



Analisis Fluktuasi Radiasi Matahari dan Implikasinya Terhadap Penempatan PLTS

Ahmad Yusuf Salile*, Sapto Nisworo, Sumardi

Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

*Corresponding author: ahmad.yusuf.s@gmail.com

(Received: December 11, 2024; Accepted: January 2, 2025)

Abstract

Analysis of Solar Radiation Fluctuations and Their Implications for Solar Power Plant Placement. Solar radiation in Indonesia is highly fluctuating. This has a direct impact on the power output of solar power plants, which in turn can cause operational problems such as frequency fluctuations in the electricity grid. To overcome this, it is proposed to measure and analyze solar radiation fluctuations independently at various locations, and compare them with coincident measurements (a combination of several locations). The hypothesis states that the more coincident measurement points will result in a smaller percentage of fluctuations. By understanding statistical data on solar radiation fluctuations, engineers can strategically plan the capacity of solar power plants and optimize their placement. This information allows for efficient utilization of solar energy while maintaining system stability. In addition, the findings of this study can open up opportunities for further investigations into the intermittent nature of solar power systems. Ultimately, this study indirectly contributes to the transition towards cleaner and more sustainable energy sources.

Keywords: solar radiation, fluctuation, statistic, solar power, Jawa Island

Abstrak

Radiasi matahari di Indonesia sangat berfluktuasi. Hal ini berdampak langsung pada keluaran daya dari PLTS yang pada gilirannya dapat menyebabkan masalah operasional seperti fluktuasi frekuensi pada jaringan listrik. Untuk mengatasi hal ini, diusulkan pengukuran dan analisis fluktuasi radiasi matahari secara independen di berbagai lokasi, serta membandingkannya dengan pengukuran secara koinsiden (gabungan beberapa lokasi). Hipotesis menyatakan bahwa semakin banyak titik pengukuran secara koinsiden akan menghasilkan persentase fluktuasi yang lebih kecil. Dengan memahami data statistik mengenai fluktuasi radiasi matahari, para insinyur dapat merencanakan kapasitas sistem PLTS secara strategis dan mengoptimalkan penempatannya. Informasi ini memungkinkan pemanfaatan energi surya yang efisien sambil tetap menjaga stabilitas sistem. Selain itu, temuan penelitian ini dapat membuka peluang untuk investigasi lebih lanjut mengenai sifat intermiten sistem PLTS. Pada akhirnya, penelitian ini secara tidak langsung berkontribusi pada transisi menuju sumber energi yang lebih bersih dan berkelanjutan.

Kata kunci: radiasi matahari, fluktuasi, statistik, PLTS, Pulau Jawa

How to Cite This Article: Salile, A. Y., Nisworo, S. & Sumardi, S. (2025). Analisis Fluktuasi Radiasi Matahari dan Implikasinya Terhadap Penempatan PLTS. *JPII*, 2(6), 354-358. DOI: <https://doi.org/10.14710/jpii.2024.24596>

PENDAHULUAN

Saat ini energi memainkan peranan penting dalam ekonomi global. Dengan semakin meningkatnya

permintaan energi, sementara energi konvensional yang jumlahnya semakin terbatas, harga yang terus mengalami peningkatan serta masalah perubahan iklim dan masalah

lingkungan yang disebabkan, pemanfaatan energi terbarukan sebagai sumber energi alternatif menjadi salah satu yang terus didorong pengembangannya. Salah satu energi terbarukan yang paling populer di dunia saat ini yaitu energi matahari, terutama *photovoltaic* (PV) yang terhubung ke jaringan sistem tenaga listrik meningkat secara dramatis (Tambunan et al., 2020). Sistem PV surya ini menjadi solusi yang sangat kompetitif untuk diaplikasikan baik untuk komersial, industri dan perumahan sebagai sumber energi bersih baik dengan skema terhubung ke jaringan listrik atau pun berdiri sendiri (Romero-Cadaval et al., 2015).

