

Analysis of the Efficiency of Solar Power Plants (PLTS) Against Solar Irradiation Using a Solar Power Meter

Analisis Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terhadap Penyinaran Matahari Menggunakan Solar Power Meter

Widia Kamisah, Rahmaniar, Yoffi Andinata

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Pembangunan Panca Budi

e-mails: widiakamisahmentari@gmail.com ; rahmaniar@gmail.com

Received: 24 November 2023; revised: 15 December 2023; accepted: 28 December 2023

Abstract — Efficiency is the comparison between output and input. Likewise for Solar Panels, according to the Standards issued by the Ministry of Energy and Mineral Resources and the requirements for procurement of goods, the efficiency of a 200 Wp Solar Panel is 16%, while a 20 Wp Solar Panel is 12%. This research analyzes the efficiency of the sunlight reception system by using a power measuring instrument on a solar panel called a Solar Power Meter. From the measurement data, it was found that the maximum power on the Solar Panel was 1241 watts/m² while the minimum power was 51.1 watts/m², this happened because the measurements were different, so that in sunny weather the measured power was large, whereas in cloudy or closed weather cloud, the rated power is smaller. Based on these conditions, the light intensity received by the Solar Panel also varies. From the measurements and calculations carried out, the average efficiency of a 200 Wp Solar Panel is 14.88%, this result is different from the standard determined by the Ministry of Energy and Mineral Resources, and the difference in efficiency is 1.12%. The peak power measured was at 11.00.

Key words— Efficiency, Solar Energy, Solar Power Plant

Abstrak — Efisiensi adalah perbandingan antara output yang dan input. Begitu juga untuk Panel Surya, menurut Standart yang dikeluarkan kementerian ESDM dan persyaratan pengadaan barang, efisiensi Panel Surya 200 Wp sebesar 16%, sedangkan Panel Surya 20 Wp adalah 12%. Penelitian ini menganalisis efisiensi tersebut dari sistem penerimaan sinar matahari dengan menggunakan alat ukur daya pada Panel Surya yang disebut Solar Power Meter. Dari data hasil pengukuran diperoleh daya maksimal pada Panel Surya sebesar 1241 watt/m² sedangkan daya minimum 51,1 watt/m², hal ini terjadi karena saat pengukuran yang berbeda, sehingga pada saat cuaca cerah daya yang terukur besar, sedangkan untuk cuaca mendung atau tertutup awan, daya terukur lebih kecil. Berdasarkan kondisi tersebut menyebabkan intensitas cahaya yang diterima Panel Surya juga berbeda-beda. Dari pengukuran dan perhitungan yang dilakukan efisiensi rata-rata pada Panel Surya 200 Wp sebesar 14,88%, hasil ini berbeda dari standart yang ditentukan Kementerian ESDM, dan selisih efisiensi sebesar 1,12%. Puncak daya yang terukur berada pada pukul 11.00.

Kata kunci — Efisiensi, Energi Matahari, Pembangkit Listrik Tenaga Surya.

I. PENDAHULUAN

Energi baru yang diusulkan harus memenuhi standar

berikut: menghasilkan output energi yang substansial, biaya yang terjangkau, dan tidak menimbulkan dampak merugikan terhadap lingkungan. Oleh karena itu, fokus penelitian diarahkan pada pemanfaatan energi surya baik dalam bentuk langsung maupun tidak langsung, serta menganalisis efisiensi panel surya dalam menghasilkan listrik. [1].

Pada penelitian ini menggunakan Panel Surya 200 Wp dengan tipe *Poly Crystalline* seperti yang terlihat pada Gambar 1. *Poly Crystalline* merupakan panel surya yang memiliki struktur kristal banyak dan tak teratur. Dalam proses produksinya, silikon dicairkan kemudian dicetak menjadi lembaran dengan pola kristal tidak beraturan. Jenis panel surya ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan varietas monokristal untuk mencapai daya listrik yang setara [2]. Jenis panel surya ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan varietas monokristal untuk mencapai daya listrik yang setara [3]. Tetapi secara fungsional, saat pencahayaan minim, panel surya ini tetap dapat bekerja meski panel tidak menghadap langsung ke matahari.

