

ANALISIS KINERJA MODUL SURYA OFF-GRID 200 WP PADA BERBAGAI KONDISI IRADIASI DAN TEMPERATUR UNTUK APLIKASI POMPA AIR PERTANIAN DI WILAYAH NIAS

Nobert Sitorus¹, Abdullah², Aprima Anugerah Matondang³

^{1, 2, 3} Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Medan

Email: nobertsitorus@polmed.ac.id

ABSTRAK

Kinerja sistem fotovoltaik (PV) surya off-grid sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan, terutama iradiasi surya dan temperatur modul. Penelitian ini mengevaluasi kinerja modul surya off-grid 200 Wp pada berbagai kondisi iradiasi dan temperatur untuk aplikasi pompa air pertanian di wilayah Nias. Nias dipilih karena karakteristik iklim tropisnya dengan potensi surya yang tinggi dan keterbatasan akses listrik jaringan. Pengujian eksperimental dilakukan untuk mengukur parameter kelistrikan utama seperti tegangan sirkuit terbuka (Voc), arus hubung singkat (Isc), daya keluaran, dan efisiensi sistem pada berbagai tingkat iradiasi dan temperatur lingkungan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya keluaran PV meningkat sebanding dengan iradiasi, sementara peningkatan temperatur modul menyebabkan penurunan tegangan dan efisiensi keseluruhan. Sistem menunjukkan kinerja yang andal untuk mengoperasikan pompa air submersible, dengan karakteristik operasional yang sangat bergantung pada kondisi iradiasi surya. Temuan ini berkontribusi pada optimalisasi sistem pompa surya off-grid untuk aplikasi pertanian di daerah tropis seperti Nias dan mendukung percepatan adopsi energi terbarukan di Indonesia.

Kata Kunci: Fotovoltaik Surya, Sistem Off-Grid, Iradasi, Temperatur, Pompa Air

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik di Indonesia terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dan perkembangan sektor industri. Namun, ketergantungan pada energi fosil menyebabkan peningkatan emisi gas rumah kaca dan berdampak negatif terhadap kualitas lingkungan serta keberlanjutan sumber daya alam. Energi surya fotovoltaik (PV) muncul sebagai alternatif sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dan andal, terutama untuk sistem off-grid yang tidak bergantung pada jaringan listrik utama [1]. Indonesia, sebagai negara tropis, memiliki potensi radiasi surya yang tinggi sepanjang tahun, yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai aplikasi, termasuk sistem pompa air irigasi pertanian. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa dengan kapasitas 100 Wp di Kabupaten Nias, energi yang dihasilkan dapat mencapai 21.062,57 kWh per tahun dengan faktor kapasitas 24,04% [2]. Namun, kinerja sistem PV sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti iradiasi surya dan temperatur modul [3]. Peningkatan temperatur modul dapat menyebabkan penurunan tegangan keluaran dan efisiensi, sementara peningkatan iradiasi meningkatkan arus hubung singkat dan daya keluaran [4].

Penelitian tentang desain dan evaluasi kinerja modul surya off-grid 200 Wp telah dilakukan oleh [1]. Modul tersebut mengintegrasikan dua panel PV 100 Wp, baterai lithium-ion 100 Ah, pengontrol pengisian MPPT, dan inverter 500 W, yang dirancang untuk tujuan pelatihan energi terbarukan. Hasil pengujian menunjukkan kinerja yang

stabil dengan tegangan PV (Voc 19,8-21,5 V, Isc 4,8-5,4 A) dan pengisian baterai yang efisien [5].

Penelitian tentang optimasi sistem energi terbarukan hibrid yang menggabungkan tenaga surya, angin, dan mikro-hidro telah dilakukan oleh Nainggolan et al. (2026), yang menunjukkan bahwa pendekatan hibrid dapat meningkatkan keandalan pasokan energi di daerah terpencil. Selain itu, penelitian tentang pemantauan lingkungan berbasis mekatronika di Medan oleh [6] menunjukkan pentingnya integrasi teknologi untuk pemantauan kualitas lingkungan secara real-time.

