MUSTEK ANIM HA Vol. 12, No. 01, April 2023
ISSN: 2089-6697, e-ISSN: 2354-7707

ANALISIS EXERGY TERHADAP UNJUK KERJA PANEL SURYA TIPE MONOCRYSTALINE 50 WATT

Nurjannah Yusman[1)], Dinar Rezky Pratama[2)], Farid Sariman[3)], Daniel Parenden[4)], Mustofa[5)], Hariyanto Hariyanto[6)]
[1,2,3,4,6)]Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik – Universitas Musamus
[5)]Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik – Universitas Tadulako
e-mail : nurjannah@unmus.ac.id

Abstrak

Energi Surya adalah energi yang ramah lingkungan dan sangat potensial untuk dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari. Salah satu pemanfaatannya dengan menggunakan panel surya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis exergy terhadap unjuk kerja panel surya tipe monocrystaline 50 watt. Metode yang digunakan adalah analisis teoritis untuk mengetahui besar exergy yang dihasilkan oleh panel surya. Pengujian dilakukan langsung dibawah sinar matahari dengan sudut datang matahari tegak lurus dengan permukaan panel surya. Performa dari panel surya dianalisis dengan mengambil data arus, tegangan, daya dan efesiensi sebagai data awal untuk melakukan analisis exergy. Hasil analisis perhitungan menunjukan bahwa peningkatan intensitas penyinaran matahari akan meningkatkan exergy keluaran dan exergy input namun menghasilkan rugi-rugi exergy yang lebih besar daripada exergy termal dan exergy listrik yang dihasilkan. Tegangan yang dihasilkan cukup baik dan konstan, namun arus yang dihasilkan kurang optimal dan masih fluktuatif. Arus dan tegangan sangat mempengaruhi daya keluaran, Efisiensi energi yang dihasilkan jauh lebih kecil dan berfluktuasi, berkisar antara 9 % hingga 10.87%. Sebaliknya, efisiensi exergy cukup besar dan berfluktuasi berkisar antara 24,21% hingga 43,48%.

Kata Kunci: Exergy, Energy, Efesiensi, monokristalin

Abstract

Solar energy is environmentally sustainable energy that has the potential to be utilized in daily life. Among its applications is the use of solar panels. This study intends to examine the exergy of the efficacy of 50-watt monocrystalline solar panels. To determine the quantity of exergy produced by solar panels, theoretical analysis is utilized. The test was conducted immediately under the sun with the incidence angle perpendicular to the solar panel's surface. To analyze the performance of solar panels, initial data consisting of current, voltage, power, and efficiency are used to execute exergy analysis. The results of the calculation analysis indicate that an increase in the intensity of solar radiation will increase both the output and input exergy, but will result in exergy losses that are greater than the resultant thermal and electrical exergy. The resultant voltage is quite excellent and constant, but the current is not optimal and continues to fluctuate. Current and voltage have a significant impact on output power. The resulting energy efficiency is significantly lower and fluctuates between 9 and 10.87%. In contrast, exergy efficiency is quite variable, ranging between 24.21% and 43.48%.

Keywords*: Exergy, Energy, Efficiency, monocrystalline*

PENDAHULUAN

Energi matahari merupakan salah satu energi yang melimpah dan ramah lingkungan. Energi ini memberikan kontibusi yang sangat besar bagi lingkungan dalam hal menekan peningkatan karbon dan polusi udara [1]. Karbon dan polusi udara yang meningkat ditimbulkan karena tingginya pemakaian energi konvensional yaitu Bahan Bakar Minyak (BBM) [2]. BBM tidak hanya mempunyai nilai jual yang mahal tapi perlahan-lahan juga akan habis, Oleh karena itu semua negara didunia terus menerus berupaya untuk mendorong bauran energi terbarukan. Salah satu energi terbaruskan yang sangat potensial adalah energi matahari. Energi matahari dapat dikonversi secara langsung menjadi energi listrik dengan menggunakan Panel Surya [2], [3]. Panel Surya saat ini sedang menjadi topik hangat dalam penelitian. Prinsip dasar dari sel surya adalah efek fotolistrik. Efek fotolistrik ini sendiri sudah mulai diteliti sejak

