

## **PENGARUH PENDINGINAN FLUIDA UDARA TERHADAP KINERJA FOTOVOLTAIK DENGAN VARIASI LAJU ALIRAN UDARA**

**Rifaldo Pido<sup>1,\*</sup>, Rahmad Hidayat Boli<sup>1</sup>, Mohamad Rifal<sup>1</sup>, Wawan Rauf<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Gorontalo  
Jalan A.A. Wahab No. 247, Kec. Limboto, Kab. Gorontalo, Prov. Gorontalo, 96137

\*E-mail: [rifaldopido813@gmail.com](mailto:rifaldopido813@gmail.com)

Diterima: 19-08-2022

Direvisi: 21-01-2023

Disetujui: 01-06-2023

### **ABSTRAK**

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penggunaan media udara sebagai pendingin pada modul fotovoltaik terhadap daya keluaran dan efisiensi listrik. Energi fosil, sebagai sumber energi utama saat ini, memiliki keterbatasan persediaan dan menghadirkan tantangan dalam pemenuhan kebutuhan energi di masa depan. Dalam upaya untuk mengatasi masalah ini, kami melakukan pengujian dengan menambahkan sistem pendinginan udara menggunakan *blower* di bagian bawah modul fotovoltaik. Pengujian dilakukan dengan variasi laju aliran udara, dan hasilnya menunjukkan bahwa penggunaan media pendinginan udara dapat meningkatkan daya keluaran dan efisiensi modul fotovoltaik. Rata-rata daya keluaran meningkat sebesar 31,66 Watt dengan efisiensi sebesar 3,52%. Namun, ketika laju aliran udara meningkat sebesar 1,5 m/s, terjadi penurunan daya rata-rata sebesar 28,9 Watt dan efisiensi sebesar 3,22%. Hasil ini menunjukkan bahwa kecepatan udara mempengaruhi temperatur, daya keluaran, dan efisiensi modul fotovoltaik.

**Kata Kunci:** media udara; pendinginan; modul fotovoltaik; daya keluaran; efisiensi listrik; energi fosil

### **ABSTRACT**

*This research aims to evaluate the influence of using air as a coolant on photovoltaic module's power output and electrical efficiency. Fossil energy, as the primary energy source today, has limited supply and presents challenges in meeting future energy demands. In an effort to address this issue, we conducted tests by implementing an air cooling system using a blower at the bottom of the photovoltaic module. The tests were conducted with varying air flow rates, and the results indicate that the use of air cooling can enhance the power output and efficiency of the photovoltaic module. The average power output increased by 31.66 Watts with an efficiency of 3.52%. However, when the air flow rate increased by 1.5 m/s, there was an average power decrease of 28.9 Watts and an efficiency decrease of 3.22%. These findings demonstrate that air velocity affects the temperature, power output, and efficiency of the photovoltaic module.*

**Keywords:** air media; cooling; photovoltaic module; power output; electrical efficiency; fossil energy

## 1. PENDAHULUAN

Energi listrik telah menjadi kebutuhan primer dalam kehidupan manusia, hampir setiap sendi kehidupan manusia telah melibatkan listrik di dalamnya [1]. Peningkatan kebutuhan energi dapat merupakan indikator peningkatan kemakmuran, namun bersamaan dengan itu juga menimbulkan masalah dalam usaha penyediaannya, karena manusia hanya mengandalkan energi fosil yang tentunya persediannya masih sangat terbatas dan semakin menipis [2].

Energi merupakan salah satu kebutuhan utama dalam kehidupan manusia. Peningkatan kebutuhan energi dapat merupakan indikator peningkatan kemakmuran, namun bersamaan dengan itu juga menimbulkan masalah dalam usaha penyediaannya, karena manusia hanya mengandalkan energi fosil yang tentunya persediannya masih sangat terbatas dan semakin menipis. Karena tergolong *unrenewable*, maka akibat dikuras terus menerus, persediaan energi tersebut semakin berkurang dan tidak bisa diupayakan kembali keberadaannya. Sehingga bukan suatu hal yang mustahil jika dimasa-masa yang akan datang akan timbul masalah-masalah yang berkaitan dengan krisis energi [3].

