

Optimalisasi Panel Surya dengan Sirip Pendingin untuk Pengembangan Kapal Listrik Berbasis Energi Terbarukan di Sungai Mahakam

Binyamin^{1*}, Khanif Setiyawan¹, Andi Nugroho¹, Hery Tri Waloyo², Agus Mujianto³, Sarjito⁴

¹Prodi S1 Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur, Indonesia
Jl. Ir. Juanda No. 15 Samarinda, Indonesia

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia
Jl. Jend. Sudirman KM. 3, Kota Cilegon, Banten, Indonesia, Kode Pos 42435

³Program Doktor Ilmu Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret
Ir. Sutami no 36 A, Surakarta, Indonesia

⁴Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura Surakarta Indonesia 57102

*Corresponding author: bin279@umkt.ac.id

Abstract

Photovoltaic (PV) panels are widely adopted as a sustainable energy solution; however, their performance is strongly affected by elevated operating temperatures induced by high solar radiation, which reduces electrical conversion efficiency. This study aims to quantitatively evaluate the thermal performance of aluminum cooling fins with different inclination angles (30° and 45°) applied to photovoltaic panels. An experimental approach was employed by installing aluminum fins on the rear surface of the panels and applying airflow-assisted natural convection to enhance heat dissipation. The thermal behavior of the fin-cooled panels was systematically compared with an uncooled reference panel under identical operating conditions. The experimental results show that the 30° fin configuration reduced the panel temperature to 43.60°C at the 13th iteration, corresponding to a temperature reduction of 3.13%, while the 45° configuration achieved a lower final temperature of 41.80°C, representing a reduction of 6.68%. In contrast, the uncooled panel reached a peak temperature of 44.40°C. These results confirm that aluminum cooling fins significantly improve thermal management in PV panels, with a 45° inclination angle providing superior heat dissipation performance, although the incremental benefit over the 30° configuration remains moderate.

Keywords: photovoltaic panels; aluminum cooling fins; inclination angle; thermal management; energy efficiency.

Abstrak

Panel fotovoltaik (PV) banyak digunakan sebagai solusi energi berkelanjutan, namun kinerjanya sangat dipengaruhi oleh kenaikan suhu operasi akibat intensitas radiasi matahari yang tinggi, yang berdampak langsung pada penurunan efisiensi konversi energi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi secara kuantitatif kinerja termal penerapan sirip pendingin berbahan aluminium dengan variasi sudut kemiringan 30° dan 45° pada panel fotovoltaik. Metode eksperimental dilakukan dengan memasang sirip aluminium pada bagian belakang panel dan menerapkan pendinginan berbasis konveksi alami berbantuan aliran udara untuk meningkatkan pelepasan panas. Perilaku termal panel bersirip dibandingkan dengan panel tanpa sistem pendingin pada kondisi operasi yang sama. Hasil pengujian menunjukkan bahwa konfigurasi sirip dengan sudut 30° mampu menurunkan suhu panel hingga 43,60°C pada iterasi ke-13, setara dengan reduksi temperatur sebesar 3,13%, sedangkan konfigurasi sudut 45° menghasilkan suhu akhir yang lebih rendah, yaitu 41,80°C, dengan penurunan temperatur sebesar 6,68%. Sebagai pembandingan, panel tanpa pendinginan mencapai suhu maksimum sebesar 44,40°C. Hasil ini mengonfirmasi bahwa penerapan sirip pendingin aluminium efektif meningkatkan manajemen termal panel fotovoltaik, dengan sudut kemiringan 45° menunjukkan performa pelepasan panas yang lebih baik, meskipun peningkatan kinerjanya relatif moderat dibandingkan sudut 30°.

Kata kunci: panel fotovoltaik, sirip pendingin aluminium, sudut kemiringan, manajemen termal, efisiensi energi.