tahun 1839 hingga akhirnya pada tahun 1959 Bell Laboratory mengembangkan dan mempublikasikan sel surya pertama yang terbuat dari silikon dengan efisiensi 6% yang kemudian dengan cepat berkembang hingga memiliki efisiensi 10% [4]. Permasalahan utama yang terdapat pada sel surya adalah efisiensi dari sel surya yang cukup kecil, dibandingkan dengan pembangkit listrik dari sumber lainnya. Efisiensi Sel Surya yang dikomersilkan saat ini hanya berkisar 10-15%, dengan rekor efisiensi terbesar dalam skala laboratorium sebesar 39% [5]. Besar efesiensi juga dipengaruhi oleh jenis material sel surya yang digunakan. Setiap material sel surya mempunyai kelebihan dan kekurangan, pemilihan jenis sel surya yang tepat untuk dipasang pada suatu daerah sangat mempengaruhi kinerja dari sel surya tersebut [1], [6], [7]. Pada Tahun 2022 Yakobus Kogoya telah melakukan penelitian tentang analisis unjuk kerja panel surya tipe monocrystaline 50 watt hasilnya menunjukkan bahwa perubahan intensitas matahari mempengaruhi nilai tegangan, arus dan daya keluaran dari panel surya. Nilai tegangan meningkat seiring meningkatnya nilai intensitas matahari. Data pengujian menunjukan nilai rata-rata dalam pengambilan data sebulan dengan nilai tegangan 20.68 V, arus 1.95 A, daya 40.37 W dan efesiensi sebesar 9%. Sementara hasil terbaik ditunjukan pada hari ke-10 dengan nilai tegangan 21.30 V, arus 2.24 A, daya 47.71 W dan efesiensi sebesar 11.01%. Analisis kinerja sel PV juga telah dilakukan oleh, [8]–[15] yang menunjukkan daya keluaran dan efisiensi sangat bergantung pada suhu sel dan penyinaran matahari. Mereka melakukan pemodelan dan simulasi untuk melihat pengaruh variasi intensitas dan suhu sel yang diinputkan, namun dalam penelitian tersebut tidak menggambarkan energi yang hilang akibat proses tidak diperlihatkan dan dijelaskan. Kehilangan energi ini dapat kita ketahui dengan mengembangkan konsep exergy dalam analisis Termodinamika Hukum II, energi yang hilang dari sistem dihubungkan dengan proses termodinamika yang terjadi pada sistem PV dapat kita ketahui informasinya [16]–[18]. Hukum kedua termodinamika menjelaskan bahwa entropi total dari sistem termodinamika terisolasi cenderung meningkat dengan waktu, mendekati nilai maksimumnya. Efisiensi exergy dinyatakan sebagai selisih energi listrik dan energi panas dalam bentuk usaha maksimum yang dilakukan oleh suatu sistem termodinamika ketika mengalami proses reversibel yang mengarahkan sistem ke keadaan seimbang dengan lingkungannya [19]–[20]. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui besar nilai exergy terhadap unjuk kerja panel surya tipe monocrystaline 50 watt. Nilai exergy yang telah diketahui dapat mengambarkan besar nilai energi yang hilang dan kesetimbangan energi yang terjadi pada sel surya.

METODE PENELITIAN

Penelitian yang digunakan merupakan jenis penelitian analisis teoritis dan statistik deskriptif untuk menvisualisasi data. Dimana penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besar nilai exergy terhadap pengaruh intensitas cahaya matahari yang dihasilkan oleh panel surya. Penelitian dilakukan dengan menganalisa parameter spesifikasi data dari panel surya yang digunakan beserta hasil pengambilan data lapangan selama 1 Bulan. Data tersebut kemudian diolah denga perhitungan analisis exergy. Hasil olahan data akan ditunjukan dalam bentuk tabel dan grafik.

