhitungan energi setiap bulannya. Analisis data dilakukan dengan cara membandingkan hasil energi yang dihasilkan sistem, sehingga dapat diidentifikasi adanya penurunan energi akibat pengaruh shading. Perbandingan ini mencakup evaluasi produksi energi harian, serta korelasi antara penurunan daya dengan posisi matahari dan konfigurasi modul, sehingga shading yang terjadi dapat ditunjukkan melalui dokumentasi lapangan sebagai faktor utama penyebab losses.

3. Hasil dan Diskusi

3.1. Energi Bulan Juni



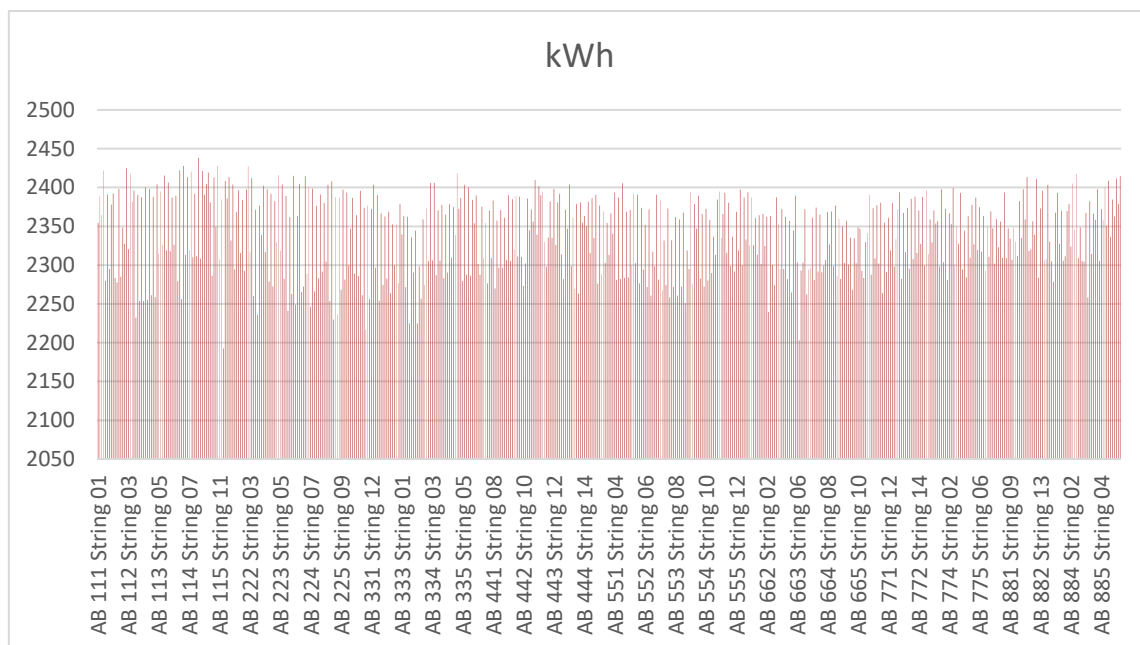
Grafik 1. Energi Array Box

Berdasarkan hasil pengukuran energi pada bulan Juni, diperoleh bahwa produksi energi pada masing-masing string menunjukkan variasi yang cukup signifikan. Nilai energi terendah tercatat sebesar 2197,3 kWh, sedangkan energi tertinggi mencapai 2518,5 kWh. Perbedaan tersebut mengindikasikan bahwa distribusi radiasi matahari yang diterima setiap string tidak merata. String dengan produksi energi yang lebih rendah diduga mengalami pengaruh bayangan (shading) yang lebih besar dibandingkan string lainnya.

Pada bulan Juni, posisi matahari berada lebih ke arah utara akibat pengaruh pergerakan semu tahunan matahari [9]. Kondisi tersebut menyebabkan arah bayangan cenderung memanjang ke sisi tertentu pada susunan table PV. Bayangan yang mengenai sebagian modul mengurangi intensitas radiasi yang diterima sel surya sehingga arus keluaran modul menurun [5]. Karena modul pada satu string terhubung secara seri, maka arus keseluruhan string akan mengikuti modul dengan arus terendah. Fenomena tersebut menyebabkan terjadinya mismatch losses yang mengakibatkan penurunan produksi energi [6].