1. Pendahuluan

Energi listrik merupakan salah satu bentuk energi yang paling luas digunakan dan memiliki peran vital dalam menunjang aktivitas kehidupan modern. Seiring dengan kemajuan teknologi dan pertumbuhan ekonomi serta populasi yang terus meningkat dari tahun ke tahun, kebutuhan terhadap energi listrik di Indonesia menunjukkan tren peningkatan yang signifikan [1], [2]. Sistem sel surya (solar cell) merupakan solusi yang menjanjikan dalam konversi energi matahari menjadi energi listrik melalui prinsip kerja fotovoltaik [3], [4], [5]. Indonesia, yang secara geografis terletak di garis khatulistiwa, memiliki potensi sinar matahari yang berlimpah sepanjang tahun, sehingga pemanfaatan panel surya menjadi sangat prospektif sebagai sumber energi ramah lingkungan dan bebas emisi [6], [7], [8], [9].

Energi surya merupakan sumber energi terbarukan terbesar yang tersedia di bumi dan dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan energi global yang semakin meningkat [10], [11]. Sumber energi terbarukan memiliki urgensi penting mengingat dampak negatif dari penggunaan sumber energi fosil yang berlebihan terhadap konsumsi energi dan kerusakan lingkungan [12], [13]. Energi surya menonjol sebagai alternatif karena karakteristiknya yang ramah lingkungan, ketersediaannya yang melimpah, distribusi yang luas, serta teknologi konversi energi yang relatif sederhana [14]. Panel surya beroperasi berdasarkan prinsip fotovoltaik, di mana material semikonduktor mampu mengubah energi foton dari cahaya matahari menjadi arus dan tegangan listrik [15], [16].

Efisiensi konversi energi panel surya sangat dipengaruhi oleh temperatur operasi. Peningkatan suhu dapat menyebabkan resistansi internal meningkat dan menurunkan efisiensi konversi energi listrik [17]. Oleh karena itu, strategi peningkatan efisiensi panel surya mencakup pengembangan sistem pendingin, seperti penggunaan sirip pendingin berbahan logam

di bagian belakang panel untuk meningkatkan konveksi alami dan pelepasan panas secara optimal [18]. Aluminium sering digunakan sebagai material sirip karena memiliki konduktivitas termal tinggi, biaya produksi yang relatif rendah, dan bobot yang ringan [19].

Beberapa studi menunjukkan bahwa penggunaan sistem pendingin aktif, seperti kipas, menghasilkan peningkatan performa signifikan dibandingkan sistem tanpa pendinginan atau dengan pendinginan pasif seperti heat sink [20], [21], [22]. Hasil pengujian menunjukkan bahwa efisiensi dapat meningkat rata-rata hingga 3,151%, dan peningkatan kecepatan angin sebesar 1 m/s dapat menurunkan suhu sebesar 0,7°C serta meningkatkan efisiensi daya sebesar 0,02% [23]. Simulasi CFD juga mengonfirmasi bahwa jarak antar sirip dan ketebalan sirip memengaruhi suhu rata-rata modul secara signifikan, di mana jarak dan ketebalan yang optimal dapat menurunkan suhu lebih lanjut [24].