Meskipun demikian, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengevaluasi kinerja modul tersebut pada kondisi lingkungan yang beragam, khususnya untuk aplikasi spesifik seperti pompa air pertanian di daerah terpencil. Pulau Nias dipilih sebagai lokasi studi kasus karena memiliki potensi radiasi surya yang signifikan namun akses listrik yang terbatas, terutama di daerah pedalaman. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja modul surya off-grid 200 Wp di berbagai kondisi iradiasi dan temperatur, serta mengevaluasi kelayakannya untuk aplikasi pompa air pertanian di wilayah Nias.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental kuantitatif dengan pengujian langsung pada sistem PV off-grid 200 Wp. Pengujian dilakukan dengan variasi iradiasi surya dan temperatur lingkungan yang terjadi secara alami di lokasi penelitian. Pendekatan ini sejalan dengan studi eksperimental yang dilakukan oleh [7] dalam pengembangan sistem pengering surya kontinu.

2.2. Subjek Penelitian

Objek penelitian adalah sistem PV off-grid 200 Wp yang terdiri dari:

- Dua panel PV monokristalin 100 Wp (total 200 Wp)
- Baterai lithium-ion 100 Ah, 12 v
- Pengontrol pengisian MPPT (*Maximum Power Point Tracking*)
- Inverter pure sine wave 500 w
- Pompa air submersible DC 12 v

Desain sistem ini mengacu pada penelitian [1] yang telah melakukan evaluasi kinerja modul surya off-grid 200 Wp untuk aplikasi energi terbarukan di Indonesia.

2.3. Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan selama periode tertentu dari pukul 08.00 hingga 16.00 WIB. Parameter yang diukur meliputi:

1. Iradiasi surya (W/m^2) menggunakan pyranometer
2. Temperatur modul PV dan temperatur lingkungan ($^{\circ}\text{C}$) menggunakan termokopel
3. Tegangan sirkuit terbuka (Voc) dan arus hubung singkat (Isc)
4. Tegangan dan arus pada saat pembebanan (pompa air)
5. Daya masukan (Pinput) dan daya keluaran (Poutput)
6. Debit air yang dihasilkan pompa (L/jam)

Daya masukan dihitung dengan mengalikan iradiasi surya dengan luas area panel ($1,3668 \text{ m}^2$), sedangkan daya keluaran diperoleh dari pengukuran $V_{\text{max}} \times I_{\text{max}}$ [4]. Pengaturan sudut kemiringan panel dioptimalkan berdasarkan penelitian [8]) tentang optimasi parametrik sistem energi terbarukan.

2.4. Teknik Analisis Data

Data yang terkumpul dianalisis menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif. Efisiensi sistem dihitung menggunakan persamaan:

$$\eta = (P_{\text{output}} / P_{\text{input}}) \times 100\% \quad (1)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh Iradiasi Surya Terhadap Kinerja PV

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa iradiasi surya di wilayah Nias bervariasi sepanjang hari, dengan nilai tertinggi terjadi pada pukul 11.00-13.00 WIB. Iradiasi yang terukur berkisar antara 200 hingga 950 W/m² tergantung pada kondisi cuaca.

Tabel 1. Pengaruh Iradiasi Terhadap Parameter Kelistrikan PV

Iradiasi (W/m ²)	Voc (V)	Isc (A)	Daya Maks (W)
250	19.2	2.1	32.5
450	20	3.9	62.8
650	20.5	5.2	87.4
850	20.8	6.8	116.7
950	21	7.9	135.4

Hasil pada Tabel 1 menunjukkan bahwa peningkatan iradiasi menyebabkan peningkatan arus hubung singkat dan daya keluaran, sementara tegangan sirkuit terbuka cenderung stabil pada rentang 19-21 V. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa arus PV berbanding lurus dengan iradiasi, sedangkan tegangan relatif konstan [9]. Korelasi antara iradiasi dan daya keluaran menunjukkan koefisien determinasi $R^2 \approx 0,95$, yang mengindikasikan hubungan yang sangat kuat [4].

3.2 Pengaruh Temperatur Terhadap Kinerja PV

Suhu modul PV yang terukur selama pengujian berkisar antara 32°C hingga 52°C, lebih tinggi dari suhu lingkungan (27-34°C). Peningkatan temperatur modul menyebabkan penurunan tegangan yang signifikan, sesuai dengan karakteristik koefisien temperatur negatif pada panel surya [3].