Selain pengaruh shading, variasi energi yang terjadi juga dapat dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti perubahan intensitas radiasi harian, suhu permukaan modul, serta kondisi cuaca [8]. Akan tetapi, pola penurunan yang terjadi pada beberapa string tertentu menunjukkan bahwa pengaruh shading antar table menjadi faktor dominan yang menyebabkan penurunan energi pada periode tersebut.

3.2. Energi Bulan Juli



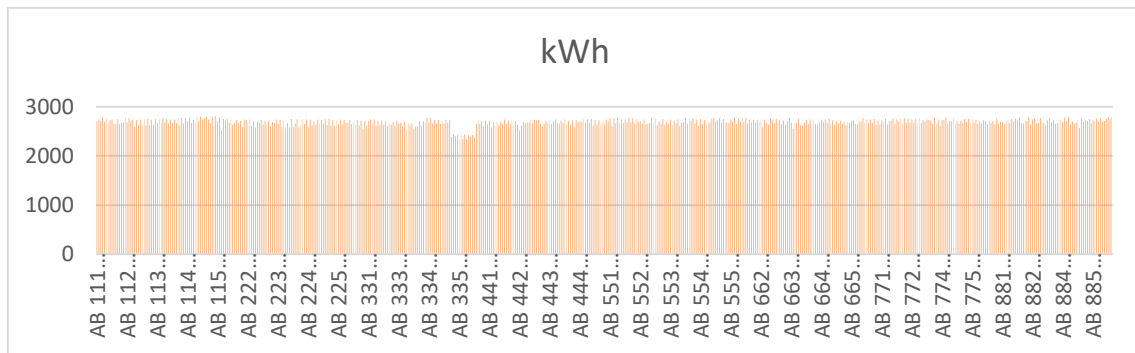
Grafik 2. Energi Array Box

Hasil pengukuran energi pada bulan Juli menunjukkan adanya penurunan dibandingkan bulan sebelumnya. Energi minimum tercatat sebesar 2192,6 kWh, sedangkan energi maksimum sebesar 2438,3 kWh. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa beberapa string mengalami pengurangan energi yang lebih besar dibandingkan string lainnya.

Kondisi ini diduga dipengaruhi oleh perubahan posisi matahari yang mulai bergeser menuju garis ekuator. Pergeseran tersebut mengubah arah datang radiasi matahari terhadap permukaan panel sehingga panjang dan arah bayangan antar table juga mengalami perubahan. Ketika bayangan mengenai sebagian modul, intensitas cahaya yang diterima menjadi lebih kecil sehingga kemampuan modul menghasilkan arus listrik ikut berkurang [5].

Dari hasil pengamatan terlihat bahwa beberapa string menunjukkan pola penurunan yang konsisten dibandingkan string lainnya. Hal tersebut mengindikasikan adanya pengaruh dynamic shading, yaitu bayangan yang berubah akibat perubahan posisi matahari sepanjang waktu. Pada sistem PLTS skala besar, kondisi seperti ini dapat menurunkan efisiensi sistem secara keseluruhan karena sebagian energi yang seharusnya dapat diproduksi tidak dapat dimanfaatkan secara maksimal [10].

