

STUDI PENGARUH SELF SHADING DAN NEAR SHADING PADA SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA

Immanuel Novan Dwi Pradika¹, Ismail yusuf², Ayong Hiendro³

d1021201072@student.untan.ac.id¹, ismail.yusuf@ee.untan.ac.id²,

ayong.hiendro@ee.untan.ac.id³

Universitas Tanjungpura

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh jarak antar baris dan keberadaan bangunan terhadap kehilangan energi akibat shading pada sistem PLTS. Studi dilakukan untuk mengevaluasi dua jenis shading, yaitu self shading antar baris modul dan near shading dari bangunan tetap, guna mengetahui konfigurasi penempatan panel yang paling optimal. Metodologi penelitian meliputi pemodelan sistem PLTS serta simulasi menggunakan perangkat lunak PVSyst sesuai tahapan penelitian yang telah ditetapkan. Simulasi pertama dilakukan tanpa obstacle untuk menguji beberapa variasi jarak antar baris dan menentukan jarak optimal yang meminimalkan self shading. Simulasi kedua menggunakan jarak optimal tersebut dengan penambahan model bangunan sebagai obstacle untuk mengevaluasi dampak near shading terhadap produksi energi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jarak antar baris berpengaruh signifikan terhadap shading loss dan energi yang hilang, serta terdapat jarak optimum yang mampu menurunkan potensi self shading. Penambahan obstacle bangunan terbukti meningkatkan energi hilang dan shading loss, sehingga mempengaruhi performa sistem secara keseluruhan. Kesimpulannya, pengaturan jarak antar baris yang tepat dan mitigasi near shading merupakan faktor kunci dalam menjaga efisiensi PLTS dan mengurangi kehilangan energi akibat shading sebagaimana dirumuskan pada bagian simpulan penelitian.

Kata Kunci: PLTS, Self Shading, Near Shading, Shading Loss, Pvsyst.

PENDAHULUAN

Energi surya merupakan salah satu bentuk energi terbarukan yang paling menjanjikan, terutama di negara tropis seperti Indonesia. Kota Pontianak yang terletak tepat di garis khatulistiwa memiliki potensi energi surya yang sangat tinggi, dengan tingkat radiasi matahari rata-rata mencapai lebih dari 4,5–5,5 kWh/m² per hari menurut data Global solar atlas [1]. Potensi ini menjadikan Pembangkit Listrik Tenaga Surya sebagai solusi alternatif yang sangat relevan untuk mengurangi ketergantungan pada energi fosil, menurunkan emisi karbon, dan meningkatkan kemandirian energi.

Namun, dalam implementasinya, kinerja sistem PLTS sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor desain teknis, salah satunya adalah bayangan. Efek shading terbukti menjadi penyebab utama penurunan performa sistem fotovoltaik karena dapat mengurangi jumlah iradiasi yang diterima panel surya secara signifikan. Berdasarkan studi yang dilakukan pada tahun 2020 [2], kehilangan energi akibat shading bisa mencapai lebih dari 20%, tergantung pada durasi, intensitas, dan posisi bayangan.

Secara umum, shading dibagi menjadi dua jenis yaitu self shading yang merupakan bayangan yang ditimbulkan oleh antar baris panel itu sendiri, dan near shading yaitu bayangan dari objek eksternal seperti bangunan, tiang, atau pepohonan. Self shading dapat diminimalkan dengan mengatur jarak antar baris panel secara optimal, namun jika jaraknya terlalu besar, maka efisiensi penggunaan lahan menjadi rendah. Berdasarkan studi yang dilakukan pada tahun 2023 menyatakan bahwa dampak bayangan terhadap kinerja dari PLTS tersebut yang menjadi faktor pendorong terjadinya penurunan produksi PLTS pada kondisi self shading sebesar 28.616 kWh dan performance ratio sebesar 1,03% dibandingkan kondisi tanpa shading, serta pada kondisi self-shading dan vegetation shading terjadi penurunan produksi sebesar 81.406 kWh dan performance ratio sebesar 2,94%”,