Dalam kebijakan energi nasional Indonesia, menetapkan target sasaran bauran energi sebesar 23% dari energi baru dan terbarukan (EBT) pada tahun 2025 dan mencapai 31% pada tahun 2050. Letak Indonesia yang berada di kawasan khatulistiwa dengan iklim tropis menyebabkan negara ini mendapatkan sinar matahari hampir sepanjang tahun. Kondisi ini menjadi salah satu peluang bagi Indonesia untuk mengembangkan pemanfaatan energi matahari untuk diintegrasikan ke sistem tenaga listrik. Sistem kelistrikan di Jawa menyumbang sekitar 70% dari konsumsi energi listrik nasional. Diharapkan pula, penetrasi di Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Jawa dapat memberikan porsi yang besar untuk pemenuhan target EBT nasional.

PLTS yang memanfaatkan sinar matahari sebagai sumber energi memiliki sifat intermiten yaitu menghasilkan energi listrik dalam jumlah yang fluktuatif. Hal ini dikarenakan pembangkitan PV yang sangat tergantung dari radiasi matahari yang diterima oleh panel surya, sehingga keluaran daya dari PLTS sangat bergantung pada kondisi perubahan cuaca atau awan yang dapat menyebabkan permasalahan baik pada tegangan, frekuensi mau pun kebutuhan *spinning reserve system* (Ebad et al., 2016).

Konversi tenaga surya menjadi tenaga listrik dilakukan dengan bantuan panel fotovoltaik (PV). Daya keluaran dari solar PV sangat bergantung pada beberapa faktor, seperti radiasi sinar matahari, suhu lingkungan bahkan karakteristik dari modul solar PV itu sendiri. Daya keluaran dari solar PV dapat dihitung dengan persamaan (1) (Tripathi et al., 2020).

$$P = PV_{area} \times G_{av} \times TCF \times \eta \quad (1)$$

di mana PV_{area} adalah luas area solar PV (m^2), G_{av} adalah intensitas radiasi matahari (W/m^2), TCF adalah *temperature coefficient factor* (%) dan η efisiensi (%).

Data terkait fluktuasi radiasi matahari di Pulau Jawa masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami pola radiasi matahari dan potensinya dalam pengembangan PLTS di wilayah ini.

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh data-data statistik dan memberikan gambaran dari fluktuasi radiasi matahari dengan berbagai skenario. Radiasi matahari diambil dari beberapa titik lokasi AWS baik

secara independen mau pun secara koinciden. Begitu juga, akan memperlihatkan hubungan antara fluktuasi radiasi matahari dengan variasi jumlah titik lokasi yang dipantau secara bersamaan. Dengan mengetahui data-data statistik dari fluktuasi radiasi matahari, enjinir dapat merencanakan berapa besar kapasitas PLTS dan lokasi penempatannya untuk mendapatkan hasil yang paling optimal namun dampak operasi sistem masih dapat diterima. Diharapkan pula kita dapat merancang kebijakan yang berkelanjutan dan berdampak positif bagi masyarakat dan lingkungan.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan terlebih dahulu pengumpulan data, selanjutnya dilakukan pembersihan data, untuk kemudian diolah datanya sesuai dengan prosedur penelitian yang kami usulkan.

Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data primer radiasi matahari di pulau Jawa yang diambil dari situs AWS rekayasa milik BMKG (Santosa, 2018). Dalam data tersebut tersedia banyak informasi antara lain suhu udara, kelembapan udara, tekanan udara, radiasi matahari, curah hujan, kecepatan angin, suhu air dan ketinggian permukaan air.

Pembersihan Data

Data radiasi matahari tersebut kemudian dikumpulkan pada periode waktu tertentu. Dari data yang tersedia, diperoleh bahwa interval waktu yang digunakan untuk dicuplik ke dalam situs yaitu dominan setiap 10 menit, sehingga interval waktu inilah yang akan digunakan sebagai acuan untuk menghitung fluktuasi radiasi matahari.

Dalam rentang interval waktu 10 menit tersebut, tersedia data maksimum radiasi matahari yang pernah tercapai dan juga data rata-rata radiasi matahari. Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data rata-rata.