Tabel 2. Pengaruh Temperatur Modul Terhadap Tegangan dan Daya

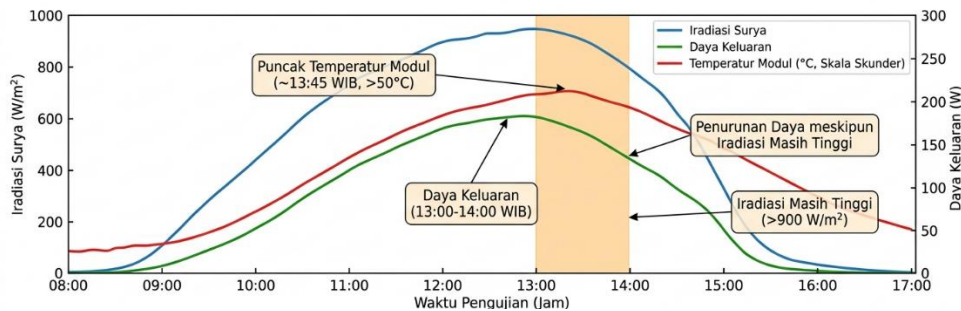
Temperatur (°C)	Temperatur Lingkungan (°C)	Voc (V)	Daya Maks (W)
32	27	21,2	141,8
38	29	20,6	131,5
44	31	19,8	118,2
50	33	19,0	105,4

Hasil pada Tabel 2 menunjukkan bahwa setiap kenaikan temperatur modul sebesar 1°C menyebabkan penurunan tegangan sekitar 0,3-0,4% dan penurunan daya total sekitar 1,5-2%. Temuan ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa peningkatan temperatur modul dapat mengurangi efisiensi secara signifikan, dan pendinginan yang lebih baik dari permukaan modul dapat meningkatkan daya keluaran ([3]).

3.3 Hubungan Iradiasi dan Temperatur Terhadap Kinerja Sistem

Gambar 1 menunjukkan hubungan antara iradiasi surya, temperatur modul, dan daya keluaran PV selama pengujian. Grafik ini menggambarkan bagaimana variasi

kondisi lingkungan mempengaruhi kinerja sistem secara keseluruhan.



Gambar 1. Hubungan Irradiasi Surya, Temperatur dan Modul Keluaran PV

Berdasarkan Gambar 1, terlihat bahwa daya keluaran PV meningkat seiring dengan peningkatan iradiasi surya, namun mengalami penurunan ketika temperatur modul mencapai nilai tertinggi (sekitar pukul 13.00-14.00 WIB). Fenomena ini menunjukkan bahwa meskipun iradiasi masih tinggi, peningkatan temperatur modul menyebabkan penurunan efisiensi konversi energi. Temuan ini mendukung penelitian [8] yang menunjukkan bahwa optimasi sistem energi terbarukan perlu mempertimbangkan faktor lingkungan secara komprehensif

3.4 Kinerja Sistem Pompa Air

Pengujian sistem pompa air submersible yang terhubung langsung ke modul PV (direct-coupled) menunjukkan bahwa debit air sangat bergantung pada iradiasi surya.

Tabel 3. Hubungan Irradiasi, Daya Keluaran dan Debit Air

Irradiasi (W/m^2)	Daya Keluaran (W)	Debit Air (L/jam)	Efisiensi (%)
250	28,4	620	2,4
450	56,7	980	3,6
650	79,3	1.215	4,2
850	108,5	1.530	4,7
950	127,6	1.740	4,8

Debit air yang dihasilkan berkisar antara 620 L/jam pada iradiasi rendah hingga 1.740 L/jam pada iradiasi tinggi. Analisis regresi menunjukkan korelasi yang kuat antara daya keluaran dan debit air ($R^2 \approx 0,92$) [4]. Efisiensi sistem secara keseluruhan meningkat seiring dengan peningkatan iradiasi, mencapai nilai maksimum sekitar 4,8% pada iradiasi 950 W/m^2 . Efisiensi ini lebih rendah dibandingkan efisiensi modul PV (sekitar 15-20%) karena adanya kerugian pada pompa dan sistem [10]