sehingga diperlukan strategi khusus dalam desain sistem untuk meminimalkan dampak tersebut. Pengaruh bayangan (shading) telah diidentifikasi sebagai salah satu faktor utama yang menyebabkan penurunan kinerja pada sistem

fotovoltaik. Berdasarkan studi yang dilakukan pada tahun 2024 [4] menyatakan bahwa sistem pembangkit listrik tenaga surya, khususnya yang berbasis modul fotovoltaik, sangat rentan mengalami penurunan kinerja apabila terkena efek bayangan (shading), baik dari objek tetap di sekitar instalasi maupun dari konfigurasi pemasangan panel itu sendiri.

Melalui simulasi Pvsyst, Penelitian ini dapat menganalisa parameter seperti shading loss, Performance Ratio dan energi hilang (kWh/year), baik pada kondisi tanpa penghalang maupun dengan keberadaan bangunan.

METODOLOGI

Metode yang digunakan untuk penelitian ini yaitu menggunakan metode kuantitatif berbasis simulasi. Penelitian dilakukan melalui analisis komparatif antar skenario dengan memvariasikan konfigurasi jarak antar baris modul serta mengevaluasi dampak keberadaan bangunan tetap sebagai obstacle terhadap shading loss dan produksi energi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Model Sistem PLTS Tanpa Shading

Sebelum melakukan analisis shading, dilakukan model sistem PLTS pada PVsyst dengan parameter desain dasar yang telah ditentukan (kapasitas sistem, tipe modul, orientasi array, dan data iklim) Gambar 4.1 merupakan sebuah visualisasi model sistem PLTS terhadap efek Near Shading yang terjadi pada pagi hari, yang menyebabkan sebagian modul tertutup bayangan oleh bangunan rumah.

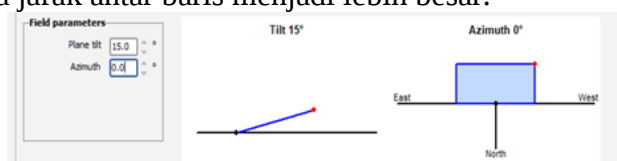


Gambar 1 Model Sistem PLTS dengan pengaruh Near Shading Oleh Bangunan

B. Orientasi Array dan Parameter Geometris

Lokasi penelitian berada di Kota Pontianak dengan titik koordinat Lintang (Latitude): $0^{\circ}03'26.0''$ Selatan dan Bujur (Longitude): $109^{\circ}20'51.0''$ Timur. Kondisi geografis tersebut menjadikan Pontianak sebagai salah satu kota yang hampir dilalui garis khatulistiwa, sehingga posisi matahari relatif tegak lurus pada sebagian besar waktu dalam setahun.

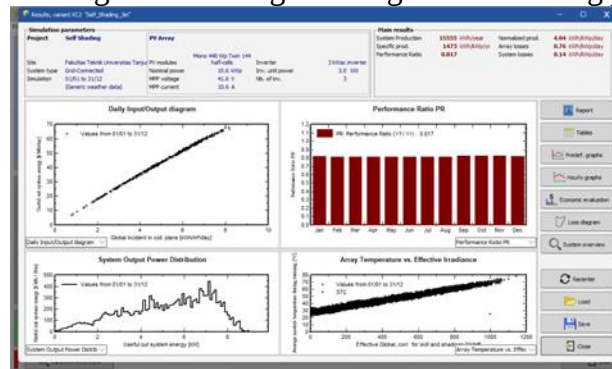
Berdasarkan pertimbangan tersebut, sudut kemiringan (tilt) modul tidak perlu terlalu besar seperti halnya pada wilayah lintang tinggi. Sudut kemiringan yang digunakan pada penelitian ini sebesar 15° . Pemilihan nilai tilt 15° bertujuan untuk mengoptimalkan penerimaan radiasi matahari sekaligus menjaga agar potensi self cleaning modul tetap baik. Kemiringan yang terlalu rendah ($<5^{\circ}$) dapat meningkatkan akumulasi debu dan air hujan pada permukaan modul, sedangkan kemiringan yang terlalu tinggi akan mengurangi densitas lahan karena jarak antar baris menjadi lebih besar.