Data yang akan diambil hanya data yang interval waktunya 10 menit. Data selain itu akan disisihkan, termasuk data yang duplikasi

Pengolahan Data

Setelah diperoleh data dengan selang waktu 10 menit, maka selanjutnya dapat dihitung perubahan radiasi matahari antara data saat pengamatan dikurangi dengan data sebelumnya. Dapat dituliskan dengan persamaan (2) sebagai berikut.

$$\Delta sr_j = \sum_{\substack{0 \leq i \leq m \\ 0 < j < n}} sr_{avg}(i, j) - \sum_{\substack{0 \leq i \leq m \\ 0 < j-1 < n}} sr_{avg}(i, j-1) \quad (2)$$

di mana Δsr adalah fluktuasi radiasi matahari (W/m^2), sr_{avg} adalah rata-rata radiasi matahari (W/m^2), m adalah jumlah titik lokasi dan n adalah jumlah sampel data.

Selanjutnya untuk kebutuhan informasi fluktuasi perubahan daya keluaran dari PLTS, maka ditetapkan

pembatasan daya maksimum dari PLTS yaitu pada saat radiasi matahari 1000 W/m^2 (Nasution et al., 2020; Amelia et al., 2016). Sehingga persentase fluktuasi dapat dinyatakan dalam persamaan berikut.

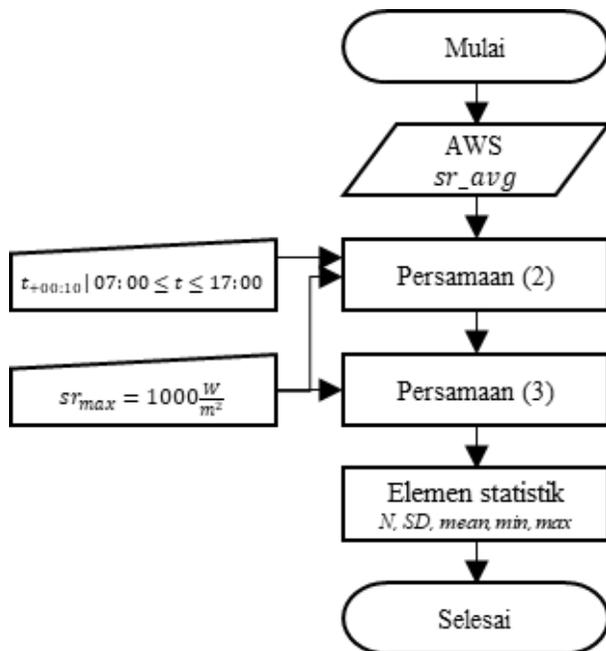
$$\% \Delta sr_j = \frac{\Delta sr_j}{1000} \times 100\% \quad (3)$$

Berdasarkan persamaan (1), dapat dilihat bahwa daya keluaran PLTS berbanding lurus dengan radiasi matahari, sehingga persentase fluktuasi radiasi matahari setara dengan persentase fluktuasi daya keluaran PLTS. Untuk kebutuhan analisis yang membutuhkan data fluktuasi keluaran daya PLTS dapat langsung menggunakan data ini.

Dengan sekian banyak sampel data fluktuasi radiasi matahari, maka dapat diperoleh rangkuman statistik antara lain jumlah populasi, simpangan baku, nilai rata-rata dari seluruh populasi, nilai minimum dan nilai maksimumnya. Hubungan antara fluktuasi radiasi matahari total dengan berbagai variasi jumlah lokasi ditunjukkan dengan menggunakan metode regresi yang nilai keterikatannya dianggap cukup bagus.