Panel sel surya atau bisa disebut *photovoltaic cell* merupakan salah satu sumber energi baru terbarukan alternatif yang ramah lingkungan. Panel sel surya dapat merubah sinar matahari menjadi energi listrik. Panel sel surya sendiri menghasilkan arus DC yang berasal dari bahan semikonduktor tipe p dan tipe n [4]. Dampak dari efisiensi panel surya yang rendah ini, berpengaruh pada hasil output daya listrik pada PV module. Untuk itu, perlu upaya untuk mengoptimalkan output daya PV module agar efisiensinya dapat meningkat juga.

Salah satunya dengan cara menambah pendinginan untuk menjaga temperatur sel surya agar tetap stabil dibawah temperature puncak 45°C [5], maka diperlukan suatu metode pendinginan panel surya agar tidak mengalami penurunan tegangan akibat kenaikan temperatur, maka panas pada bagian belakang panel surya dapat diminimalisir. Metode pendinginan yang dipilih adalah

dengan aliran udara menggunakan kipas dan penambahan sirip- sirip pada bagian belakang panel surya untuk mengalirkan kalor, kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada Sel Surya akan melemahkan tegangan.

Sel surya adalah suatu elemen aktif yang mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Sel surya pada umumnya memiliki ketebalan minimum 0,3 mm, yang terbuat dari irisan bahan semi konduktor dengan kutub positif dan kutub negatif. Prinsip dasar pembuatan sel surya adalah memanfaatkan efek surya yaitu suatu efek yang dapat mengubah langsung cahaya matahari menjadi energi listrik. Berbagai penelitian yang pernah dilakukan untuk meningkatkan efisiensi terkait dengan analisis sistem sel surya baik itu berdasarkan tinjauan dalam meningkatkan kinerja yang dinyatakan dengan keluaran energi sistem sel surya, dan energi panas [6].

Cahyono GR, dkk (2020), Dalam pengujiannya menggunakan pendinginan udara menghasilkan rata-rata efisiensi sebesar 3,151 %. Kenaikan kecepatan udara dengan interval 1 m/s akan menghasilkan nilai rata-rata penurunan temperatur sebesar 0,7°C dan nilai rata-rata kenaikan daya output sebesar 0,03 Watt serta nilai rata-rata kenaikan efisiensi listrik panel surya sebesar 0,02 %. Sementara tanpa menggunakan pendingin, rata-rata efisiensi yang dihasilkan adalah 3,065 % [7].

Thaib R, dkk (2016), Dalam penelitiannya dilakukan pengujian pendinginan panel surya menggunakan udara sebagai media pendingin. Hasil pengujian juga dibandingkan dengan panel surya tanpa pendinginan. Dari hasil pengujian diperoleh efisiensi konversi energi maksimum yang dapat dicapai oleh panel PV tanpa pendingin udara hanya 8-9%. Namun, ketika modul PV dioperasikan pada kondisi pendinginan udara aktif, temperatur permukaan panel PV turun secara signifikan. Hasil pengujian diperoleh efisiensi listrik maksimum panel PV dengan saluran udara segitiga mencapai 13,8% dan menggunakan saluran udara setengah lingkaran efisiensi maksimum mencapai 12,2% [8].

Rizal TA, dkk (2014), melakukan penelitian kajian eksperimental pada panel surya dengan menggunakan media udara

sebagai pendingin dan dibandingkan dengan panel surya tanpa pendingin. Dari hasil kedua pengujiannya diperoleh, efisiensi maksimum panel surya tanpa pendinginan adalah 6,7% pada temperatur permukaan 40°C dan akan menurun dengan meningkatnya temperatur permukaan panel surya. Efisiensi maksimum panel surya dengan pendinginan udara mencapai 7,8% pada temperatur permukaan 40°C. Sedangkan efisiensi termal sistem diperoleh sebesar 42,2 % dengan masa laju aliran udara dipertahankan pada 0,052 kg/s [9].