Gambar 2 Orientasi Tilt dan Azimuth

C. Kinerja PLTS tanpa Shading

Tahap awal simulasi dalam penelitian ini melakukan simulasi kinerja sistem PLTS dalam kondisi ideal tanpa adanya pengaruh shading baik dari modul lain maupun dari objek eksternal. Simulasi tanpa shading ini bertujuan untuk memperoleh gambaran potensi maksimal sistem PLTS di lokasi penelitian sehingga dapat digunakan sebagai titik acuan (reference point) dalam menganalisis kerugian energi akibat shading pada tahap berikutnya.

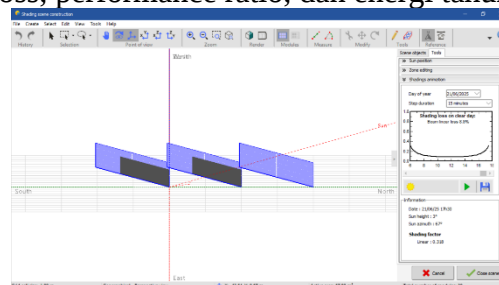


Gambar 3 Hasil Simulasi PLTS tanpa Shading

Berdasarkan Gambar 3 hasil simulasi validasi baseline, sistem PLTS menghasilkan energi bersih sebesar 15.555 kWh/year dengan specific yield 1.473 kWh/kWp/year. Nilai Performance Ratio (PR) tercatat sebesar 81,7%, yang menunjukkan bahwa sistem beroperasi pada tingkat kinerja yang cukup baik. Kerugian energi utama pada tahap baseline berasal dari array losses sebesar 0,76 kWh/kWp/hari dan system losses sebesar 0,14 kWh/kWp/hari, sementara shading loss belum muncul karena simulasi dilakukan tanpa memperhitungkan bayangan.

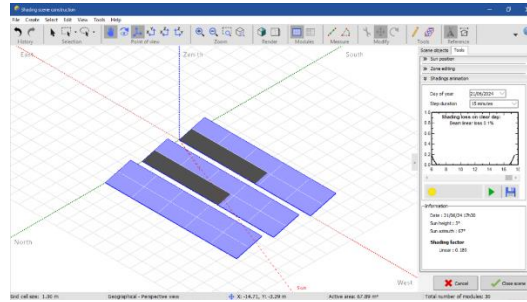
D. Self Shading

Simulasi efek self shading dilakukan dengan menggunakan dua variasi jarak antar baris panel 1,5 m dipilih sebagai skenario kondisi desain dengan pemanfaatan lahan yang lebih efisien namun rentan terhadap self shading dan jarak antar baris panel 3 m dipilih sebagai skenario mitigasi shading, di mana penempatan panel yang lebih renggang diharapkan mampu mengurangi efek self shading secara signifikan dan memberikan performa sistem yang lebih optimal. Modul dipasang menghadap ke utara dengan sudut kemiringan (tilt) sebesar 15°. Hasil simulasi menggunakan perangkat lunak PVsyst mencakup nilai shading loss, performance ratio, dan energi tahunan yang dihasilkan.



Gambar 4 Desain susunan panel surya pada jarak antar baris 1,5 m

Gambar 4 menampilkan konfigurasi susunan array panel surya dengan jarak antar baris sebesar 1,5 meter. Jarak ini merupakan salah satu variasi yang digunakan dalam simulasi untuk menganalisis pengaruh self shading terhadap kinerja sistem PLTS. Konfigurasi yang digunakan yaitu, setiap baris modul dipasang sejajar dengan sudut kemiringan 15° sesuai lokasi geografis Pontianak, dan jarak antar baris diatur sedemikian rupa untuk memastikan adanya ruang antar baris yang meminimalkan bayangan dari baris depan terhadap baris belakang, terutama pada waktu matahari rendah di pagi dan sore hari.



