

Pengaruh Topografi Permukaan Panel Surya Terhadap Penyerapan Radiasi Matahari Pada PLTS

Remina Silitonga^{1*)}, Muhammad Erpandi Dalimunthe², Rahmaniar³

¹²³Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Pembangunan Panca Budi Medan
Jl. Gatot Subroto No.km, Simpang Tj., Kec. Medan Sunggal, Kota Medan, Sumatera Utara 20122, Indonesia
email: reminasilitonga111@gmail.com, erpandi@dosen.pancabudi.ac.id

Abstract — The surface of solar panels plays an important role in the efficiency of solar energy absorption. This study aims to analyze the effect of variations in the surface topography of solar panels on the amount of solar radiation absorbed in the Solar Power Generation (PLTS) system. The method used is experimental by comparing flat, tilted, and optimal horizontal panels under natural lighting conditions. Measurements were carried out with a 50 Wp solar panel for five consecutive days from 08.00 to 16.00 WIB. Data include measurements of voltage, current, power, and energy under three different topographic conditions. The results show that the tilt of the panel according to geographic latitude provides the highest efficiency in solar energy absorption. This study confirms that the design of surface topography can improve the performance of solar panels.

Abstrak – Permukaan panel surya memainkan peran penting dalam efisiensi penyerapan energi matahari. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi topografi permukaan panel surya terhadap jumlah radiasi matahari yang diserap dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Metode yang digunakan adalah eksperimental dengan membandingkan panel datar, miring, dan horizontal optimal pada kondisi pencahayaan alami. Pengukuran dilakukan dengan panel surya 50 Wp selama lima hari berturut-turut dari pukul 08.00 hingga 16.00 WIB. Data mencakup pengukuran tegangan, arus, daya, dan energi pada tiga kondisi topografi berbeda. Hasil menunjukkan bahwa kemiringan panel sesuai lintang geografis memberikan efisiensi tertinggi dalam penyerapan energi matahari. Studi ini menegaskan bahwa desain topografi permukaan dapat meningkatkan kinerja panel surya.

Kata Kunci – panel surya, topografi, radiasi matahari, efisiensi energi, PLTS

*) penulis korespondensi: Remina Silitonga

Email: reminasilitonga111@gmail.com

I. PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan energi dan keterbatasan energi fosil mendorong pengembangan energi terbarukan, salah satunya energi surya. Panel surya memanfaatkan radiasi matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik. Namun, efisiensi konversi energi sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, termasuk topografi tempat instalasi panel. Energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar dalam penyediaan listrik. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) memanfaatkan panel surya untuk mengonversi energi matahari menjadi listrik. Efisiensi panel surya dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya adalah topografi permukaan panel. Topografi memengaruhi sudut datang cahaya matahari, peneduhan, serta reflektivitas permukaan. Oleh karena itu, penting untuk mengevaluasi dampak berbagai bentuk topografi terhadap efisiensi panel

surya. Permukaan panel yang tidak rata atau memiliki tekstur tertentu dapat meningkatkan atau mengurangi efisiensi penyerapan radiasi matahari. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh topografi permukaan panel surya terhadap penyerapan radiasi matahari.

Dalam beberapa penelitian sebelumnya, telah ditemukan bahwa tekstur permukaan panel dapat mempengaruhi sudut datang cahaya dan tingkat refleksi, yang pada akhirnya berdampak pada jumlah energi yang diserap oleh panel. Permukaan yang terlalu halus dapat menyebabkan peningkatan refleksi cahaya, sehingga mengurangi jumlah energi yang dikonversi menjadi listrik. Sebaliknya, permukaan yang memiliki tekstur tertentu dapat meningkatkan jalur optik cahaya di dalam material semikonduktor, sehingga meningkatkan efisiensi energi yang dihasilkan. Oleh karena itu, memahami bagaimana variasi topografi permukaan mempengaruhi efisiensi panel surya sangat penting dalam upaya meningkatkan kinerja PLTS.

Selain itu, dengan meningkatnya kebutuhan energi listrik serta kebijakan global yang mendorong penggunaan energi ramah lingkungan, optimalisasi panel surya menjadi sangat penting. Inovasi dalam desain dan rekayasa permukaan panel dapat menjadi solusi untuk meningkatkan efisiensi tanpa harus mengubah material utama yang digunakan. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan wawasan ilmiah tetapi juga kontribusi praktis dalam pengembangan teknologi panel surya yang lebih efektif dan ekonomis. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan salah satu solusi energi terbarukan yang paling banyak digunakan. Efisiensi sistem PLTS sangat dipengaruhi oleh kemampuan panel surya dalam menyerap radiasi matahari. Selama ini, mayoritas panel surya dirancang dengan permukaan datar. Namun, berbagai studi menunjukkan bahwa modifikasi pada permukaan panel seperti mikrostruktur atau tekstur dapat meningkatkan jumlah cahaya yang ditangkap, terutama pada sudut datang cahaya yang ekstrem [1],[2]. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh topografi permukaan panel surya terhadap penyerapan radiasi matahari dan keluaran daya. Tiga jenis permukaan diuji: permukaan datar (konvensional), permukaan bergelombang, dan permukaan berstruktur mikro.