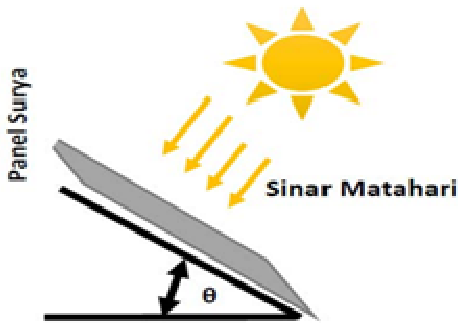
Gambar 2 menunjukkan *solar tracker* yaitu alat untuk mengarahkan panel surya ke matahari. Akan tetapi alat ini harganya mahal dan tidak dapat digunakan untuk PLTS *on grid* [4].

Gambar 3 menunjukkan alat ukur daya matahari tipe SPM-1116SD yang mengukur kerapatan fluks radiasi gelombang pendek matahari (W/m²). [5]

Perencanaan, pengoperasian, dan penelitian sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) bergantung pada pengukuran radiasi ini.



Gambar 1. Panel Surya *Poly-Crystalline*



Gambar 2. Penempatan Kemiringa Modul Surya



Gambar 3. Alat Ukur Solar Power Meter

II. METODE

Untuk memastikan proses berjalan secara sistematis, penelitian dilakukan secara bertahap, seperti yang digambarkan dalam diagram alir pada Gambar 4 [6]. Tahap persiapan, pelaksanaan, dan pengambil kesimpulan merupakan tahapan penelitian.

Pada saat tahap persiapan melakukan studi literatur dan mengumpulkan peralatan yang dibutuhkan terkait penelitian yang dilakukan.

Tahap pelaksanaan dilakukan pada objek penelitian dalam hal ini Panel Surya 200 Wp. Pengukuran, pengujian dan analisis dilakukan pada tahap ini. Data yang diperoleh dan pengujian yang dilakukan menjadi dasar untuk dikembangkan dalam pengolahan data [7].

Tahap mengambil kesimpulan yaitu dimana semua data sudah diperoleh dan dianalisis serta diuji, sehingga diperoleh kesimpulan dari penelitian tersebut.

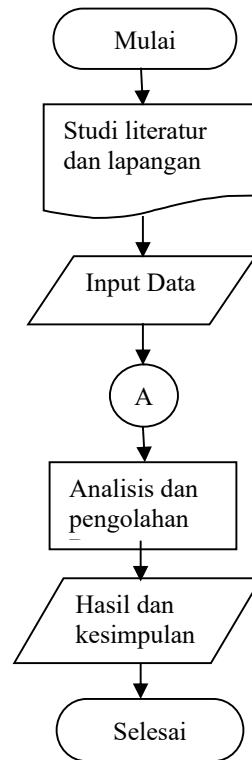
Prosedur pelaksanaan meliputi beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Pengumpulan Data

Data yang diperlukan pada penelitian ini adalah:

- a. Daya input (Pin) diperoleh dari pengukuran intensitas cahaya pada Panel Surya (DC)
- b. Daya output (Pout) adalah pengukuran daya yang dihasilkan dari panel surya sesudah melalui inverter (AC).

Gambar 5 menunjukkan cara kerja sistem panel surya saat pengumpulan data, di mana Pin menunjukkan intensitas cahaya matahari yang diproses oleh panel surya untuk menghasilkan Pout. Cuaca dan kondisi lingkungan di sekitar pembangkit listrik surya memengaruhi efisiensi panel surya [10].



Gambar 4. Alur Penelitian



Gambar 5. Pengukuran Daya Input

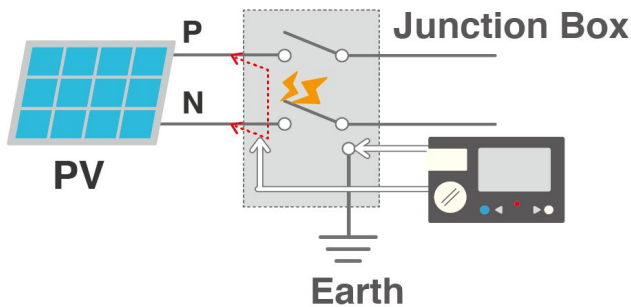
2. Kalibrasi Alat Ukur

Setelah kalibrasi, meter daya surya dipasang dengan aman dan sensor surya ditempatkan di atas panel surya untuk mendapatkan cahaya matahari yang paling banyak. Tujuan kalibrasi adalah untuk mendapatkan data yang paling akurat dan maksimal. [11]

Gambar 6 menampilkan diagram garis tunggal di mana sensor Solar Power Meter ditempatkan pada Panel Surya untuk mendapatkan input yang seragam. Proses pengukuran dilakukan secara manual. [12].