Daya listrik yang dihasilkan sel surya ketika mendapat cahaya diperoleh dari kemampuan perangkat sel surya tersebut untuk memproduksi tegangan ketika diberi beban dan arus melalui beban pada waktu yang sama. Kemampuan ini dapat direpresentasikan dalam kurva arus-tegangan (I-V). Ketika sel dalam kodisi short circuit, arus maksimum atau arus short circuit (I_{sc}) dihasilakan, sedangkan pada kondisi open circuit tidak ada arus yang dapat mengalir sehingga tegangannya maksimum. Disebut

tegangan open-circuit (V_{oc}). Exergy didefinisikan sebagai jumlah kerja maksimum yang dapat dilakukan oleh suatu sistem atau aliran materi atau energi ketika mencapai kesetimbangan dengan lingkungan referensi.

Table 1. Spesifikasi Panel Surya Monokristalin % 50 Watt

Parameter	Value
Daya Maksimum (P)	50 W
Tegangan Daya Maksimum (V_{mp})	18.57 V
Arus Daya Maksimus (I_{mp})	2.69 A
Tegangan Rangkaian Terbuka (V_{oc})	22.64 V
Arus Hubung Singkat (I_{sc})	2.88 A
Dimensi Panel Surya (L*W*H)	50*50*4
Material: *monocristallyne* (m-Si)	
Electrical specifications at standard test conditions; irradiance of 1000 W/m2, spectrum of 1.5 air mass and cell temperature of 25°C.	

Analisis Exergi adalah teknik yang menggunakan prinsip konversi massa dan konversi energi bersama dengan hukum kedua termodinamika untuk analisis, desain, dan perbaikan sistem energi dan sistem analog lainnya [21]. Analisis energi pada sel surya dapat diketahui dengan menghitung arus, tegangan, daya keluaran dan efisiensi yang dihasilkan. Daya keluaran listrik sel surya dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$P = V \cdot I \tag{1}$$

di mana P adalah daya keluaran (W), V adalah tegangan keluaran (V) dan I adalah arus keluaran (A). Sedangkan efisiensi solar cell dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\eta_E = \frac{V \cdot I}{G \cdot A} \tag{2}$$

dimana G adalah radiasi matahari (W/m^2) dan A adalah luas permukaan sel surya (m^2). Analisis exergy meliputi pertimbangan kualitas atau kemampuan energi. Neraca exergy pada modul surya dapat dituliskan sebagai :

$$Ex_{in} = Ex_{out} + Ex_{loss} \tag{3}$$

Dimana Ex_{in} adalah energi masuk, Ex_{out} adalah exergy keluar dan + Ex_{loss} adalah exergy yang hilang. Exergy yang masuk ke sel surya hanya mencakup exergy intensitas radiasi matahari yang dinyatakan dengan persamaan:

$$Ex_{in} = GA\left[1 - \frac{4}{3}\left(\frac{T_a}{T_s}\right) + \frac{1}{3}\left(\frac{T_a}{T_s}\right)^4\right] \tag{4}$$

dimana T_a adalah suhu sekitar (K), T_s adalah suhu terukur (K) saat permukaan sel surya terkena sinar matahari. Sedangkan exergi eksternal pada sel surya dapat dihitung dengan persamaan:

$$Ex_{out} = Ex_{th} + Ex_{elec} \tag{5}$$

Dimana Ex_{th} adalah exergi termal dan Ex_{elec} adalah exergi listrik. Exergy termal dinyatakan sebagai kehilangan panas dari permukaan modul ke lingkungan yang dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Ex_{th} = Q\left[1 - \frac{T_a}{T_m}\right] \tag{6}$$

Dimana Q adalah kalor yang dilepaskan ke lingkungan, yaitu:

$$Q = UA(T_a - T_m) \tag{7}$$

T_a dan T_m adalah suhu sekitar (K) dan suhu modul (K). Koefisien kehilangan panas keseluruhan untuk modul mencakup kehilangan perpindahan panas konveksi dan radiasi, dan dihitung menggunakan persamaan:

$$U = h_{conv} - h_{rad} \tag{8}$$

Koefisien perpindahan panas konveksi dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$h_{conv} = 2.8 + 3.0\ V_w \tag{9}$$