3.4 Evaluasi Kinerja pada Kondisi Tropis Nias

Wilayah Nias yang terletak di daerah tropis dekat khatulistiwa memiliki karakteristik iradiasi yang relatif stabil sepanjang tahun, dengan potensi energi surya yang baik. Hasil penelitian [11] menunjukkan bahwa dengan kapasitas 100 Wp di Kabupaten Nias, energi yang dihasilkan mencapai 21.062,57 kWh per tahun dengan probabilitas 55% dan faktor kapasitas 24,04%. Berdasarkan hasil pengujian sistem 200 Wp, perkiraan energi yang dapat dihasilkan dalam satu hari dengan rata-rata iradiasi 550 W/m^2 selama 5 jam puncak adalah sekitar 0,55 kWh/hari. Dalam satu tahun, energi yang dihasilkan

mencapai sekitar 200 kWh, yang cukup untuk mengoperasikan pompa air untuk irigasi lahan pertanian skala kecil. Kinerja sistem pada kondisi tropis menunjukkan bahwa:

- a) Temperatur lingkungan yang tinggi (rata-rata 28-32°C) menyebabkan temperatur modul mencapai 45-50°C, yang berdampak pada penurunan daya sekitar 15-25% dibandingkan dengan kondisi STC (Standard Test Conditions).
- b) Fluktuasi iradiasi akibat awan dan hujan mempengaruhi stabilitas operasi pompa, namun sistem tetap dapat beroperasi pada iradiasi di atas 200 W/m².
- c) Penggunaan baterai sebagai penyimpan energi diperlukan untuk menjamin kontinuitas operasi pada kondisi iradiasi rendah atau pada malam hari.

Penelitian [12] tentang penyeimbangan beban pada instalasi HVAC menunjukkan pentingnya manajemen beban yang efisien dalam sistem energi. Prinsip ini dapat diterapkan pada sistem pompa air PV untuk mengoptimalkan penggunaan energi yang tersedia.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa:

- a) Kinerja modul surya off-grid 200 Wp di wilayah Nias sangat dipengaruhi oleh iradiasi surya dan temperatur modul. Peningkatan iradiasi meningkatkan arus dan daya keluaran secara linier, sedangkan peningkatan temperatur modul menyebabkan penurunan tegangan dan efisiensi sistem. Temperatur lingkungan tropis di Nias (28-32°C) menyebabkan penurunan daya sekitar 15-25% dibandingkan kondisi standar.
- b) Sistem pompa air yang terhubung langsung dengan modul PV menunjukkan kinerja yang bergantung pada kondisi iradiasi, dengan debit air yang dihasilkan berkisar antara 620-1.740 L/jam. Korelasi antara daya keluaran dan debit air sangat kuat ($R^2 \approx 0,92$). Efisiensi keseluruhan sistem mencapai maksimum 4,8% pada iradiasi tinggi.
- c) Integrasi sistem PV dengan penyimpanan energi (baterai) diperlukan untuk menjamin kontinuitas operasi pompa air, terutama pada kondisi iradiasi rendah atau pada malam hari. Sistem yang diuji memiliki margin keamanan daya yang cukup untuk mengatasi fluktuasi lingkungan.
- d) Sistem PV off-grid 200 Wp layak diterapkan untuk aplikasi pompa air pertanian di wilayah Nias, dengan pertimbangan optimasi sudut kemiringan panel dan pemilihan komponen yang tepat untuk kondisi tropis.

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah melakukan pengujian dalam periode yang lebih panjang untuk memperoleh data yang lebih komprehensif, melakukan pengujian dengan variasi sudut kemiringan panel untuk optimasi [13], serta melakukan analisis ekonomi untuk mengevaluasi kelayakan investasi sistem. Penelitian lebih lanjut juga diperlukan untuk mengintegrasikan sistem pemantauan berbasis mekatronika seperti yang dikembangkan oleh [6] untuk memantau kinerja sistem secara real-time.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Sitorus *et al.*, "Design and Performance Evaluation of a 200 Wp Off-Grid Solar Photovoltaic Module for Renewable Energy in Indonesia," *J. Geosci. Eng. Environ. Technol.*, vol. 10, no. 3, pp. 408–412, Sep. 2025, doi: 10.25299/jgeet.2025.10.3.24981.
- [2] B. Harefa, B. Widodo, S. Stepanus, and R. Purba, "Perhitungan Energi Solar