Prosedur Penelitian

Secara umum, prosedur penelitian pada naskah ini dapat ditunjukkan pada diagram alir perhitungan sebaran fluktuasi radiasi matahari pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir perhitungan sebaran fluktuasi radiasi matahari

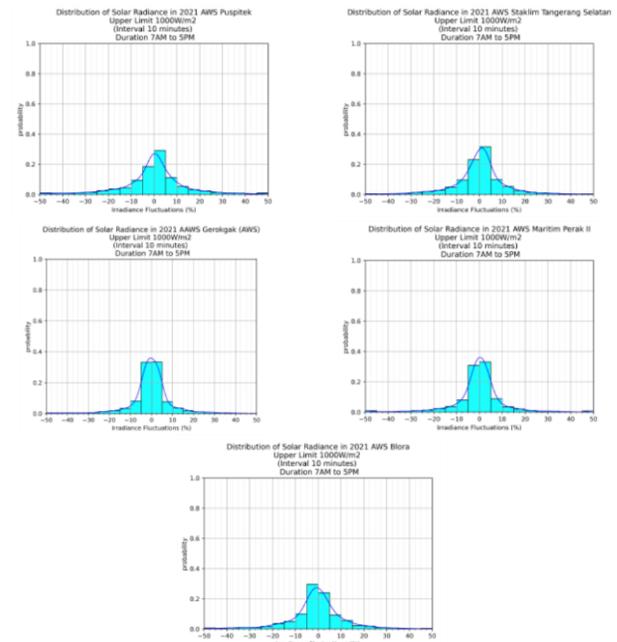
Penelitian dimulai dengan mengumpulkan data radiasi matahari. Data kemudian diperiksa dan dibersihkan untuk menghilangkan nilai yang tidak valid atau tidak sesuai dengan kriteria. Data yang telah dibersihkan, diolah menggunakan persamaan (2) untuk

mendapatkan fluktuasi radiasi matahari. Setelah mendapatkan data fluktuasi, dihitung persentase fluktuasi radiasi matahari. Persentase ini memberikan gambaran tentang variasi intensitas radiasi selama periode tertentu. Data hasil perhitungan kemudian diolah lebih lanjut dengan menghitung parameter statistik seperti nilai rata-rata, deviasi standar dan lain-lain. Informasi parameter tersebut untuk memberikan pemahaman lebih lanjut tentang fluktuasi radiasi. Selain itu, dibuat grafik sebaran distribusi untuk memvisualisasikan pola fluktuasi radiasi matahari.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data fluktuasi radiasi matahari yang dikumpulkan diperoleh sebaran persentase sebagai berikut.

Independen Lokasi Tunggal AWS



Gambar 2. Grafik histogram dan distribusi normal dari fluktuasi radiasi matahari masing-masing titik lokasi secara individu

Tabel 1. Data rangkuman statistik fluktuasi radiasi matahari per titik lokasi

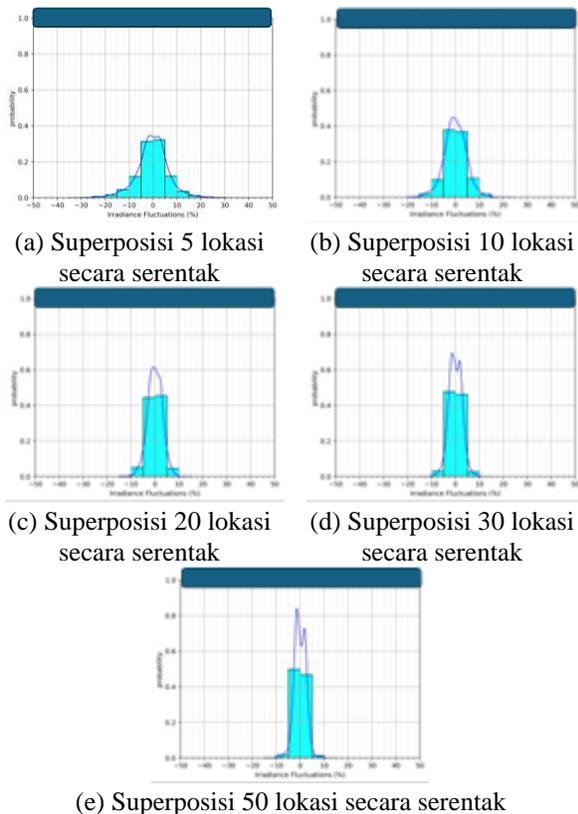
AWS	n	\bar{x}	SD	min	max
Puspitek	4507	-0.1%	15.6%	-93.2%	91.1%
Staklim Tangerang Selatan	4665	-0.1%	12.2%	-72.6%	69.4%
Gerokgak	4231	-0.2%	10.4%	-73.3%	64.7%
Maritim Perak II	4408	-0.2%	13.0%	-100.0%	98.8%
Blora	1375	-0.7%	12.4%	-59.3%	65.1%