Koefisien perpindahan panas radiasi dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$h_{rad} = \varepsilon\sigma(T_{sky} - T_m)(T_{sky}^2 - T_m^2) \quad (10)$$

dimana suhu efektif langit adalah:

$$T_{sky} = T_{sky} - 6$$

Suhu modul dapat dihitung berdasarkan nilai NOCT, yaitu:

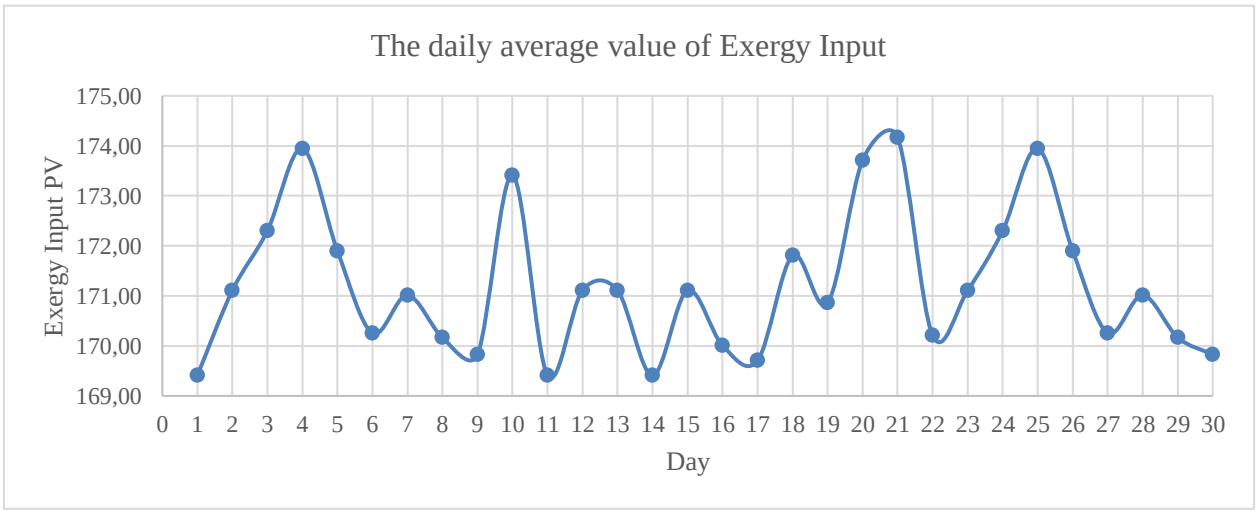
$$T_m = T_a + (NOCT - 20) \cdot \frac{G}{800} \quad (11)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian pengambilan data lapangan telah dilakukan pengujian secara langsung pada prototipe yang sudah dibuat. Prototipe berupa rangka dudukan yang telah diberi roda agar mudah dipindahkan kemana saja. Kemudia panel surya diletakkan diatas rangkadengan kemiringan sudut 45°C dan diatur tegak lurus dengan cahaya matahari. Adapun parameter yang diukur diantaranya : Intensitas cahaya; arus dan tegangan. Analisa data yang dipakai mengunakan metode analitik dengan mengumpulkan parameter data dan menghitung besaran dengan menggunakan persamaan daya dan efesiensi dari sebuah solar cell.