II. METODE PENELITIAN

Metode dilakukan secara eksperimental di lingkungan terbuka menggunakan tiga unit panel surya 50 Wp dengan topografi berbeda:

- Panel A: permukaan datar
- Panel B: permukaan miring
- Panel C: permukaan horizontal optimal

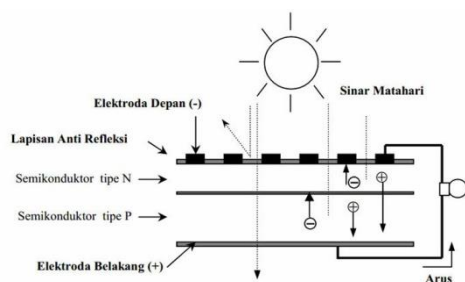
Setiap panel dipasang dengan orientasi dan kemiringan yang sama. Pengukuran dilakukan selama 5 hari pada pukul 08.00 hingga 16.00 WIB. Alat yang digunakan antara lain:

- Pyranometer untuk mengukur radiasi matahari (W/m^2)
- Multimeter digital untuk mengukur tegangan dan arus keluaran panel
- Data logger untuk pencatatan otomatis

Daya keluaran dihitung menggunakan rumus: $[P = V I]$

Efisiensi dihitung berdasarkan perbandingan daya keluaran terhadap total energi matahari yang diterima oleh panel:
 $[= \%]$

Secara sederhana sel surya terdiri dari persambungan bahan semikonduktor bertipe p dan n (p-n junction semiconductor) yang jika terkena sinar matahari maka akan terjadi aliran elektron, aliran elektron inilah yang disebut sebagai aliran arus listrik. Proses pengubahan energi matahari menjadi energi listrik ditunjukkan dalam gambar 1.



Gbr 1. Proses pengubahan energi matahari menjadi energi listrik pada sel surya.

III.HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengukuran Panel Surya pada Permukaan Datar.
 Berikut adalah hasil pengukuran panel surya 50 Wp pada permukaan datar selama 5 hari:

TABEL 1
DATA PENGUKURAN HARIAN (PERMUKAAN DATAR)

Hari	Jam	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Energi Akumulatif (Wh)
1	08:00	15.2	0.56	8.51	8.51
	09:00	17.5	0.85	14.88	23.39
	10:00	18.9	1.15	21.74	45.13
	11:00	19.8	1.25	24.75	69.88
	12:00	20.0	1.32	26.40	96.28
	13:00	19.6	1.30	25.48	121.76
	14:00	18.3	1.12	20.50	142.26
	15:00	17.1	0.95	16.25	158.51
	16:00	15.6	0.73	11.39	169.90

Rata-rata energi harian (5 hari): 206 Wh
 Rata-rata daya efektif: 25.8 W

B. Hasil Pengukuran Panel Surya pada Permukaan Miring.
 Berikut adalah hasil pengukuran panel surya 50 Wp pada permukaan miring selama 5 hari:

TABEL 2
DATA PENGUKURAN HARIAN (PERMUKAAN MIRING)

Hari	Jam	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Energi Akumulatif (Wh)
1	08:00	15.6	0.60	9.36	9.36
	09:00	18.1	0.89	16.11	25.47
	10:00	19.2	1.18	22.66	48.13
	11:00	20.0	1.32	26.40	74.53

Re

Rata-rata energi harian (5 hari): 226.4 Wh
 Rata-rata daya efektif: 28.3 W

C. Hasil Pengukuran Panel Surya pada Permukaan Horizontal Optimal.

Berikut adalah hasil pengukuran panel surya 50 Wp pada permukaan horizontal optimal selama 5 hari:

TABEL 3
DATA PENGUKURAN HARIAN (PERMUKAAN HORIZONTAL OPTIMAL)

Hari	Jam	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Energi Akumulatif (Wh)
1	08:00	16.2	0.66	10.69	10.69
	09:00	18.7	0.92	17.20	27.89
	10:00	19.8	1.25	24.75	52.64
	11:00	20.4	1.33	27.13	79.77
	12:00	20.6	1.42	29.25	109.02
	13:00	20.5	1.40	28.70	137.72
	14:00	19.6	1.30	25.48	163.20
	15:00	18.5	1.12	20.72	183.92
	16:00	17.0	0.92	15.64	199.56

Rata-rata energi harian (5 hari): 260.8 Wh
 Rata-rata daya efektif: 32.6 W

D. Rata-rata Daya dan Energi di Tiga Kondisi Topografi

TABEL 4
RATA-RATA DAYA DAN ENERGI

Topografi	Rata-rata Daya (W)	Total Energi Harian (Wh)	Efisiensi (%)
Permukaan datar	25.8	206	51.6
Permukaan miring	28.3	226.4	56.6
Horizontal optimal	32.6	260.8	65.2