3.3. Energi Bulan Agustus



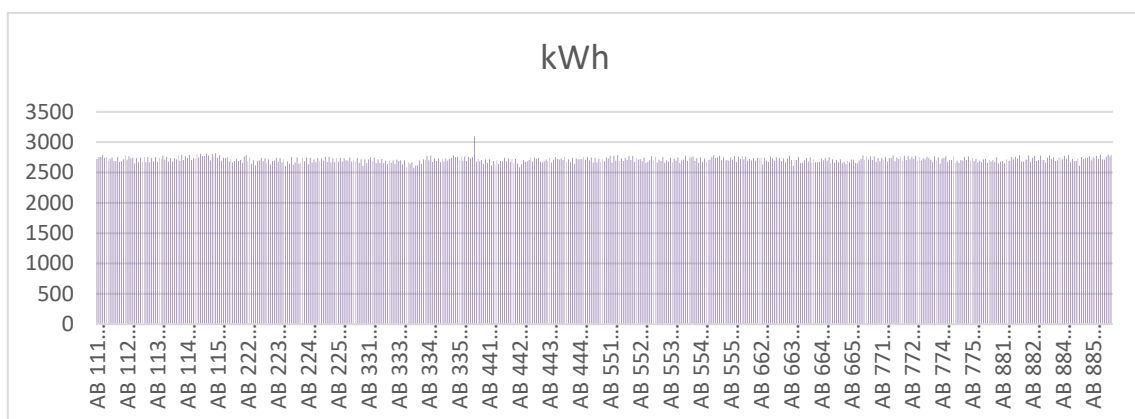
Grafik 3. Energi Array Box

Berdasarkan hasil pengukuran pada bulan Agustus, produksi energi menunjukkan peningkatan dibandingkan bulan sebelumnya. Nilai energi terendah sebesar 2386,4 kWh, sedangkan energi tertinggi mencapai 2811,1 kWh. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa kondisi operasional sistem mulai mengalami perbaikan dibandingkan bulan Juni dan Juli.

Peningkatan energi pada bulan Agustus diduga dipengaruhi oleh posisi matahari yang mulai mendekati wilayah ekuator sehingga sudut datang cahaya matahari terhadap permukaan panel menjadi lebih optimal [8]. Sudut datang radiasi yang lebih baik menyebabkan distribusi penyinaran pada modul PV menjadi lebih merata sehingga efek bayangan antar table mulai berkurang [9].

Meskipun sebagian besar string menunjukkan pola yang relatif stabil, terdapat beberapa string yang mengalami penurunan energi cukup signifikan, khususnya pada AB 334 string 14 hingga AB 335 string 11. Penurunan tersebut memiliki pola yang berbeda dibandingkan variasi normal string lainnya sehingga kemungkinan tidak hanya disebabkan oleh efek shading. Faktor lain seperti gangguan modul, akumulasi debu pada permukaan panel, atau kemungkinan adanya permasalahan pada koneksi string dapat menjadi penyebab tambahan yang memengaruhi produksi energi [10].

3.4. Energi Bulan September



Grafik 4. Energi Array Box

Pada bulan September, produksi energi menunjukkan nilai tertinggi selama periode pengamatan. Nilai energi minimum tercatat sebesar 2580,5 kWh, sedangkan energi maksimum mencapai 3097,8 kWh. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar string menghasilkan energi dengan distribusi yang lebih merata dibandingkan bulan-bulan sebelumnya.

Peningkatan energi pada bulan September dipengaruhi oleh posisi matahari yang mendekati kondisi ekuinoks [9]. Pada kondisi tersebut sudut datang cahaya matahari terhadap permukaan panel menjadi lebih seimbang sehingga penyebaran radiasi yang diterima panel lebih merata [10]. Akibatnya panjang bayangan antar table menjadi lebih pendek dibandingkan bulan sebelumnya.

Kondisi tersebut mengurangi pengaruh mismatch losses yang sebelumnya terjadi pada beberapa string [6]. Dengan berkurangnya efek shading, energi yang dihasilkan oleh masing-masing string menjadi lebih seragam. Hasil ini menunjukkan bahwa perubahan posisi matahari memiliki hubungan langsung terhadap pembentukan bayangan dan energi keluaran sistem PLTS [10].

3.5 Pembuktian Shading

Tabel 1. Bukti Shading PV modul.

AB-String	Energi String(kWh)	Dokumentasi
AB 444 string 3 dan 4	string 3 (2281,7) string 4 (2371,1)	 pukul 16.55
AB 444 string 9 dan 10	string 9 (2269,4) string 10 (2378,5)	 pukul 16.53
AB 554 String 3 dan 4	string 3 (2275,6) string 4 (2378,9)	 pukul 16.34
AB 554 String 7 dan 8	string 7 (2282,3) string 8 (2365,8)	 pukul 16.34

AB 662 string 7 dan 8	string 7 (2387,4) string 8 (2352,5)	 pukul 16.38
AB 664 string 5 dan 6	string 5 (2290,9) string 6 (2299,5)	 pukul 16.44
AB 664 string 13 dan 14	string 13(2285,9) string 14(2359,7)	 pukul 16.44
AB 774 string 11 dan 12	string 11(2284,2) string 12(2362,9)	 pukul 16.45
AB 775 string 7 dan 8	string 7(2317,4) string 8(2363,2)	 pukul 16.47
AB 885 string 11 dan 12	string 11(2429) string 12(2482,7)	 pukul 16.50