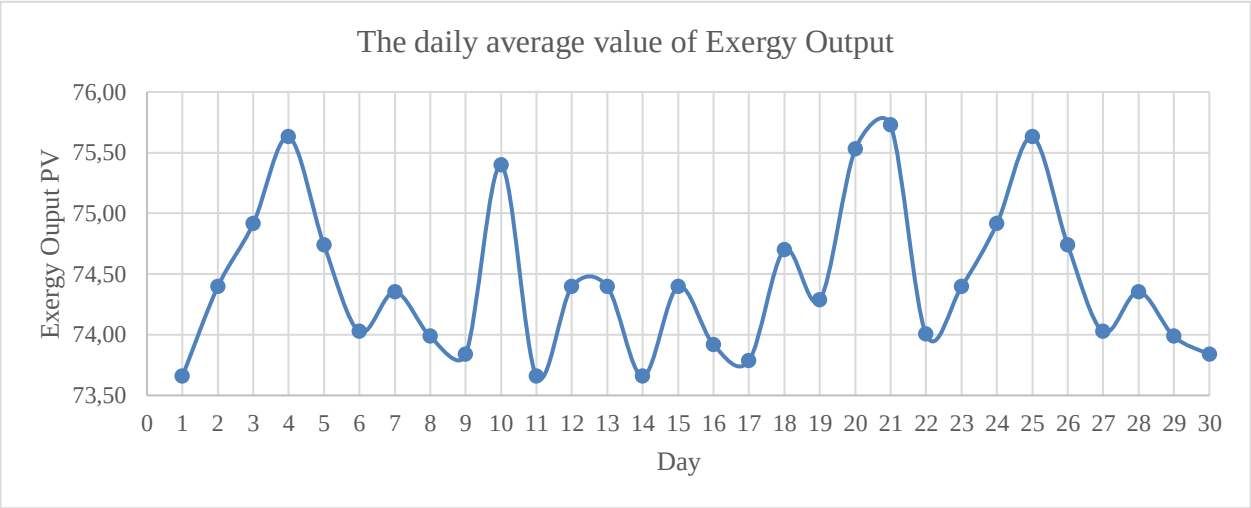
Besar nilai ekergi input ditunjukan pada gambar 1. dimana nilai maksimum exergy input beradapada hari ke 21 sebesar 173.39 W/m^2. Sementara nilai minimun exergy ditunjukan pada hari ke 11 sebesar 169.41 W/m^2. Besar nilai exergy ini didapatkan dari besar energi input yang dibagi dengan luas permukaan solar panel monokristaline. Pada Gambar 2 adalah hasil perhitungan nilai exergy output yang berasal dari adalah nilai exergi termal dan nilai exergi listrik. Exergy termal dinyatakan sebagai kehilangan panas dari permukaan modul ke lingkungan. Adapun exergy listrik ini adalah kemampuan solar panel membangkitkan arus dan tegangan. Nilai maksimum pada exergy output berada pada hari ke 21 sebesar 75.63 W/m^2, sementara nilai minimum berada pada hari ke 73.66 W/m^2.

Pada Gambar 3. adalah hasil perhitungan nilai kerugian exergy yang berasal dari selisih antara exergy input dan output. Adapun Nilai maksimum kerugian exergy berada pada hari ke 21 sebesar 98.32 W/m^2, sementara nilai minimum berada pada hari ke 95.75 W/m^2. Kinerja exergy dapat dilihat dari besarnya masing-masing exergy input, exergy termal, exergy elektrik, dan exergy yang hilang. Nilai exergy mengikuti intensitas radiasi matahari, dan semakin besar intensitas radiasi matahari maka semakin besar selisih keduanya.