Gambar 5 Desain susunan panel surya pada jarak antar baris 3 m

Gambar 5 menunjukkan susunan array panel surya dengan jarak antar baris sebesar 3 meter. Variasi jarak ini digunakan untuk mengamati perubahan tingkat self shading dan pengaruhnya terhadap performa sistem PLTS jika dibandingkan dengan konfigurasi jarak yang lebih rapat, seperti pada Gambar 4.6. Dengan jarak antar baris yang lebih lebar, area bayangan yang dihasilkan oleh baris depan terhadap baris di belakang menjadi lebih kecil, terutama pada saat sudut datang sinar matahari rendah.

Jarak Antar Baris	Shading Loss (%)	Energi Tahunan (kWh/Year)	Performance Rasio (PR%)
1,5 m	19%	12.804	0,672
3 m	0,9%	15.440	0,811

Tabel 1 Hasil Simulasi Self shading dengan 2 variasi jarak antar baris

Berdasarkan hasil simulasi PVSyst yang ditampilkan pada Tabel 1, terlihat bahwa variasi jarak antar baris modul memberikan pengaruh yang signifikan terhadap besarnya kehilangan energi akibat self shading. Hasil pada konfigurasi dengan jarak antar baris 1,5 m, nilai shading loss tercatat sebesar 19%, sedangkan pada jarak antar baris 3 m shading loss turun drastis menjadi hanya 0,9%, perbedaan ini menunjukkan bahwa jarak yang lebih rapat mengakibatkan modul di baris belakang lebih sering terhalang bayangan dari baris depan, terutama pada pagi dan sore hari saat sudut datang matahari rendah.

Dampak dari perbedaan shading loss tersebut berpengaruh langsung terhadap output energi tahunan yang dihasilkan sistem. Pada jarak 1,5 m, energi tahunan hanya mencapai 12.804 kWh/year, sementara pada jarak 3 m energi yang dihasilkan meningkat menjadi 15.440 kWh/year. Artinya, terdapat peningkatan produksi energi sebesar 2.636 kWh/year atau sekitar 20,5% lebih tinggi ketika jarak antar baris diperbesar. Hal ini membuktikan bahwa konfigurasi jarak antar baris merupakan salah satu faktor krusial dalam optimalisasi kinerja PLTS.

Selain itu, indikator kinerja sistem yang ditunjukkan oleh nilai Performance Ratio (PR) juga mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya jarak antar baris. Pada jarak 1,5 m nilai PR tercatat sebesar 0,672 (67,2%), sedangkan pada jarak 3 m meningkat menjadi 0,811 (81,1%) yang mengindikasikan bahwa PLTS beroperasi dengan baik. Kenaikan PR ini sejalan dengan penurunan shading loss, yang berarti sistem dapat beroperasi lebih mendekati kondisi ideal dengan meminimalkan energi yang hilang akibat bayangan.

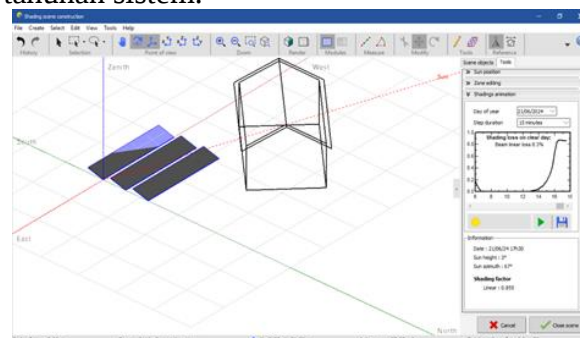
Dengan demikian, walaupun jarak teoritis ideal adalah 4,1 m, konfigurasi 3, m dipilih sebagai kompromi desain karena peningkatan energi yang dihasilkan saat menaikkan jarak dari 3 m ke 4,1 m diperkirakan bersifat marginal, kebutuhan lahan dan biaya struktur meningkat sebanding dengan bertambahnya spacing, dan shading loss pada 3 m berada pada tingkat yang masih dapat diterima menurut kriteria performa penelitian ini. Oleh karena itu, penggunaan jarak 3 m dipertahankan dalam studi ini sebagai konfigurasi yang efisien secara praktis dan ekonomis, sambil tetap mencatat nilai teoritis 4,1 m sebagai acuan referensi desain.