3. Pengukuran

Pengukuran dilakukan selama masa penelitian di laboratorium Teknik Elektro Universitas Pembangunan Panca Budi, dengan meminjam sebagian peralatan yang ada di laboratorium.



Gambar 6. Line Diagram Pengukuran

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Spesifikasi Panel Surya yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 1. [13]. Untuk spesifikasi Solar Power Meter ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 1 dan Tabel 2 menunjukkan spesifikasi peralatan yang digunakan pada penelitian, selanjutnya dari pengukuran pada Panel Surya yang dilakukan diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 3 merupakan data hasil pengukuran pada tanggal 09 Juli 2023, pengambilan data dimulai pada pukul 08.00 s/d 16.00. Dari tabel dapat terlihat bahwa pada saat pukul 08.00, Intensitas Cahaya masih kecil, sehingga daya output (P_{out}) yang dihasilkan juga kecil. Puncak Intensitas cahaya terlihat pada pukul 09.00, 10.00 dan 11.00 dimana pada saat ini Panel Surya mendapatkan sinar matahari secara maksimal. Selanjutnya Intensitas Cahaya mulai menurun kembali pada pukul 15.00 dan 16.00 hal ini terjadi karena sinar matahari sudah tidak lagi maksimal dalam menyinari Panel Surya [14]. Kondisi ini dapat kita lihat pada gambar 7.

Selanjutnya pengukuran dilakukan kembali pada tanggal 11 Juli 2023 dengan hasil seperti pada tabel 4. Pada Tabel 4 terlihat pengukuran dimulai pada pukul 08:00 tetapi tidak ada data yang terbaca, hal ini karena pada saat itu cuaca hujan, dan data kembali terbaca pada pukul 09.00 s/d 14.00, ini terjadi karena cuaca kembali cerah. Dari data ini terlihat bahwa kinerja PLTS sangat tergantung kondisi cuaca/alam [15]. Dan kondisi ini dapat dilihat pada gambar 8:

Dari data pengukuran seperti yang tertera pada tabel 3 dan 4, dapat dicari efisiensi dari Panel Surya.

$$\text{Dimana: } \eta = \text{Efisiensi} = \frac{P_{Out}}{P_{In}} \times 100\%$$

Sementara Daya input (P_{in}) dalam satuan Watt adalah:

$$P_{in} = G \times A$$

Dimana:

G = Intensitas (P_{in} terukur) dalam satuan W/m^2

A = Luas penampang Panel Surya

Maka untuk mencari harga-harga tersebut terlebih dahulu diukur luas panel surya sebagai berikut:

$$\text{Luas} = \text{Panjang} \times \text{Lebar}$$

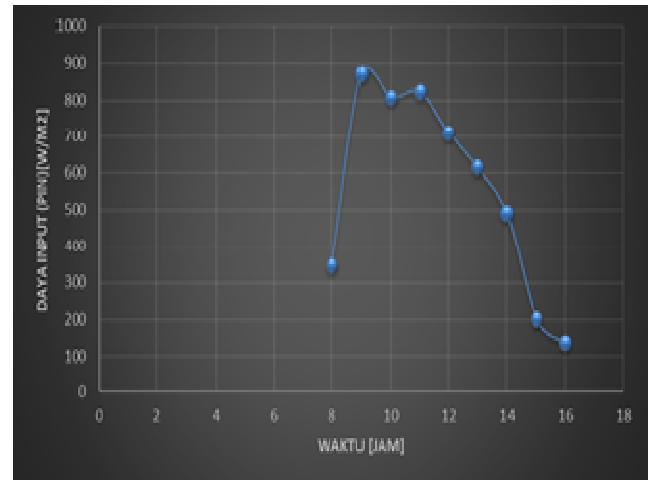
$$\text{Luas} = 1,485 \times 0,668 = 0,99 \text{ m}^2$$

$$0,99198 \times 22 \text{ (Jumlah Panel)} = 21,82 \text{ 99 m}^2$$

Maka untuk menentukan P_{in} (watt) pada Solar Power Meter

sebagai berikut:

$$P_{in} = G \times A$$



Gambar 7. Grafik Daya Input Terukur pada Waktu Tertentu

$$P_{in} = 345,3 \times 21,82356 = 7535,67 \text{ watt}$$

Maka efisiensi PLTS dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1) berikut:

$$\eta = \text{Efisiensi} = \frac{P_{Out}}{P_{In}} \times 100\% \quad (1)$$

Dengan mensubstitusikan angka P_{in} dan P_{out} pada tabel 3 saat pukul 08.00, maka diperoleh efisiensi sebesar:

$$\text{Efisiensi} = \frac{1030}{7535,675268} \times 100\% = 13,66\%$$

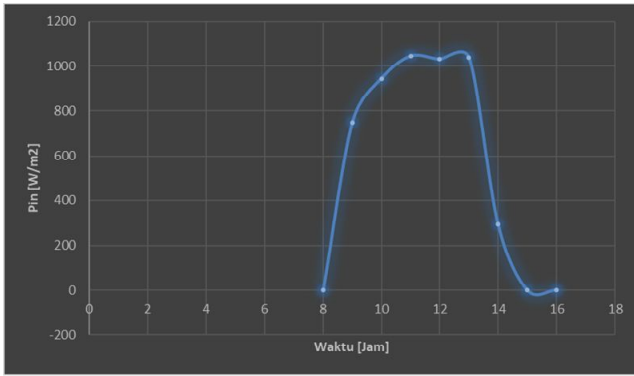
Tabel 5 menjelaskan data hasil pengukuran dan perhitungan sesuai dengan contoh perhitungan, dan hasil diperoleh dengan melakukan perhitungan yang sama.

Begitu juga yang dilakukan terhadap data pada tabel 4, dan hasil pengukuran dan perhitungan dapat dilihat pada tabel 6

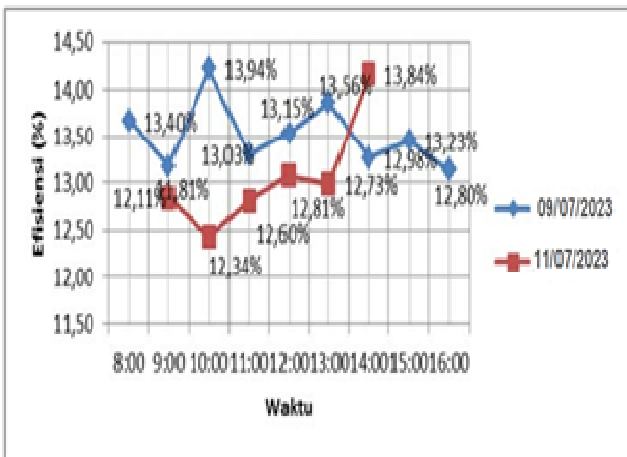
Tabel 6 menunjukkan hasil perhitungan tanggal pada 11 Juli 2023, yang dimulai pada pukul 08:00 hingga 16:00. Hasil P_{in} (watt) dan hasil efisiensi telah diperoleh. Namun, seperti yang ditunjukkan dalam tabel, tidak ada data yang diukur pada pukul 08:00, 15:00, dan 16:00 karena cuaca hujan.

Selanjutnya dari kedua tabel hasil pengukuran tersebut dapat dilihat grafik waktu/jam terhadap efisiensi pada gambar 9. Dari grafik tersebut dapat terlihat bahwa efisiensi tidak sama pada setiap jam-nya. Hal tersebut dipengaruhi oleh lokasi panel yang dikelilingi bangunan, sehingga sinar matahari tidak dapat menyinari secara maksimal, selain itu faktor cuaca juga menentukan besar intensitas cahaya pada panel surya.

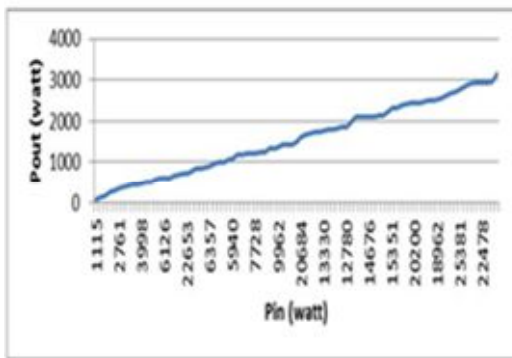
Selanjutnya, Gambar 10 menunjukkan hubungan nilai P_{in} terhadap P_{out} . Ini menunjukkan bahwa, meskipun ada beberapa titik yang naik atau turun, perubahan P_{in} terhadap P_{out} berbanding lurus. Hal ini menunjukkan bahwa karena efisiensi panel, daya P_{out} keluar fotovoltaik lebih kecil daripada intensitas cahaya P_{in} .