Gambar 2 menunjukkan sebaran fluktuasi radiasi matahari dominan pada rentang -5% hingga 5% dengan kemungkinan kejadian antara 0,24 hingga 0,35. Selanjutnya untuk sebaran fluktuasi antara -10% hingga -5% dan 5% hingga 10%, kemungkinan kejadiannya

sebesar 0,7 hingga 0,12. Sementara untuk fluktuasi di bawah -50% atau di atas 50% untuk semua lokasi yang dipantau masih cukup sering terjadi, sebagai contoh pada AWS Puspitek terjadi sebanyak 32 kali dari 4507 sampel data atau sekitar 0.0071 kali.

Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai rata-rata mendekati 0 (nol) atau hanya berkisar -0,7% hingga 0,1%. Ini berarti sebaran fluktuasi jumlah kejadian dan besarnya, baik itu perubahan dari besar ke kecil atau pun sebaliknya cukup berimbang. Untuk nilai simpangan baku berada pada kisaran 10,4% hingga 15,6%. Untuk nilai minimum dan maksimumnya dapat menyentuh limit seperti pada kasus AWS Maritim Perak II dan melebihi ±90% pada kasus AWS Puspitek.

Koinsiden Beberapa Lokasi AWS



Gambar 3. Grafik histogram dan distribusi normal dari fluktuasi radiasi matahari pada beberapa lokasi secara serentak

Tabel 2. Data rangkuman statistik fluktuasi radiasi matahari serentak 5 lokasi

AWS	n	\bar{x}	SD	min	max
5 Titik Lokasi	4717	-0.2%	6.8%	-34.9%	48.1%
10 Titik Lokasi	4771	0.0%	4.7%	-20.5%	23.1%
20 Titik Lokasi	4775	0.0%	3.1%	-13.8%	15.5%

30 Titik Lokasi	4777	0.0%	2.7%	-10.8%	11.1%
50 Titik Lokasi	4776	0.0%	2.4%	-12.8%	11.4%

Sebaran fluktuasi dengan 5 titik lokasi AWS tersebar secara serempak yang ditunjukkan pada Gambar 3, lebih rapat ke tengah jika dibandingkan dengan 1 titik lokasi AWS secara independen yang ditunjukkan pada Gambar 2. Pada grafik histogram dengan 5 titik lokasi pengukuran secara serempak, tidak terdapat fluktuasi yang melebihi ±50%, tidak seperti pada pengukuran tunggal pada masing-masing lokasi AWS yang terdapat fluktuasi melebihi ±50%.

Sebaran fluktuasi hingga ±25% masih terlihat jelas pada Gambar 3(a) dengan 5 titik lokasi AWS. Sementara pada Gambar 3(b) dengan 10 titik lokasi AWS, sebaran fluktuasi yang masih tampak hanya pada rentang hingga ±15%, dan turun menjadi ±10% pada 20, 30 dan 50 titik lokasi AWS seperti ditunjukkan pada Gambar 3(c), (d) dan (e), namun nilai populasinya pada rentang 5-10% yang semakin berkurang seiring penambahan jumlah titik lokasi AWS.

Berdasarkan Tabel 2, semakin banyak jumlah titik lokasi yang tersebar maka nilai simpangan baku semakin kecil. Pada 5, 10, 20, 30 dan 50 titik lokasi AWS, nilai simpangan baku menurun secara berurutan masing-masing sebesar 6,8%; 4,7%; 3,1%; 2,7% dan 2,4%.