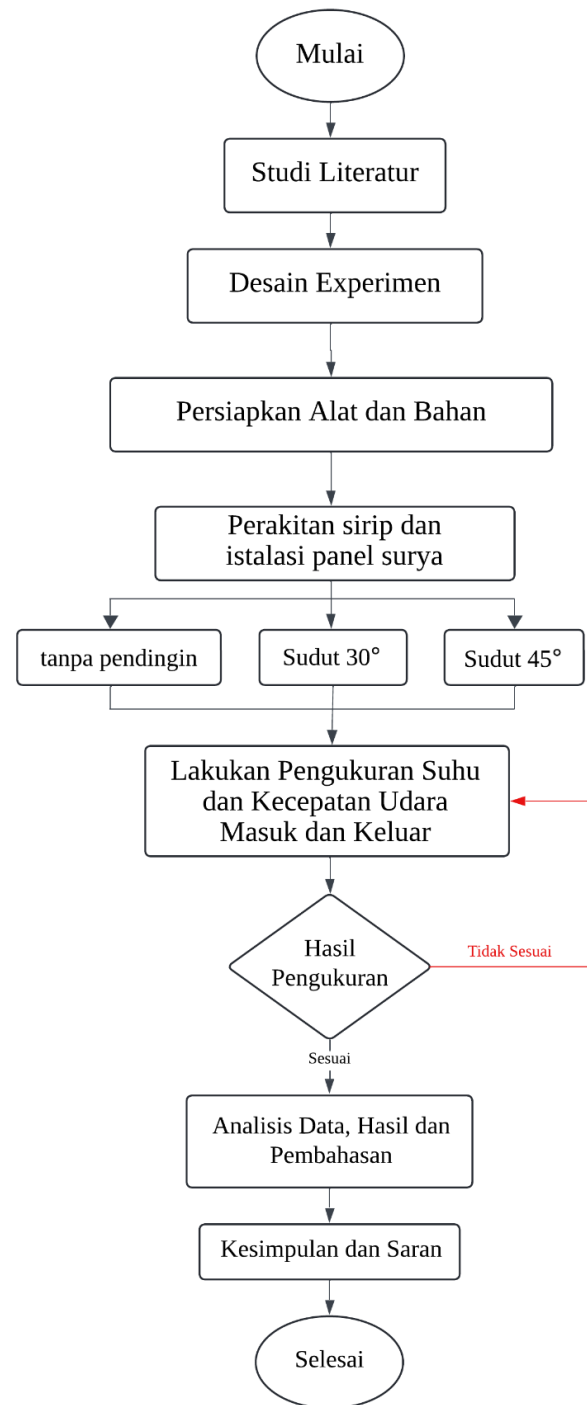
Meskipun telah banyak penelitian dilakukan, belum ditemukan studi yang secara eksplisit mengkaji penggunaan sirip pendingin dengan sudut kemiringan 30° dan 45°. Oleh karena itu, penelitian eksperimental ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas sudut kemiringan sirip pendingin tersebut dalam menurunkan suhu panel surya. Tiga panel surya diuji, masing-masing dilengkapi dengan sirip pada sudut 30°, 45°, dan satu panel tanpa sistem pendinginan. Seluruh panel diletakkan di dalam ruang uji khusus (cooling box) dan dilengkapi dengan sensor termokopel untuk memantau perubahan suhu selama proses eksperimen.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui perakitan sistem di laboratorium Teknik Mesin UMKT dan dilanjutkan dengan pengujian lapangan di atap Gedung Fakultas Sains dan Teknologi UMKT (Gambar 1). Tujuan utama penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh sudut sirip

pendingin aluminium 30°, 45°, dan tanpa sirip terhadap temperatur kerja panel surya.

Pengujian dilakukan di bawah paparan sinar matahari langsung, dengan pengukuran temperatur menggunakan termokopel dan intensitas cahaya menggunakan Transceiver Solar Tracker untuk menjamin konsistensi data sebagaimana ditampilkan pada Gambar 2. Adapun tahapan penelitian secara detail dijelaskan pada diagram alir penelitian di Gambar 1. Hasil analisis diharapkan memberikan gambaran ilmiah terkait efektivitas sudut sirip dalam menurunkan suhu kerja panel surya.



Gambar 1. Diagram alir penelitian



Gambar 2. Pengujian panel surya di atap gedung F Fakultas Sainteks UMKT

Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan beberapa alat dan bahan sebagai berikut:

1. Panel surya 100WP
2. Blower
3. Pipa 2,5"
4. Thermocouple
5. Plat aluminium
6. Anemometer
7. Solar tracker transceivers
8. Motor DC
9. Cooling Fin Box
10. Bevel protractor

3. Hasil dan Pembahasan

Dalam penelitian ini, sirip pendingin aluminium digunakan untuk membantu udara mengalir dengan baik di sekitar panel surya, sehingga temperatur panel surya bisa turun. Sirip pendingin ini dipasang pada panel surya dengan dua sudut yang berbeda, yaitu yang pertama dengan sudut 30° kedua dengan sudut 45° dan yang ketiga tanpa sirip pendingin untuk melihat perbandingan di antara ketiga panel surya tersebut dan bagaimana pengaruhnya terhadap temperatur kerja panel surya.