Gambar 8. Grafik Pin Terukur Pada Waktu Tertentu



Gambar 9. Grafik Waktu Terhadap Efisiensi



Gambar 10. P in Terhadap P out

TABEL I
SPESIFIKASI PANEL SURYA

Maximum Power (W)	150 W
Optimum Power Voltage (Vmp)	18,61 V
Optium Operating Current (Imp)	8,06 A
Open Circuit Voltage (Voc)	22,19 V
Short Circuit Current (Isc)	8,62 A
Cell Efficiency	17,46 %
Module Efficiency	15,12 %
Tolerance Wattage	0~+3 %
NOCT	47°C +/-2°C

TABEL II
SPESIFIKASI SOLAR POWER METER SM206

Esolusi	0.1W / M ² , 0.1Btu / (ft ² -h)
Kisaran Kesalahan	± 10W / M ² ; ± 3Btu / (ft ² -h) atau ± 5% dari nilai yang diukur
Error Suhu	± 0.38W / M ² / °C; ± 0.12Btu / (ft ² -h) / °C; deviasi pada 25 ° C
Tampilan	3-3 / 4 layar LCD, maksimum ditampilkan nilai numerik 3999

TABEL III
DATA PENGAMATAN DAYA INPUT DAN OUTPUT

Tanggal	Waktu	P in (Watt/m ²)	P out
9/7/2023	08.00	345,3	1010
9/7/2023	09.00	872,9	2250
9/7/2023	10.00	808,7	2460
9/7/2023	11.00	823	2340
9/7/2023	12.00	711	2040
9/7/2023	13.00	614,8	1820
9/7/2023	14.00	490,6	1390
9/7/2023	15.00	200,9	580
9/7/2023	16.00	136	380

TABEL IV
DATA PENGAMATAN 11/7/2023

Tanggal	Waktu	P in (Watt/m ²)	P out
11/7/2023	08.00	-	-
11/7/2023	09.00	749	1980
11/7/2023	10.00	943,4	2540
11/7/2023	11.00	1044	2870
11/7/2023	12.00	1030	2880
11/7/2023	13.00	1037	2880
11/7/2023	14.00	291,3	880
11/7/2023	15.00	-	-
11/7/2023	16.00	-	-

TABEL V
DATA HASIL PERHITUNGAN
9/7/2023

Tanggal	Waktu	Luas 22 Panel	Pin (Watt/m ²)	Pin (Watt)	P out (Watt)	Efisiensi (%)
09/7/2023	08.00	21,82356	345,3	7535,675268	1030	13,67
09/7/2023	09.00	21,82356	872,9	19049,78552	2510	13,18
09/7/2023	10.00	21,82356	808,7	17648,71297	2510	14,22
09/7/2023	11.00	21,82356	823	17960,78988	2390	13,31
09/7/2023	12.00	21,82356	711	15516,55116	2100	13,53
09/7/2023	13.00	21,82356	614,8	13417,12469	1860	13,86
09/7/2023	14.00	21,82356	490,6	10706,63854	1420	13,26
09/7/2023	15.00	21,82356	200,9	4384,353204	590	13,46
09/7/2023	16.00	21,82356	136	2968,00416	390	13,14

TABEL VI
 DATA HASIL PERHITUNGAN
 11/7/2023

Tanggal	Waktu	Luas 22 Panel	P in (Watt/m ²)	P in (Watt)	P out (Watt)	Efisiensi (%)
11/7/2023	08.00	21,82356	0	0	1390	-
11/7/2023	09.00	21,82356	749	16345,84644	2100	12,85
11/7/2023	10.00	21,82356	943,4	20588,3465	2560	12,43
11/7/2023	11.00	21,82356	1044	22783,79664	2920	12,82
11/7/2023	12.00	21,82356	1030	22478,2668	2940	13,08
11/7/2023	13.00	21,82356	1037	22631,03172	2940	12,99
11/7/2023	14.00	21,82356	291,3	6357,203028	900	14,16
11/7/2023	15.00	21,82356	0	0	400	-
11/7/2023	16.00	21,82356	0	0	220	-