Dalam penelitian ini terdapat variabel bebas dan variabel terukur, pada variabel bebas yang diukur meliputi temperatur permukaan atas panel surya yang merujuk pada permukaan atas panel surya yang terpapar langsung oleh sinar matahari. Temperatur yang tinggi pada permukaan dapat mempengaruhi efisiensi konversi energi panel surya karena semakin tinggi suhu, semakin berkurang kemampuan panel surya untuk menghasilkan daya dan temperatur belakang panel surya merujuk pada suhu permukaan belakang panel surya. Suhu yang tinggi pada belakang panel surya dapat mempengaruhi efisiensi secara keseluruhan, jika suhu panel surya terlalu tinggi, dapat terjadi peningkatan resistansi internal dan penurunan efisiensi konversi energi panel surya. Sedangkan untuk temperatur udara masuk dan keluar saluran pendingin merujuk pada suhu udara dari sistem pendinginan panel surya setelah melalui saluran pendingin, semakin rendah suhu udara yang keluar, semakin baik pendinginan yang terjadi pada panel surya, oleh karena itu, mengukur tempat udara keluar saluran pendingin penting untuk mengevaluasi kinerja pendinginan panel surya. Untuk temperatur udara lingkungan adalah suhu umum disekitar panel surya dan lingkungan sekitarnya, kecepatan udara masuk dan keluar saluran pendingin panel surya, jika semakin tinggi kecepatan udara maka semakin mempercepat transfer panas dari panel surya, untuk intensitas radiasi surya merujuk pada jumlah energi yang diterima oleh panel surya.

Sedangkan variabel terikat yaitu tegangan, tegangan listrik keluar dari panel surya adalah tegangan yang dihasilkan oleh panel surya ketika energi surya dirubah menjadi arus listrik, untuk arus listrik yang keluar dari panel

surya adalah jumlah aliran listrik yang dihasilkan oleh panel surya dan udara pendingin yang dialirkan menggunakan *blower* yang memiliki kecepatan udara keluar pada *blower* diatur dengan besaran kecepatan fluida udara pada 4,4 m/s, 5,5 m/s, dan 6,6 m/s.

Sebelum mengetahui berapa nilai daya yang dihasilkan harus diketahui daya yang diterima (daya input), dimana daya tersebut adalah perkalian antara intensitas daya matahari yang diterima dengan luas area modul PV dapat dihitung dengan persamaan 1.

$$P_{in} = I_r \cdot A \quad (1)$$

Keterangan:

$P_{in}$  = Daya input akibat radiasi matahari (Watt)

$I_r$  = Intensitas radiasi matahari (Watt/m<sup>2</sup>)

$A$  = Luas area permukaan module PV (m<sup>2</sup>)

Sedangkan untuk besar daya keluar pada panel PV diperoleh dari perkalian antara arus dan tegangan yang dapat dihitung dengan persamaan 2.

Keterangan:

$$P_{out} = V \cdot I \quad (2)$$

$P_{out}$  = Daya keluaran pada modul PV (Watt)

$V$  = Tegangan pada modul PV (Volt)

$I$  = Arus pada modul PV (Amper)

Efisiensi listrik ( $\eta$ ) yang terjadi pada modul PV merupakan perbandingan daya yang dapat dibangkitkan oleh modul PV dengan energi input yang diperoleh dari radiasi matahari didasarkan pada persamaan 3.

Keterangan:

$$\eta = \frac{P_{in}}{P_{out}} \times 100 \% \quad (3)$$

Keterangan:

$\eta$  = Efisiensi modul PV (%)