- Photovoltaic di Wilayah Kabupaten Nias dan Kabupaten Mentawai Dengan Menggunakan Metode Probabilistik,” *Lektrokom J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 3, no. 1, p. 9, Oct. 2020, doi: 10.33541/lektrokom.v3i1.3374.
- [3] A. J. da Silva, A. F. Oliveira, and R. M. Rubinger, “Parametric evaluation of CdTe, CIGS, HIT, and mSi solar modules as a function of temperature and irradiance variation,” *J. Renew. Sustain. Energy*, vol. 17, no. 5, Sep. 2025, doi: 10.1063/5.0289606.
- [4] R. L. Yorlanda *et al.*, “Pengaruh Kapasitas Panel Surya dan Sudut Kemiringan Terhadap Kinerja Sistem PLTS Off GRID 12 Volt,” *Chem. Eng. J. Storage*, vol. 5, no. 05, pp. 729–743, Oct. 2025, doi: 10.29103/cejs.v5i05.23905.
- [5] A. M. Purba *et al.*, “Energy Consumption and Charging Infrastructure Analysis for Electric Bus Deployment in Urban Transportation Systems,” *J. Penelit. Pendidik. IPA*, vol. 12, no. 4, pp. 639–648, Apr. 2026, doi: 10.29303/jppipa.v12i4.11221.
- [6] Z. Zumhari, E. Hutajulu, B. Sibarani, R. Sirait, T. Anggriani, and A. A. Matondang, “Advancing Environmental and Health Pollution Monitoring in Medan, Indonesia: A Mechatronics-Based Meta-Analysis,” *J. Geosci. Eng. Environ. Technol.*, vol. 10, no. 3, pp. 402–407, Sep. 2025, doi: 10.25299/jgeet.2025.10.3.24694.
- [7] Parulian Siagian, Aprima A. Matondang, Andreas V. H. Simanjuntak, Budhi S. Kusuma, Joel Panjaitan, and Andrean V. H. Simanjuntak, “Experimental of Environmental Development Using Continuous Solar Dryer With Solid Dehumidification For Coffee Drying,” *J. Geosci. Eng. Environ. Technol.*, vol. 10, no. 02, pp. 162–169, May 2025, doi: 10.25299/jgeet.2025.10.02.21492.
- [8] R. Nainggolan *et al.*, “Parametric optimization of an axial wind turbine blade for a hybrid renewable energy system integrating solar PV and micro-hydro,” *Sci. Technol. Commun. J.*, vol. 6, no. 3, pp. 385–392, Jun. 2026, doi: 10.59190/stc.v6i3.395.
- [9] R. Afrianti, D. T. Laksono, D. T. Laksono, and ..., “Performance Evaluation of a 250 Wp Solar Photovoltaic Water Pumping System in Tropical Climate: A Case Study in Pangkalan Kerinci, Indonesia,” ... *J. Sci.* ..., vol. 10, no. 01, 2025, [Online]. Available: <https://journal.trunojoyo.ac.id/ijseit/article/view/32508>
- [10] M. W. Lestari and R. Anugrahwy, “Scenario - Based Charging Demand and Load Characterization for Electric Two - Wheeler Systems,” vol. 5, no. 2, pp. 391–401, 2026.
- [11] S. Hardi, A. A. Matondang, and A. H. Rambe, “Modeling of transient caused by lightning strike at Nias high voltage substation using ATP-EMTP case study,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1811, no. 1, p. 012049, Mar. 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1811/1/012049.
- [12] S. Suparmono *et al.*, “Quantitative Assessment of Passive Load Balancing for a Designed HVAC Installation: Case study in Magnificent Hall, Deli Park,” *J. Geosci. Eng. Environ. Technol.*, vol. 10, no. 3, pp. 397–401, Sep. 2025, doi: 10.25299/jgeet.2025.10.3.24696.
- [13] A. Bala, M. Babatunde Alao, A. O. Oyedun, O. Omotayo Alabi, and M. Adamu, “Performance Evaluation of a Solar Photovoltaic (PV) Module at Different Solar Irradiance,” *Int. J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 16, no. 2, pp. 63–75, Jul. 2024, doi: 10.24107/ijeas.1430556.