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian dan analisis yang dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut: kinerja panel surya dipengaruhi oleh faktor cuaca dan kondisi panel tersebut. Intensitas cahaya tergantung dari nilai daya input per luasnya panel surya, dengan kata lain, besar panel surya mempengaruhi Intensitas cahaya. Untuk panel surya tipe Poly Crystalline, semakin luas permukaan panel surya, semakin tinggi intensitas cahaya pada panel tersebut. Secara umum efisiensi panel surya terbaik adalah pada saat matahari menyinari dengan maksimal, yaitu berkisar pada jam 09.00 s/d 12.00. Sedangkan pada pukul 13.00 s/d 16.00, intensitas cahaya mulai menurun kembali, selain sinar matahari yang diperoleh sudah tidak maksimal, faktor lain seperti tata letak panel surya dan kondisi cuaca serta adanya bayangan yang menutupi permukaan panel, menjadi sebab turunnya efisiensi panel surya.

V. KUTIPAN

[1] A. Woyte, M. Richter, D. Moser, S. Mau, N. Reich, and U. Jahn, "Monitoring of photovoltaic systems: good practices and systematic analysis," in *Proc. 28th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, 2013, pp. 3686–3694.

[2] A. H. Algarni and M. H. Mohamed, "ON-GRID PERFORMANCE AND ECONOMIC ANALYSIS OF A SOLAR ENERGY PLANT FOR KING ABULAZIZ AIRPORT LOADS," 2022.

[3] A. Mellit and A. M. Pavan, "A 24-h forecast of solar irradiance using artificial neural network: Application for performance prediction of a grid-connected PV plant at Trieste, Italy," *Sol. energy*, vol. 84, no. 5, pp. 807–821, 2010.

[4] V. Raghunathan, A. Kansal, J. Hsu, J. Friedman, and M. Srivastava, "Design considerations for solar energy harvesting wireless embedded systems," in *IPSN 2005. Fourth International Symposium on Information Processing in Sensor Networks, 2005.*, IEEE, 2005, pp. 457–462.

[5] F. Golestaneh, P. Pinson, and H. B. Gooi, "Very short-term nonparametric probabilistic forecasting of renewable energy generation—With application to solar energy," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 31, no. 5, pp. 3850–3863, 2016.

[6] E. K. A. Fatoni, A. Taqwa, and R. Kusumanto, "Solar Panel Performance Improvement using Heatsink Fan as the Cooling Effect," in *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing, 2019, p. 12031.

[7] B. Harianto and M. Karjadi, "Planning of Photovoltaic (PV) Type Solar Power Plant as An Alternative Energy of the Future in Indonesia," *ENDLESS Int. J. Futur. Stud.*, vol. 5, no. 2, pp. 182–195, 2022.

[8] F. Wang, Z. Zhen, Z. Mi, H. Sun, S. Su, and G. Yang, "Solar irradiance feature extraction and support vector machines based weather status pattern recognition model for short-term photovoltaic power forecasting," *Energy Build.*, vol. 86, pp. 427–438, 2015.

[9] A. Lenert and E. N. Wang, "Optimization of nanofluid volumetric receivers for solar thermal energy conversion," *Sol. Energy*, vol. 86, no. 1, pp. 253–265, 2012.

[10] I. Nusantara, N. R. Alham, H. Nugroho, and R. M. Utomo, "Design for Application of Solar Power Plant in the Faculty of Engineering Mulawarman University," in *International Conference of Tropical Studies and its Applications (ICTROPS 2022)*, Atlantis Press, 2023, pp. 64–79.

[11] S. Samsurizal, N. Pasra, and S. R. Adewijaya, "Design And Simulation Of Solar Power Generation On Rooftops Towards Clean Technology," *Eksergi*, vol. 19, no. 2, pp. 55–60, 2023.

[12] S. Ozdemir and G. Sahin, "Multi-criteria decision-making in the location selection for a solar PV power plant using AHP," *Measurement*, vol. 129, pp. 218–226, 2018.

[13] C. P. Castillo, F. B. e Silva, and C. Lavalle, "An assessment of the regional potential for solar power generation in EU-28," *Energy Policy*, vol. 88, pp. 86–99, 2016.

[14] A. Mokri, M. A. Ali, and M. Emziane, "Solar energy in the United Arab Emirates: A review," *Renew. Sustain. energy Rev.*, vol. 28, pp. 340–375, 2013.

[15] E. H. Adeh, S. P. Good, M. Calaf, and C. W. Higgins, "Solar PV power potential is greatest over croplands," *Sci. Rep.*, vol. 9, no. 1, p. 11442, 2019.