3.1 Panel Surya tanpa sirip pendingin

Pada Panel surya yang tidak menggunakan sirip pendingin akan lebih terpengaruh oleh suhu yang tinggi karena tidak ada mekanisme tambahan untuk

mengurangi panas. Akibatnya, suhu panel akan lebih tinggi, yang dapat menyebabkan penurunan efisiensi dalam konversi energi matahari menjadi energi listrik. Peningkatan suhu berlebih pada panel surya ini dapat mengurangi kinerja sel surya secara signifikan yang dimana penggunaan tanpa sirip pendingin ini untuk melihat perbandingan (Gambar 3.).



Gambar 1. Panel Surya Tanpa Sirip Pendingin

3.2 Sirip Dengan Sudut 30°



Gambar 2. Panel surya Sudut Sirip 30°

Pada model sirip dengan sudut 30°, sirip aluminium dipasang pada panel surya dengan kemiringan 30° dari permukaan horizontal (Gambar 4.). Sudut ini dimaksudkan untuk menciptakan aliran udara yang cukup besar di sekitar panel tanpa menghalangi penyerapan cahaya matahari secara signifikan, namun aliran udara yang mengalir melalui sirip pada sudut ini, tidak seefektif dengan sudut yang lebih besar, yang memungkinkan pengurangan suhu pada permukaan panel surya.

3.3 Sirip Dengan Sudut 45°

Pada model sirip dengan sudut 45°, sirip dipasang dengan kemiringan yang lebih besar, yaitu 45° dari horizontal (Gambar 5.). Sudut ini menghasilkan aliran udara yang lebih efisien karena memungkinkan lebih banyak udara bergerak bebas di sekitar panel, mengurangi suhu secara lebih efektif. Sirip dengan sudut 45° meningkatkan kapasitas pendinginan dibandingkan dengan sudut 30°, karena sudut yang lebih besar membantu udara bergerak lebih cepat dan mengalir dengan lebih lancar di sekitar permukaan panel surya, meningkatkan proses transfer panas.



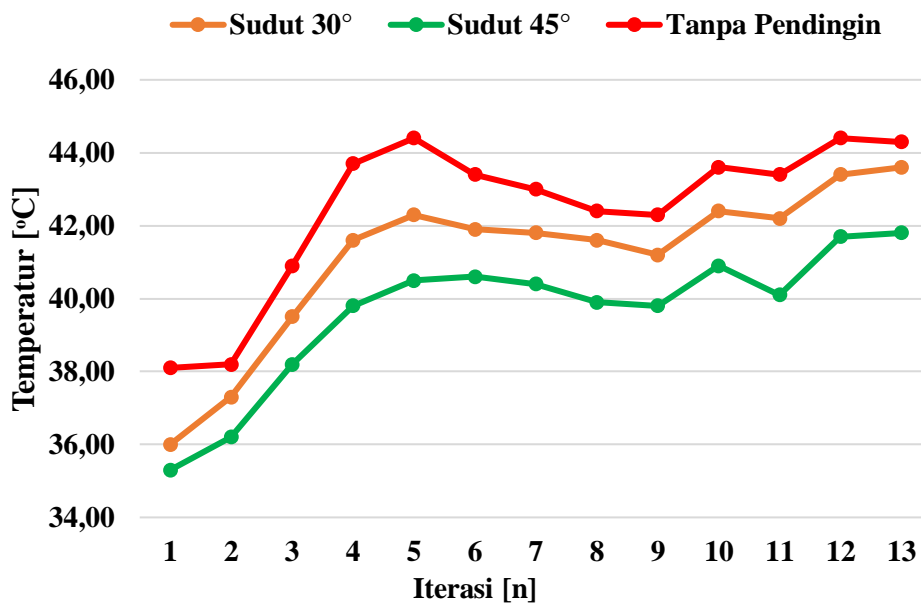
Gambar 3. Panel Surya Sudut Sirip 45°

3.4 Temperatur Pada Permukaan Panel Surya

Temperatur pada permukaan panel surya adalah suhu yang berada di atas panel yang terpapar langsung oleh sinar matahari yang di mana pengambilan data tersebut perdua puluh menit pada saat pengambilan data temperature (Tabel 1), Saat panel menyerap Cahaya matahari, sebagian besar energi diubah menjadi panas. Semakin banyak cahaya yang diterima panel, semakin tinggi temperature suhu tersebut pada permukaan panel surya, tetapi suhu yang terlalu tinggi dapat mengurangi efisiensi panel untuk menghasilkan Listrik, Dengan demikian, meskipun panel surya berfungsi dengan baik, suhu yang terlalu tinggi dapat mengurangi efisiensi, berikut adalah data pada temperatur pada panel surya.