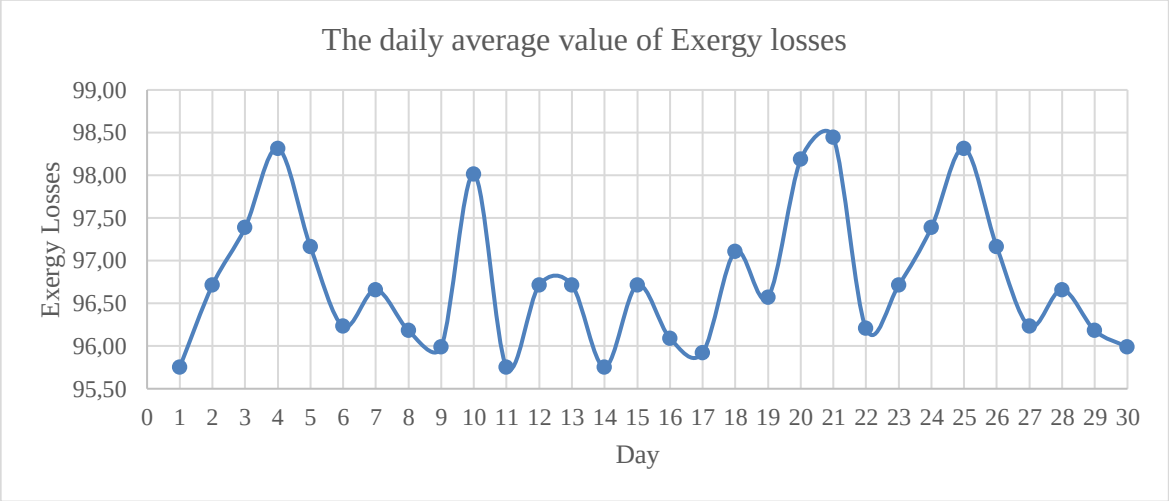


Gambar 1. Data harian rata-rata nilai eksergy input.

Data-data ini juga menunjukkan bahwa peningkatan intensitas penyinaran matahari akan meningkatkan exergy keluaran dan exergy input namun menghasilkan rugi-rugi exergy yang lebih besar daripada exergy termal dan exergy listrik yang dihasilkan. Tegangan yang dihasilkan cukup baik dan konstan, namun arus yang dihasilkan kurang optimal dan masih fluktuatif. Arus dan tegangan sangat mempengaruhi daya keluaran, Efisiensi energi yang dihasilkan jauh lebih kecil dan berfluktuasi, berkisar antara 9 % hingga 10.87%. Sebaliknya, efisiensi exergy cukup besar dan berfluktuasi berkisar antara 24,21% hingga 43,48%.



Gambar 2. Data harian rata-rata nilai eksergy Output.



Gambar 3. Data harian rata-rata nilai eksergy losses

KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa perubahan intensitas matahari mempengaruhi nilai tegangan dan arus output panel surya. peningkatan intensitas penyinaran matahari akan meningkatkan exergy keluaran dan exergy input namun menghasilkan rugi-rugi exergy yang

lebih besar daripada exergy termal dan exergy listrik yang dihasilkan. Tegangan yang dihasilkan cukup baik dan konstan, namun arus yang dihasilkan kurang optimal dan masih fluktuatif. Arus dan tegangan sangat mempengaruhi daya keluaran, Efisiensi energi yang dihasilkan jauh lebih kecil dan berfluktuasi, berkisar antara 9 % hingga 10.87%. Sebaliknya, efisiensi exergy cukup besar dan berfluktuasi berkisar antara 24,21% hingga 43,48%.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. O. M. Maka and J. M. Alabid, "Solar energy technology and its roles in sustainable development," *Clean Energy*, vol. 6, no. 3, pp. 476–483, 2022, doi: 10.1093/ce/zkac023.

[2] R. P. Merchán, M. J. Santos, A. Medina, and A. Calvo Hernández, "High temperature central tower plants for concentrated solar power: 2021 overview," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 155, p. 111828, 2022, doi: 10.1016/j.rser.2021.111828.

[3] A. S. Al-Ezzi and M. N. M. Ansari, "Photovoltaic Solar Cells: A Review," *Appl. Syst. Innov.*, vol. 5, no. 4, pp. 1–17, 2022, doi: 10.3390/asi5040067.

[4] R. A. Messenger, *Photovoltaic Systems Engineering*. 2018.

[5] P. G. V. Sampaio and M. O. A. González, "Photovoltaic solar energy: Conceptual framework," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 74, no. June 2016, pp. 590–601, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.02.081.