Dengan menghitung fluktuasi radiasi matahari pada beberapa lokasi secara bersamaan, menghasilkan besaran fluktuasi menjadi lebih kecil, sehingga jumlah kejadian fluktuasi akan bergeser dan lebih rapat ke nilai persentase fluktuasi yang lebih kecil (terpusat ke tengah). Hal ini terjadi karena perhitungan superposisi dari fluktuasi radiasi matahari pada masing-masing titik lokasi tidak berbanding lurus dengan total kapasitas faktor pembagiannya pada nilai maksimum. Hal ini terlihat pada Gambar 3, yang menunjukkan sebaran fluktuasi semakin menyempit saat semakin banyak titik sebaran lokasi.

KESIMPULAN

Dari hasil simulasi diperoleh bahwa besaran persentase fluktuasi radiasi matahari semakin kecil seiring semakin banyaknya sebaran titik lokasi pengukuran AWS. Hal ini ditunjukkan dengan perbandingan simpangan baku terhadap sampel jumlah titik lokasi, untuk masing-masing sampel jumlah titik lokasi sebagai berikut: 1 titik lokasi dengan simpangan baku 10,4-15,6%; 5 titik lokasi dengan simpangan baku 6,8%; 10 titik lokasi dengan simpangan baku 4,7%; 20 titik lokasi dengan simpangan baku 3,1%; 30 titik lokasi dengan simpangan baku 2,7%; dan 50 titik lokasi dengan simpangan baku 2,4%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada PT. PLN (Persero) dan BMKG dalam hal penyediaan data primer radiasi matahari.

DAFTAR PUSTAKA

- Amelia, A. R., Irwan, Y. M., Leow, W. Z., Irwanto, M., Safwati, I., & Zhafarina, M. (2016). Investigation of the effect temperature on photovoltaic (PV) panel output performance. *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, 6(5), 682-688.
- BMKG. (n. d.). *AWS Rekayasa* [Online]. Available: <http://202.90.199.132/aws-new/>
- Ebad, M., & Grady, W. M. (2016, July). A cloud shadow model for analysis of solar photovoltaic power variability in high-penetration PV distribution networks. In *2016 IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM)* (pp. 1-5). IEEE.
- Nafis, S., Aman, M., & Hadiyono, A. (2015). Analisis Keekonomian Penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Surya pada Sistem Ketenagalistrikan Nias; The Economic Analysis of Solar System Power Plant Implementation in Nias Electrical SYSTEM. *Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan*, 14(2), 83-94.
- Nasution, E. S., Hasibuan, A., Siregar, W. V., & Ismail, R. (2020, September). Solar power generation system design: Case study of north sumatra muhammadiyah university building. In *2020 4rd International Conference on Electrical, Telecommunication and Computer Engineering (ELTICOM)* (pp. 191-194). IEEE.
- PT PLN (Persero). (2021). *Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2021 – 2030*. Jakarta: PT PLN (Persero).
- Romero-Cadaval, E., Francois, B., Malinowski, M., & Zhong, Q. C. (2015). Grid-connected photovoltaic plants: An alternative energy source, replacing conventional sources. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 9(1), 18-32.
- Santosa, S. (2018). *Statistika Hospitalitas: Edisi Revisi*. Yogyakarta: Deepublish.
- Tambunan, H. B., Hakam, D. F., Prahastono, I., Pharmatrisanti, A., Purnomoadi, A. P., Aisyah, S., ... & Sandy, I. G. R. (2020). The challenges and opportunities of renewable energy source (RES) penetration in Indonesia: Case study of Java-Bali power system. *Energies*, 13(22), 5903.
- Tripathi, A. K., Aruna, M., Ray, S., & Parida, S. (2020, January). Laboratory investigation of photovoltaic panel performance under the shaded condition. In *2020 First International Conference on Power, Control and Computing Technologies (ICPC2T)* (pp. 273-276). IEEE.