Secara keseluruhan, hasil simulasi ini didapati bahwa jarak antar baris modul yang

lebih besar mampu mengurangi efek self shading secara signifikan, meningkatkan produksi energi tahunan, dan memperbaiki efisiensi sistem yang tercermin dari nilai PR. Dengan demikian, jarak antar baris 3 m dapat dianggap sebagai konfigurasi yang lebih optimal dibandingkan jarak 1,5 m, meskipun konsekuensinya adalah kebutuhan lahan yang lebih luas.

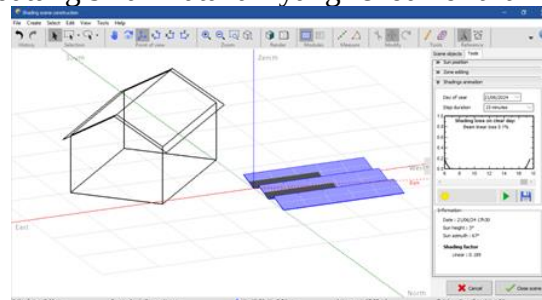
E. Near Shading

Simulasi efek near shading dilakukan dengan menggunakan jarak antar baris panel sebesar 3 meter, yang merupakan konfigurasi optimal berdasarkan hasil simulasi sebelumnya. Pada skenario ini, ditambahkan obstacle berupa bangunan yang menghadap ke arah tenggara dengan sudut azimuth sebesar 135° . Pengujian* hasil simulasi menggunakan perangkat lunak PVsyst menghasilkan parameter utama berupa shading loss, performance ratio (PR), dan energi tahunan sistem.



Gambar 6 Desain simulasi near shading dengan penempatan array pada sisi kiri bangunan (obstacle)

Gambar 6 memperlihatkan konfigurasi susunan array panel surya yang ditempatkan pada sisi kiri bangunan dengan orientasi bangunan menghadap ke tenggara dan arah hadap array ke utara. Dalam konfigurasi ini, posisi bangunan berada di sisi timur area instalasi, sehingga pada pagi hari sebagian modul di sisi kiri berpotensi menerima bayangan dari bangunan akibat sudut datang sinar matahari yang rendah di ufuk timur.



Gambar 7 Desain simulasi near shading dengan penempatan array pada sisi kanan bangunan (obstacle)

Gambar 7 menampilkan konfigurasi array panel surya yang ditempatkan pada sisi kanan bangunan, dengan arah hadap bangunan tenggara dan array menghadap utara. Pada konfigurasi ini, posisi bangunan berada di sisi barat area instalasi, sehingga potensi bayangan dari bangunan lebih dominan terjadi pada sore hari, ketika posisi matahari berada di barat daya.

Letak array	Shading Loss (%)	Energi Tahunan (kWh/Year)	Performance Ratio (PR%)
Sisi Kiri	2,2%	14.802	0,777
Sisi Kanan	2,1%	15.265	0,802

Tabel 2 Hasil Simulasi Near Shading

Berdasarkan hasil semua simulasi pada Tabel 2 menggunakan perangkat lunak

PVsyst, diperoleh bahwa keberadaan bangunan di sekitar sistem PLTS memberikan pengaruh tertentu terhadap performa energi yang dihasilkan. Simulasi dilakukan pada dua skenario, yaitu penempatan array di sisi kiri bangunan dan sisi kanan bangunan. Bertujuan untuk melihat sejauh mana posisi objek terhadap lintasan matahari memengaruhi tingkat kehilangan energi (shading loss), performance ratio (PR), serta energi tahunan sistem.

Dari hasil yang disajikan pada Tabel 2 diketahui bahwa pada skenario array di sisi kiri bangunan, shading loss tercatat sebesar 2,2%, sedangkan pada skenario array di sisi kanan bangunan nilainya sedikit lebih rendah yaitu 2,1%. Meskipun perbedaan angka tersebut tampak kecil, namun secara teknis menunjukkan bahwa arah penempatan array terhadap posisi matahari berpengaruh terhadap intensitas radiasi yang diterima modul surya. Penurunan nilai shading loss sebesar 0,1% pada sisi kanan bangunan menunjukkan bahwa area tersebut relatif lebih sedikit mengalami bayangan langsung sepanjang periode radiasi efektif harian.