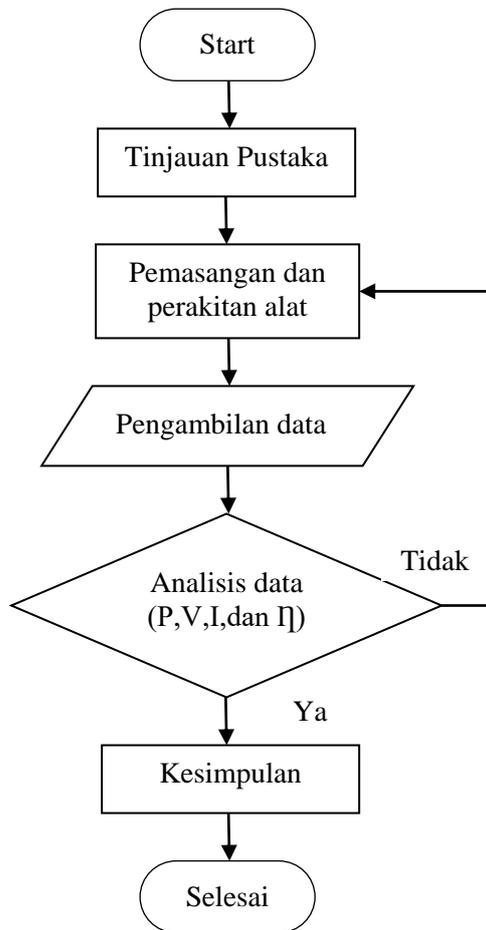
$P_{in}$  = Daya input akibat radiasi matahari (Watt)

$P_{out}$  = Daya keluaran pada modul PV (Watt)

Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi penurunan kinerja modul fotovoltaik adalah faktor peningkatan suhu yang diakibatkan intensitas cahaya matahari yang mengenai permukaan modul. Hal inilah

yang mendasari penulis melakukan penelitian dengan menambahkan media dengan aliran pendinginan udara menggunakan *blower* pada bagian bawah modul fotovoltaik.

## 2. METODE PENELITIAN



**Gambar 6.** Flow chart

Langkah-langkah dalam penelitian ini adalah:

- a. Tinjauan Pustaka  
Mempelajari dan memahami konsep dan teori dasar tentang panel surya, pendinginan udara, dan kinerja fotovoltaik, serta mengidentifikasi variabel-variabel yang akan diteliti, seperti laju aliran udara dan melakukan kajian terdahulu yang relevan tentang pengaruh pendinginan fluida udara.
- b. Pemasangan dan Perakitan Alat  
Menyiapkan seluruh instrument alat ukur yang akan digunakan sebelum dilakukan perakitan alat uji. Pemasangan alat ukur

telah melalui proses kalibrasi untuk mendapatkan nilai yang sesuai dengan kaidah penelitian.

- c. Pengambilan Data  
Melakukan pencatatan terhadap parameter yang diukur yaitu, suhu permukaan atas dan bawah, suhu udara masuk dan keluar panel surya dan arus, tegangan yang dihasilkan oleh panel surya.
- d. Analisis Data  
Melakukan perhitungan daya dan efisiensi panel surya berdasarkan tegangan dan arus listrik yang diukur, serta menganalisis perubahan suhu yang diukur, kecepatan udara masuk dan keluar, intensitas radiasi matahari pada setiap laju aliran fluida, serta menggunakan analisis statik untuk menentukan hubungan antara laju aliran udara dengan kinerja fotovoltaik.
- e. Kesimpulan  
Menjelaskan hasil temuan penelitian berdasarkan hasil analisis data.

Desain penelitian yang dilakukan untuk mempelajari pengaruh pendinginan fluida udara terhadap kinerja fotovoltaik dengan variasi laju aliran udara.

Panel surya yang digunakan dalam penelitian ini 50 Watt *photovoltaic module*, dengan *silicon sel nitride multicrystalline silicon cells*. Panel memiliki ukuran panjang 775 mm, lebar 680 mm, dan tebal 28 mm. Untuk mendinginkan panel surya digunakan media udara yang dialirkan masuk dari bagian atas panel dan keluar dari bagian bawah panel.

Parameter yang diukur pada penelitian ini meliputi temperatur permukaan atas dan belakang panel surya, temperatur udara masuk dan keluar saluran pendingin, temperatur udara lingkungan, kecepatan udara masuk dan keluar saluran, dan intensitas radiasi surya, tegangan dan arus listrik keluar panel surya. Udara pendingin dialirkan menggunakan *blower* yang memiliki kecepatan udara keluar pada *blower* diatur besaran kecepatan fluida udara pada 4,4 m/s, 5,5 m/s, dan 6,6 m/s. Prosedur pengambilan data dapat dilihat pada gambar 1. Dan teknik analisa data yang diperoleh dari data pengamatan yang kemudian dilakukan analisis dengan menggunakan persamaan 1,2 dan 3. Untuk mengetahui besarnya daya

keluaran (output). Selanjutnya data disajikan dalam bentuk grafik.