Tabel 1. Temperatur sudut 30°, 45° dan tanpa pendingin pengujian setiap 20 menit

No.	Sudut 30° (°C)	Sudut 45° (°C)	Tanpa Pendingin (°C)
1	36,00	35,30	38,10
2	37,30	36,20	38,20
3	39,50	38,20	40,90
4	41,60	39,80	43,70
5	42,30	40,50	44,40
6	41,90	40,60	43,40
7	41,80	40,40	43,00
8	41,60	39,90	42,40
9	41,20	39,80	42,30
10	42,40	40,90	43,60
11	42,20	40,10	43,40
12	43,40	41,70	44,40
13	43,60	41,80	44,30
Rata-Rata	41,14	39,63	42,47



Gambar 4. Grafik perbandingan temperatur dengan Iterasi

Gambar 6. Menunjukkan grafik perbandingan temperatur dengan iterasi. Berdasarkan analisis yang didapatkan dari hasil temperatur permukaan panel surya, Pada kondisi Sudut 30°, suhu cenderung meningkat secara bertahap seiring berjalanya waktu, dimulai dari Iterasi ke-1 di dapatkan hasil 36,00°C dan mencapai puncaknya pada iterasi ke-13 di dapatkan hasil 43,60°C. Suhu menunjukkan kecenderungan naik secara stabil meskipun ada sedikit penurunan pada beberapa titik, seperti antara Iterasi ke-8 dan ke-9, tetapi secara keseluruhan, nilai suhu cenderung meningkat dan di dapatkan penurunan temperatur sekitar 3,13% pada sudut 30°.

Sedangkan Pada kondisi Sudut 45°, suhu juga mengalami peningkatan, meskipun tidak secepat pada kondisi Sudut 30°. Yang di mana pada Sudut 45° Suhu pada Iterasi ke-1 menunjukkan angka temperatur sekitar 35,30°C dan mencapai 41,80°C di akhir pengukuran. Seperti halnya pada Sudut 30°, ada fluktuasi kecil, namun tren umum menunjukkan kenaikan suhu dari awal hingga akhir pengukuran dan dimana penurunan temperatur di dapatkan sekitar 6,68% penurunan pada sudut 45°.

Pada kondisi Tanpa Pendingin, suhu yang tercatat lebih tinggi dibandingkan

dengan kedua kondisi lainnya. Dimulai dari Iterasi ke-1 didapatkan hasil 38,10°C dan mencapai suhu tertinggi yaitu 44,40°C pada pengukuran terakhir. Kenaikan suhu pada kondisi ini lebih signifikan dibandingkan dengan kedua kondisi sudut tersebut, menunjukkan bahwa kurangnya pendinginan menyebabkan suhu temperatur lebih tinggi. Pengukuran ini menunjukkan bahwa sudut 45° memberikan efek pendinginan yang lebih baik dibandingkan sudut 30°, meskipun penggunaan pendinginan dengan sudut menunjukkan perbedaan yang signifikan dalam penurunan temperatur, perbedaan suhu antar pengukuran tidak terlalu besar jika dibandingkan dengan kondisi tanpa pendingin.

3.5 Intensitas Cahaya matahari Dan Daya Input

Intensitas sinar matahari memegang peranan penting karena berhubungan langsung dengan seberapa besar energi yang diterima panel surya. Semakin tinggi intensitas sinar matahari yang diterima maka semakin banyak pula energi yang dapat diubah menjadi listrik. Namun intensitas cahaya ini juga dapat menyebabkan panel surya menjadi panas, apalagi jika sinar

matahari langsung mengenai panel surya dalam waktu lama (Tabel 2).