Selain itu, hasil simulasi menunjukkan bahwa energi tahunan yang dihasilkan pada sisi kanan bangunan mencapai 15.265 kWh/year, lebih besar dibandingkan sisi kiri bangunan yang hanya menghasilkan 14.802 kWh/year. Perbedaan sebesar 463 kWh/year atau sekitar 3,1% ini menunjukkan adanya peningkatan performa sistem ketika array ditempatkan di sisi kanan bangunan. Peningkatan ini sejalan dengan nilai Performance Ratio (PR) yang juga lebih tinggi, yaitu 0,802 pada sisi kanan dibandingkan 0,777 pada sisi kiri. Hal ini mengindikasikan bahwa penurunan tingkat pembayangan berdampak langsung terhadap peningkatan efisiensi sistem PLTS secara keseluruhan.

Posisi matahari bergerak relatif simetris dari timur ke barat dengan sudut elevasi tinggi pada siang hari, jika dilihat dari arah lintasan matahari di Kota Pontianak yang berada di sekitar garis khatulistiwa. Dalam kondisi ini array yang terletak di sisi kiri cenderung menimbulkan bayangan pada pagi hari, sedangkan sisi kanan lebih sedikit terpapar bayangan pada jam-jam produktif siang hari. Oleh karena itu, penempatan array di sisi kanan bangunan memberikan hasil yang lebih baik dalam hal penerimaan iradiasi dan output energi.

Secara keseluruhan hasil analisis near shading menunjukkan bahwa meskipun pengaruh bangunan terhadap kehilangan energi relatif kecil dibandingkan self shading, namun faktor orientasi dan posisi bangunan tetap perlu diperhatikan dalam tahap perancangan sistem PLTS. Perbedaan shading loss dan performance ratio pada kedua posisi tersebut menegaskan bahwa pemilihan lokasi penempatan panel yang tepat dapat membantu meminimalkan efek bayangan eksternal, menjaga kestabilan performa sistem, serta meningkatkan output energi tahunan secara signifikan. Dengan demikian, penempatan array di sisi kanan bangunan pada lokasi penelitian dapat dikategorikan sebagai konfigurasi yang lebih optimal karena mampu menghasilkan energi lebih tinggi dan efisiensi sistem yang lebih baik.

F. Perbandingan Pengaruh Self Shading dan Near Shading

Perbandingan hasil uji self shading dan near shading dilakukan untuk mengetahui seberapa jauh pengaruh keduanya terhadap kehilangan energi pembangkit listrik tenaga surya. Sehingga didapatkan nilai optimal yang dapat direkomendasikan dalam pembangunan PLTS.

Parameter	Shading Loss (%)	Energi Tahunan (kWh/Year)	Perfomance Rasio (PR)
<i>Baseline</i>	0	15.555	0,817
Jarak Antar Baris (1,5m)	19	12.804	0,672

Jarak Antar Baris (3 m)	0,9	15.404	0,811
Array pada sisi Kiri Bangunan	2,2	14.802	0,777
Array pada sisi Kanan Bangunan	2,1	15.265	0,802

Tabel 3 Hasil perbandingan parameter self shading dan near shading pada sistem PLTS.

Berdasarkan hasil pada Tabel 3 yang telah dilakukan menggunakan perangkat lunak PVsyst, dapat dilihat bahwa baik self shading maupun near shading memiliki pengaruh nyata terhadap kinerja sistem PLTS, namun dengan tingkat dampak yang berbeda. Tabel 3 menampilkan perbandingan hasil simulasi dari seluruh skenario yang meliputi kondisi tanpa shading, variasi jarak antar baris panel untuk analisis self shading, serta penempatan array di sisi kiri dan kanan bangunan untuk analisis near shading. Dari hasil tersebut, terlihat bahwa self shading memberikan dampak paling signifikan terhadap penurunan performa sistem, terutama pada konfigurasi jarak antar baris 1,5 meter. Pada kondisi ini, nilai shading loss mencapai 19%, dengan Performance Ratio (PR) sebesar 0,672, dan energi tahunan hanya 12.804 kWh/year. Hal ini terjadi karena jarak antar baris yang terlalu rapat menyebabkan baris panel belakang sering tertutup bayangan dari baris depan, terutama pada pagi dan sore hari.