**Gambar 1.** Rangkaian percobaan pendingin panel surya menggunakan udara



**Gambar 2.** Ukuran panel surya yang dilengkapi saluran udara pendingin

Pengaturan eksperimen pada penelitian ini terdiri dari beberapa tahap. Tahap pertama yaitu persiapan, pada tahap ini dilakukan pemilihan jenis panel surya yang akan digunakan dalam penelitian. Penentuan titik pengukuran sensor suhu pada permukaan atas, permukaan belakang panel surya, sensor suhu pada saluran udara masuk dan keluar, serta penempatan alat ukur intensitas radiasi matahari sejajar dengan permukaan panel sesuai dengan arah sudut tiba matahari. Tahap kedua yaitu penentuan variasi laju aliran udara yang akan digunakan, mulai dari 4,4 m/s, 5,5 m/s, 6,6 m/s, dengan memastikan *blower* dalam keadaan stabil. Tahap ketiga yaitu pengumpulan data meliputi tegangan, arus, suhu permukaan atas dan belakang, suhu udara masuk dan keluar, intensitas radiasi matahari. Tahapan terakhir dalam penelitian ini adalah analisis data untuk mendapatkan hasil tegangan dan arus listrik keluar panel surya setiap laju

aliran udara, serta analisis perubahan suhu permukaan, suhu udara masuk dan keluar, kecepatan udara masuk dan keluar.

Penelitian dilakukan di halaman laboratorium terpadu Universitas Gorontalo, pada tanggal 25-28 Juni 2022 mulai pukul 08:00 pagi sampai pukul 16:00. Untuk memperoleh informasi pengaruh variasi udara pendingin, pengujian dilakukan pada panel surya berpendingin udara, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 3.



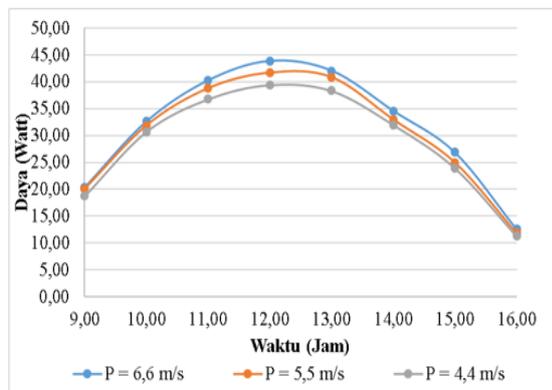
**Gambar 3.** Panel surya yang digunakan pada penelitian Variabel

Telah dirancang dan dibuat satu unit pengujian untuk mempelajari pengaruh pendinginan panel surya (PV) menggunakan media udara terhadap efisiensi listrik panel surya (PV).

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada gambar 4 memperlihatkan korelasi antara waktu terhadap daya dengan ketiga variasi laju aliran udara 4,4 m/s, 5,5 m/s dan 6,6 m/s. Data tersebut diperoleh dari pengukuran dan dianalisis secara kuantitatif menggunakan metode statistik yang sesuai. Terlihat daya yang dihasilkan oleh modul fotovoltaik menunjukkan kenaikan daya keluaran pada pukul 09:00-12:00 sedangkan pada pukul 13:00-15:00 terjadi penurunan daya pada masing-masing variasi laju aliran udara. Hal ini disebabkan karena factor cuaca cerah dan cuaca dalam kondisi mendung (berawan) akan mempengaruhi besarnya intensitas cahaya matahari yang diserap oleh modul fotovoltaik.

Sesuai dengan penelitian sebelumnya [10],[11],[12].