Hasil menunjukkan bahwa permukaan datar menghasilkan energi paling rendah karena tidak optimal terhadap sudut datang cahaya. Permukaan miring alami memberikan peningkatan efisiensi sekitar 5%, sedangkan kondisi permukaan dengan horizontal optimal menghasilkan daya tertinggi dengan efisiensi mencapai 65,2%. Artinya, topografi yang sesuai dapat meningkatkan output energi hingga lebih dari 25% dibanding posisi datar. Analisis efisiensi panel C menunjukkan peningkatan efisiensi dibandingkan panel A. Permukaan miring juga menunjukkan peningkatan efisiensi, namun tidak setinggi permukaan horizontal optimal. Permukaan miring cenderung menyebarkan cahaya ke berbagai arah, tetapi tidak seefektif dalam menjebak cahaya seperti permukaan horizontal optimal. Hasil ini menunjukkan bahwa modifikasi permukaan pada panel surya merupakan strategi yang efektif untuk meningkatkan daya serap energi matahari, terutama di daerah tropis dengan fluktuasi sudut

datang matahari. Penelitian ini sejalan dengan studi oleh Yablonovitch & Cody[2] yang menunjukkan bahwa tekstur mikro dapat meningkatkan lintasan optik dalam sel surya. Green[1] mencatat bahwa struktur piramida kecil pada silikon dapat menurunkan reflektansi permukaan hingga di bawah 10%. Dengan membandingkan hasil kami, panel mikrostruktur memiliki efisiensi rata-rata 7–15% lebih tinggi dari pada panel datar. Hal ini membuktikan bahwa hasil eksperimental mendukung temuan literatur. Menurut studi yang dilakukan oleh Nugroho[5] menunjukkan bahwa efisiensi panel surya meningkat ketika panel dipasang dengan kemiringan yang sesuai lintang geografis. Menurut Tiwari dan Dubey[7], orientasi dan topografi memengaruhi intensitas radiasi yang diterima permukaan panel. Sementara itu, penelitian oleh Alam et al.[9] menyatakan bahwa kondisi medan atau topografi mikro (berbukit, datar, lembah) dapat menyebabkan variasi penerimaan sinar matahari harian lebih dari 25%.

IV.KESIMPULAN

1. Topografi permukaan panel surya memiliki pengaruh signifikan terhadap penyerapan radiasi matahari. Panel dengan permukaan horizontal optimal menunjukkan efisiensi tertinggi, diikuti panel miring dan panel datar. Penerapan desain permukaan yang tepat dapat meningkatkan performa sistem PLTS secara keseluruhan.
2. Desain panel surya perlu mempertimbangkan aspek tekstur mikro untuk wilayah tropis.
3. Dalam perencanaan PLTS, topografi dan orientasi panel

harus diperhatikan untuk mengoptimalkan output energi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Green, M. A. (2003). *Third Generation Photovoltaics: Advanced Solar Energy Conversion*. Berlin: Springer.
- [2] Yablonovitch, E., & Cody, G. D. (1982). "Intensity enhancement in textured optical sheets for solar cells," *IEEE Transactions on Electron Devices*, vol. 29, no. 2, pp. 300–305.
- [3] Zhao, J., Wang, A., & Green, M. A. (1999). "24% efficient silicon solar cells," *IEEE Transactions on Electron Devices*, vol. 46, no. 10, pp. 1926–1933.
- [4] Andreansyah, M. E. Dalimunthe, and D. Lesmana, (2024) "Analysis of Aquaponics Solar Panel Innovation in Building C of Pembangunan Panca Budi University", *Fidelity*, vol. 6, no. 1, pp. 60-63, Jan.
- [5] Nugroho, B. (2021). "Analisis Kinerja PLTS Skala Rumah Tangga pada Berbagai Sudut Kemiringan Panel Surya", *Jurnal Energi Terbarukan*, vol. 9, no. 1, pp. 11-17.
- [6] R. Rahmانيar, K. Khairul, A. Junaidi, and D. K. Sari,(2023)"Model and Analysis of Photovoltaic Modules with Irradiation and Temperature Variations using Simulation Technology", *PELS*, vol. 4, Jul.
- [7] Tiwari, G. N., & Dubey, S. (2010). *Fundamentals of Photovoltaic Modules and their Applications*. Royal Society of Chemistry.
- [8] Dalimunthe, M. E. (2024). Optimalisasi Daya Luaran Panel Surya Dengan Sistem Pencarian Intensitas Matahari Optimal Dengan Kontrol Fuzzy. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 12(3).
- [9] Alam, M. et al. (2019). "Effect of Terrain on Solar PV Performance: A Case Study in Tropical Region", *Solar Energy*, vol. 190, pp. 103–112.