Sebaliknya ketika jarak antar baris diperlebar menjadi 3 meter, nilai shading loss menurun drastis menjadi 0,9%, dan PR meningkat menjadi 0,811. Energi tahunan yang dihasilkan juga naik menjadi 15.404 kWh/year, mendekati nilai ideal pada kondisi tanpa shading. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan jarak antar baris secara signifikan mampu mengurangi efek self shading dan meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan. Sementara itu, pada skenario near shading akibat keberadaan bangunan pengaruhnya terhadap performa sistem relatif lebih kecil dibandingkan self shading. Pada konfigurasi array di sisi kiri bangunan, shading loss tercatat sebesar 2,2%, dengan PR sebesar 0,777, dan energi tahunan 14.802 kWh/year. Sedangkan pada konfigurasi sisi kanan bangunan, nilai shading loss sedikit menurun menjadi 2,1%, PR meningkat ke 0,802, dan energi tahunan naik menjadi 15.265 kWh/year.

Perbedaan ini dapat dijelaskan oleh arah lintasan matahari di Pontianak, di mana posisi matahari pada pagi hari berada di timur-tenggara dan sore hari di barat-daya. Karena bangunan menghadap tenggara dan array menghadap utara, maka bayangan dari bangunan lebih dominan memengaruhi sisi kiri pada pagi hari, sementara sisi kanan relatif lebih bebas dari bayangan pada jam-jam produktif siang hari.

Secara keseluruhan, hasil simulasi menunjukkan bahwa efek self shading lebih besar dibandingkan near shading terhadap kehilangan energi sistem PLTS. Namun demikian, kedua faktor tersebut tetap perlu dipertimbangkan dalam tahap perancangan karena keduanya mempengaruhi efisiensi dan produktivitas sistem secara kumulatif. Dengan mempertimbangkan nilai Performance Ratio dan energi tahunan yang dihasilkan, dapat disimpulkan bahwa konfigurasi dengan jarak antar baris 3 meter dan penempatan array di sisi kanan bangunan merupakan kondisi paling optimal didalam lokasi penelitian ini, karena memberikan keseimbangan terbaik antara efisiensi energi dan penggunaan lahan..

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan yang telah di paparkan maka kesimpulan dapat di ambil sebagai berikut:

1. Pada jarak antar baris 1,5 meter, sistem mengalami shading loss sebesar 19%,

Performance Ratio (PR) sebesar 0,672, dan energi tahunan hanya 12.804 kWh/year. Pada jarak antar baris 3 meter, shading loss turun menjadi 0,9%, PR meningkat menjadi 0,811, dan energi tahunan naik menjadi 15.404 kWh/year.

2. Untuk near shading, penempatan array di sisi kiri bangunan menghasilkan shading loss 2,2%, sedangkan di sisi kanan bangunan hanya 2,1% dengan energi tahunan tertinggi 15.265 kWh/year.