**Gambar 4.** Grafik hubungan antara daya keluaran sel surya terhadap laju aliran udara

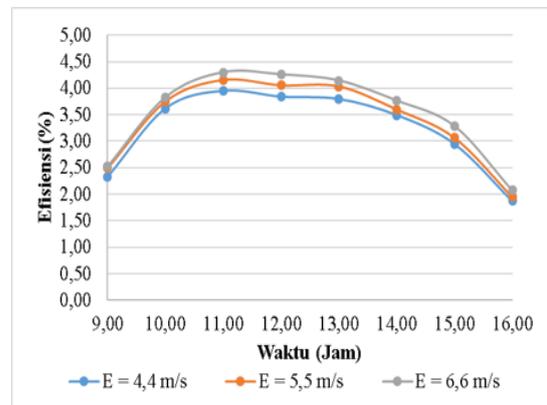
Pada tabel 1 terlihat daya dengan pendinginan 6,6 m/s memiliki nilai yang lebih tinggi dari pada variasi lainnya karena laju perambatan panas pada permukaan modul fotovoltaik pada variasi pendinginan 4,4 m/s dan 5,5 m/s mempengaruhi temperatur dan daya output dari panel surya.

**Tabel 1.** Hasil perhitungan panel surya berpendingin udara

Waktu (Jam)	Daya P (Watt)			Efisiensi $\eta$ (%)		
	4,4 m/s	5,5 m/s	6,6 m/s	4,4 m/s	5,5 m/s	6,6 m/s
08.00	18,74	20,13	20,41	2,33	2,50	2,53
09.00	30,72	31,89	32,63	3,62	3,75	3,83
10.00	36,79	38,81	40,25	3,95	4,15	4,30
11.00	39,43	41,70	43,85	3,84	4,05	4,26
12.00	38,34	40,86	42,05	3,79	4,03	4,14
13.00	32,01	32,99	34,60	3,49	3,60	3,77
14.00	23,95	25	26,88	2,95	3,06	3,29
15.00	11,31	11,83	12,61	1,87	1,95	2,07
16.00	18,74	20,13	20,41	2,33	2,50	2,53
<b>Rata-Rata</b>	28,91	30,4	31,66	3,22	3,3	3,52

Sedangkan trend grafik hubungan waktu terhadap efisiensi listrik diperlihatkan pada Gambar 5, untuk efisiensi dari ketiga variasi pendinginan tersebut nilai tertinggi berada pada laju aliran 6,6 m/s yaitu pada pukul 12:00 sebesar 4,14 %. Sedangkan pada pendinginan 5,5 m/s dan 4,4 m/s diperoleh 4,03 % dan 3,79 %. Nilai efisiensi mengalami penurunan pada

pukul 13:00-15:00 terjadi karena pergerakan matahari pada waktu tersebut akan menurun.



**Gambar 5.** Grafik hubungan antara efisiensi sel surya terhadap Laju aliran massa udara

Dapat disimpulkan bahwa semakin besar laju aliran udara maka daya dan efisiensi yang dihasilkan juga akan semakin besar. Hal ini dikarenakan suhu pada permukaan panel menurun seiring dengan laju aliran udara yang diberikan. Dari hasil penelitian sejalan dengan penelitian yang pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya, [13],[14],[15].

#### 4. KESIMPULAN

Dalam pengujian menggunakan media pendinginan udara sebagai fluida kerja menghasilkan rata-rata daya dan efisiensi sebesar 31,66 Watt dan 3,52 %. Interval kenaikan laju aliran udara sebesar 1,5 m/s, akan menghasilkan nilai rata-rata penurunan daya dan efisiensi sebesar 28,9 Watt dan 3,22 %. Maka dapat disimpulkan bahwa pengujian modul fotovoltaik dengan media udara sebagai fluida kerja lebih efisien sehingga perubahan kecepatan udara mempengaruhi temperatur, daya keluaran dan efisiensi listrik dan modul fotovoltaik, hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya [16],[17].