AB 885 string 1 dan 2	string 1(2358,4) string 2(2397,6)	 pukul 16.51
-----------------------	--------------------------------------	---

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini, maka pergeseran matahari berpengaruh terhadap terbentuknya shading antar table PV di bulan Juni hingga September. Faktor penurunan energi juga dipengaruhi oleh shading, kondisi cuaca, suhu, lingkungan, debu pada panel, dan mismatch antar modul. Hasil pengukuran menunjukkan adanya perbedaan energi yang di hasilkan pada masing-masing string selama periode pengamatan Juni-September. String yang mengalami pengaruh shading menghasilkan energi lebih rendah dibandingkan string yang menerima penyinaran matahari secara optimal. Shading antar table yang terjadi secara berulang dapat menyebabkan losses energi pada sistem sehingga berpotensi menurunkan efisiensi dan performa PLTS secara keseluruhan. Paling banyak energi listrik relatif rendah ada pada bulan juli perubahan posisi matahari yang mulai bergeser menuju garis ekuator. Pergeseran tersebut mengubah arah datang radiasi matahari terhadap permukaan panel sehingga panjang dan arah bayangan antar table juga mengalami perubahan. Ketika bayangan mengenai sebagian modul, intensitas cahaya yang diterima menjadi lebih kecil sehingga kemampuan modul menghasilkan arus listrik ikut berkurang. Pada bulan September Peningkatan energi dipengaruhi oleh posisi matahari yang mendekati kondisi ekuinoks. Pada kondisi tersebut sudut datang cahaya matahari terhadap permukaan panel menjadi lebih seimbang sehingga penyebaran radiasi yang diterima panel lebih merata. Akibatnya panjang bayangan antar table menjadi lebih pendek dibandingkan bulan sebelumnya.

Referensi

- [1] Messenger, R. & Ventre, J. (2010) *Photovoltaic systems engineering*. 3rd edn. Boca Raton: CRC Press.
- [2] Masters, G.M. (2013) *Renewable and efficient electric power systems*. 2nd edn. Hoboken: John Wiley & Sons.
- [3] Vena Energy (2023) *Vena Energy announces 21MW Lombok solar project achieving commercial operation in Indonesia*.
- [4] Haq, M.D. (2021) *Pengukuran daya panel surya II (Shading condition)*. Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.
- [5] Aprillia, B.S., Zulfahmi, M.R. & Rizal, A. (2019) 'Investigasi efek partial shading terhadap daya keluaran sel surya', *Jurnal Elementer*, 5(2), pp. 9–17
- [6] Samsurizal, S.D.P., Fikri, M. & Christiono (2020) 'Dampak bayangan pada panel surya terhadap daya keluaran photovoltaic', *Jurnal Ilmiah Setrum*, 9(2), pp. 50–62.
- [7] Hutaaruk, A. & Sitorus, M.B. (2023) *Analisis pengaruh bentuk shading terhadap kinerja output produksi PLTS*. Diploma thesis, S1 Teknik Elektro, Institut Teknologi PLN.
- [8] Duffie, J.A. & Beckman, W.A. (2013) *Solar engineering of thermal processes*. 4th edn. Hoboken: John Wiley & Sons
- [9] Schroeder, D.V. (n.d.) *Understanding Astronomy: The Sun and the Seasons*. Weber State University.
- [10] Rohana, R., Zambak, M.F. & Siregar, I.I. (2023) 'Analisis pengaruh bayangan terhadap daya keluaran yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga surya', *Schrodinger Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pendidikan Fisika*, 4(1), pp. 77–90.
- [11] Sunanda, W., Gusa, R.F., Tiandho, Y. & Pratama, E.A. (2019) 'Impact of shading net on photovoltaic cells performance', *Jurnal Teknik Elektro*, 11(2), pp. 1–7. Universitas Bangka Belitung.
- [12] Siregar, I.I. (2022) *Analisis pengaruh bayangan terhadap daya keluaran yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga surya*. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- [13] Trina Solar (2017) *Datasheet TSM-325 PEG14 Polycrystalline Module*. Available at: SolarProof
- [14] Umar, M. (2024) *Studi losses dan keandalan jaringan distribusi tegangan menengah di kawasan industri Makassar (KIMA)*. Universitas Hasanuddin.
- [15] Heriansyah, A. (2023) *Analisis pengaruh effect shading terhadap daya output pembangkit listrik tenaga surya*. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.