[6] M. G. Sekhar, K. Upendra, P. Kamalakar, and T. Sanjeevarao, "Solar Photovoltaic Technology for Industrial and Domestic Applications," vol. 1, no. 2, pp. 56–58, 2017.

[7] T. Pavlovic, *The Sun and Photovoltaic Technologies*. 2020.

[8] R. Binur, "Komposisi jenis ikan air tawar di daerah lahan basah Kaliki, Merauke Papua [Freshwater fishes composition at wetland of Kaliki , Merauke Papua] Robi Binur Jurnal Iktiologi Indonesia," *Iktiologi Indones.*, vol. 10, no. 2, pp. 165–178, 2010.

[9] P. H. V. S. T. Sai, J. V. R. Rao, K. C. Devarayapalli, and K. V Sharma, "Preparation and Characterization of TiO 2 -SiO 2 Sol-Gel Anti Reflection Coatings on Multi Crystalline Silicon Solar Cell," no. 1, pp. 396–399, 2013.

[10] H. Kridalaksana, *Pembentukan Kata Dalam Bahasa Indonesia*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama, 2001.

[11] Gratzel Michael, "Photoelectrochemical cells," *Nature*, vol. 414, no. November, pp. 338–334, 2001, doi: 10.1201/b19148.

[12] H. Hariyanto, M. Mustofa, Z. Djafar, and W. H. Piarah, "Mathematical Modeling in Combining Photovoltaic and Thermoelectric Generator using a Spectrum Splitter," *EPI Int. J. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 74–79, 2019, doi: 10.25042/epi-ije.022019.13.

[13] D. Parenden and Hariyanto, "Simulation of photovoltaic concentration with Fresnel lens using Simulink MATLAB," *Eur. J. Electr. Eng.*, vol. 21, no. 2, pp. 223–227, 2019, doi: 10.18280/ejee.210214.

[14] W. H. Piarah, Z. Djafar, Hariyanto, and Mustofa, "A new simulation of photovoltaic and thermoelectric generator hybrid system with a beam splitter cold and hot mirror for low intensity," *Int. Rev. Mech. Eng.*, vol. 13, no. 9, pp. 559–567, 2019, doi: 10.15866/ireme.v13i9.17884.

[15] W. Xiao, *Photovoltaic Power System*. 2017.

[16] A. K. Pandey, P. C. Pant, O. S. Sastry, A. Kumar, and S. K. Tyagi, "Energy and exergy performance evaluation of a typical solar photovoltaic module," *Therm. Sci.*, vol. 19, pp. S625–S636, 2015, doi: 10.2298/TSCI130218147P.

[17] P. Rawat, "Exergy Performance Analysis of 300 W Solar Photovoltaic Module," vol. 6, no. 3, pp. 381–390, 2017, doi: 10.5281/zenodo.438094.

[18] F. A. Kareem, D. Z. Khalaf, N. S. Lafta,

and Y. A. Lateef, "Energy and exergy analysis of a solar photovoltaic performance in Baghdad," *J. Mech. Eng. Res. Dev.*, vol. 42, no. 2, pp. 44–49, 2019, doi: 10.26480/jmerd.02.2019.44.49.

[19] Hariyanto, D. Parenden, C. W. Wullur, and F. Sariman, "Exergy Modeling of Monocrystalline Silicon Solar Cells with Spectral Irradiation Variations," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1125, no. 1, p. 012117, 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1125/1/012117.

[20] S. Ahmed, N. Diene, K. Diouma, E. B. Menny, and B. Sidi, "Energy and exergy analysis of a solar photovoltaic module performance under the Sahelian Environment," *Int. J. Phys. Sci.*, vol. 13, no. 12, pp. 196–205, 2018, doi: 10.5897/ijps2018.4739.

[21] H. Hariyanto *et al.*, "The Analysis of Energy and Exergy Performance of Dye-Sensitized Solar Cell Using Red Fruit (Pandanus Conoideus) as an Absorbent Medium," *Int. J. Heat Technol.*, vol. 40, no. 1, pp. 9–16, 2022, doi: 10.18280/ijht.400102.