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Suwarti, "Analisis Pengaruh Intensitas Matahari, Suhu Permukaan & Sudut Pengarah Terhadap Kinerja Panel Surya," *Eksergi*, vol. 14, no. 3, hal. 78, 2019, doi: 10.32497/eksergi.v14i3.1373.
- [2] S. Sidopekso, dan Anita Eka Febtiwiyanti Jurusan Fisika, dan F. Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, "Studi Peningkatan Output

- Modul Surya Dengan Menggunakan Reflektor\_Satwiko S, Anita EF,” vol. 12, no. 3, hal. 101–104, 2010.
- [3] R. Ginting dan M.Zulfin, “Pengukuran Potensi Pemanfaatan Listrik Tenaga Sinar Matahari di Kabupaten Langkat,” *J. Sist. Tek. Ind.*, vol. 22, no. 1, hal. 45–51, 2020, doi: 10.32734/jsti.v22i1.3257.
- [4] A. Warsito, E. Adriono, My. Nugroho, dan B. Winardi, “Dipo Pv Cooler, Penggunaan Sistem Pendingin Temperatur Heatsink Fan Pada Panel Sel Surya (Photovoltaic) Sebagai Peningkatan Kerja Energi Listrik Baru Terbarukan,” *Transient*, vol. 2, no. 3, hal. 499–503, 2013.
- [5] S. B. Widodo, Z. Arif, dan S. Royadi, “Kaji Eksperimental Pengaruh Temperatur Permukaan Panel Surya Terhadap Keluaran Daya,” *Jurutera*, vol. 2, no. 02, hal. 38–48, 2015, [Daring]. Tersedia pada: <http://jurnal.unsam.ac.id/index.php/jurutera/article/view/673>.
- [6] R. Pido, S. Himran, dan Mahmuddin, “Analisa Pengaruh Pendinginan Sel Surya Terhadap Daya Keluaran dan Efisiensi,” *Teknologi*, vol. 19, no. 1, hal. 31–38, 2018.
- [7] M. Munthaha, G. R. Cahyono, dan P. R. Ansyah, “Pengaruh Variasi Kecepatan Udara Terhadap Panel Surya,” *Poros Tek.*, vol. 12, no. 1, hal. 29–34, 2020, [Daring]. Tersedia pada: <https://ejurnal.poliban.ac.id/index.php/porosteknik/article/view/941>.
- [8] R. Thaib dan T. A. Rizal, “Studi Pengaruh Bentuk Saluran Udara Pendingin Pada Unjuk Kerja Panel Photovoltaic,” hal. 696–703, 2016.
- [9] T. A. Rizal, M. Amin, dan P. H. Saputra, “Kaji Eksperimental Pendinginan Panel Surya Menggunakan Media Udara,” *Jurutera*, vol. 01, no. 01, hal. 027–030, 2014, [Daring]. Tersedia pada: <http://jurnal.unsam.ac.id/index.php/jurutera/article/view/711/526>.
- [10] Tang, R., Yan, Y., Huang, B., Zheng, H., & Hu, E. (2016). Effect of air -cooling techniques on the performance of photovoltaic modules. *Energy Conversion and Management*, 123, 227 -235.
- [11] Zhao, H., & Wu, S. (2017). Experimental study on air cooling of photovoltaic modules in different climates. *Energy Conversion and Management*, 141, 127 -134
- [12] El Alami, M., Lemrabti, H., El Alaoui, M., Agrouaz, Y., & Benbouzid, M. E. (2019). Effect of forced-air cooling on the efficiency of photovoltaic panels in hot climates. *Energy*, 175, 511 - 520
- [13] Chuang, M. C., Yeh, C. C., & Hsieh, M. K. (2020). Experimental study on the effect of airflow rate on the performance of photovoltaic modules with natural and forced convection cooling. *Energy Conversion and Management*, 208, 112534.
- [14] Alnefaie, K. A., Chaouachi, A., & Dessouky, M. (2020). Experimental investigation of air -cooling techniques for photovoltaic panels. *Energy Conversion and Management*, 207, 112607.
- [15] Huang, Z., Wang, F., Huang, B., & Lin, G. (2020). Effects of air cooling on the performance of photovoltaic modules under different environmental conditions. *Energy Conversion and Management*, 212, 112738.
- [16] Fu, X., Cheng, X., Xie, F., Zhang, T., & Zhang, H. (2021). Experimental study on the effect of forced air cooling on the performance of photovoltaic modules. *Renewable Energy*, 174, 280 - 288.
- [17] Zhang, D., Ma, J., & Ji, J. (2021). Experimental study on air cooling of photovoltaic modules with different configurations. *Solar Energy*, 224, 87 -96.