Hasil ini mengindikasikan bahwa jarak antar baris 3 meter dengan penempatan array di sisi kanan bangunan merupakan konfigurasi paling optimal, karena memberikan keseimbangan antara efisiensi energi dan penggunaan lahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arfittariah Wisyadyadi, "Efisiensi dari Solar panel terhadap Efek Partial shading di Wilayah Karang Joang," *J. Elem.*, vol. 8, no. 1, pp. 53–62, 2022.
- H. B. P. Parapa', "Analisa Dampak Simulasi Bayangan Objek pada PLTS 1,3 MWp Menggunakan Software SAM," *J. Tek. Mesin Sinergi*, vol. 21, no. 2, pp. 292–300, 2023, doi: 10.31963/sinergi.v21i2.4485.
- İ. Kayri, "Investigation of Near Shading Losses in Photovoltaic Systems with PVsyst Software," *Balk. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 12, no. 1, pp. 10–19, 2024, doi: 10.17694/bajece.1418426.
- K. Friansa, J. Pradipta, I. N. Haq, E. Leksono, and K. Ariwibawa, "Peningkatan Kinerja Modul PV Kanopi dengan Optimasi Pembayangan pada Area Terbatas," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 21, no. 1, p. 41, 2022, doi: 10.24843/mite.2022.v21i01.p07.
- M. D. Ridwan, A. Hiendro, and F. Fitriah, "Study of Solar Power Plant (Spp) With 1.51 Mwp Capacity At Tanjungpura University," *Telecommun. Comput. Electr. Eng. J.*, vol. 1, no. 2, p. 109, 2023, doi: 10.26418/telectrical.v1i2.70006.
- M. Muchlishah, N. Nadhiroh, D. A. Nugroho, and A. Imaduddin, "Peningkatan Efisiensi Sistem PLTS Melalui Optimasi Susunan Array Panel Surya," *J. Eltek*, vol. 21, no. 2, pp. 50–57, 2023, doi: 10.33795/eltek.v21i2.3191.
- M. Muchlishah, N. Nadhiroh, D. A. Nugroho, and A. Imaduddin, "Peningkatan efisiensi sistem PLTS melalui optimasi susunan array panel surya," *J. Eltek*, vol. 21, no. 2, pp. 50–57, 2023, doi: 10.33795/eltek.v21i2.3191.
- M. Rohana, Z. Fitra, and I. Indra Siregar, "Analisis Pengaruh Bayangan Terhadap Daya Keluaran Yang Dihasilkan Oleh Pembangkit Listrik Tenaga Surya," *Schrodinger (J. Ilm. Mhs. Pendidik. Fis.*, vol. 4, no. 1, pp. 77–90, 2023.
- N. Amelia Hutagalung, I. N. Setiawan, and I. W. Sukerayasa, "Analisis Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap On-Grid 463,25 kWp di Perusahaan Farmasi Pada Kawasan PT Jakarta Industrial Estate Pulogadung, Jakarta Timur," *J. SPEKTRUM*, vol. 10, no. 2, p. 70, 2023, doi: 10.24843/spektrum.2023.v10.i02.p9.
- N. Triani, H. Abdillah, and N. Darusman, "Vocational Education National Seminar (VENS) Attribution-ShareAlike 4.0 International Some rights reserved Paper Pengaruh Shading Terhadap Hasil Keluaran Arus dan Tegangan Pada Panel Surya Polycrystalline," *Vocat. Educ. Natl. Semin.*, pp. 1–4, 2023.
- P. Harahap, E. Prastio, D. B. Oktrialdi, and P. A. Id, "Pengaruh Shading (Bayangan) Pada Panel Surya Monocrystalline Terhadap Energi Listrik Yang Dihasilkan Secara Seri Dan Paralel," *Semin. Nas. Tek. Elektro*, vol. 1, pp. 74–80, 2024.
- R. Rauf, R. Ritnawati, F. Rachim, A. T. Dahri, H. Andre, R. A. M. Napitupulu, E. Erdawaty, A. Aminur, D. Corio, D. & P. Siagian., *Matahari sebagai energi masa depan: Panduan lengkap pembangkit listrik tenaga surya (PLTS)*. Yayasan Kita Menulis. Jakarta: Deepublish, 2023.
- S. Samsurizal, S. Dody, M. Fikri, & Christiono, "Dampak bayangan pada panel surya terhadap daya keluaran photovoltaic". *Jurnal Ilmiah Setrum*, vol. 9, no. 2, pp. 50–62, 2020
- S. Supriyatna, "Pemetaan Potensi Energi Surya Berbasis Global Solar Atlas di Fakultas Teknik Universitas Mataram," vol. 11, no. 2, pp. 146–153, 2024.