Tabel 2. Intensitas Cahaya Matahari Sudut 30°, 45° dan Tanpa pendingin

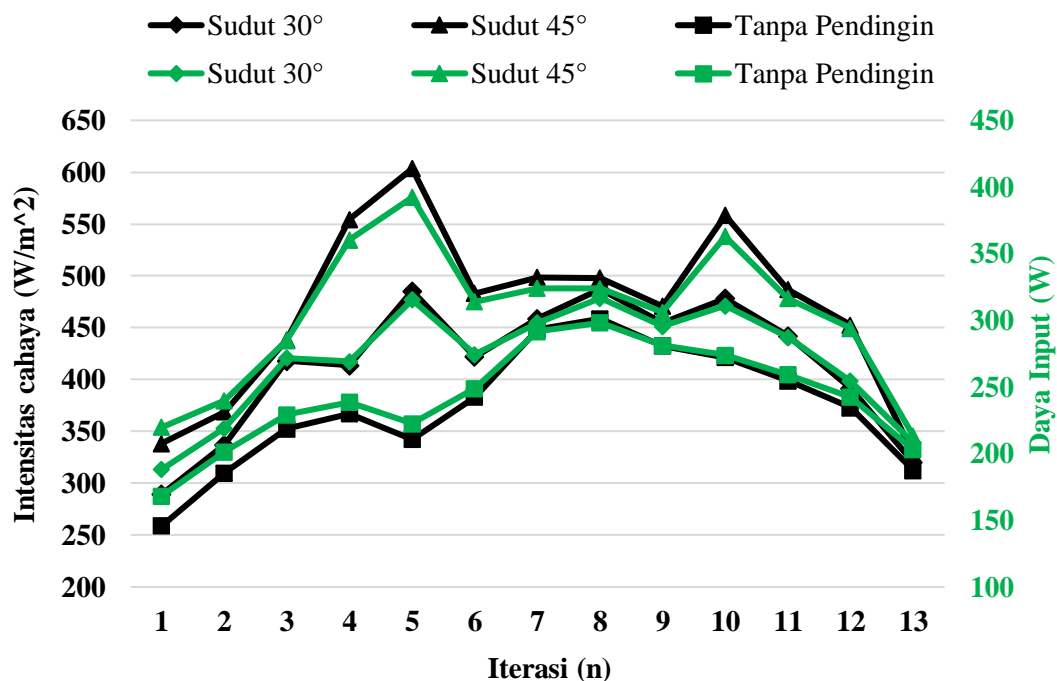
No.	Sudut 30° (W/m ²)	Sudut 45° (W/m ²)	tanpa pendingin (W/m ²)
1	289,48	338,40	258,90
2	337,05	368,98	309,86
3	418,10	438,44	352,67
4	413,83	554,49	366,94
5	485,18	603,42	342,48
6	421,99	483,14	383,11
7	458,68	498,68	448,68
8	487,22	498,10	458,68
9	454,60	470,91	432,56
10	478,29	558,57	421,30
11	441,99	486,83	398,80
12	391,41	452,56	372,79
13	320,06	328,21	312,33
Rata-Rata	415,22	467,74	373,77

Tabel 3. Daya Input Sudut 30°, Sudut 45° Dan Tanpa Pendingin

No.	Sudut 30° (W)	sudut 45° (W)	tanpa pendingin (W)
1	188,17	219,96	168,28
2	219,08	239,84	201,41

3	271,77	284,99	229,24
4	268,99	360,42	238,51
5	315,37	392,22	222,61
6	274,29	314,04	249,02
7	298,14	324,14	291,64
8	316,69	323,76	298,14
9	295,49	306,09	281,16
10	310,89	363,07	273,84
11	287,29	316,44	259,22
12	254,42	294,16	242,31
13	208,04	213,34	203,01
Rata-Rata	269,89	304,04	242,95

Sedangkan Daya input pada panel surya adalah jumlah energi yang diterima oleh panel dari matahari dan diubah menjadi listrik. Beberapa faktor mempengaruhi daya ini, termasuk suhu, sudut kemiringan, dan intensitas cahaya yang diterima panel. Dengan demikian, sudut kemiringan panel akan menghadap langsung ke matahari, sehingga panel dapat menyerap lebih banyak cahaya dan menghasilkan lebih banyak daya dan untuk mendapatkan daya input (Tabel 3).



Gambar 5. Grafik perbandingan Intensitas Cahaya dan Daya Input dengan Iterasi

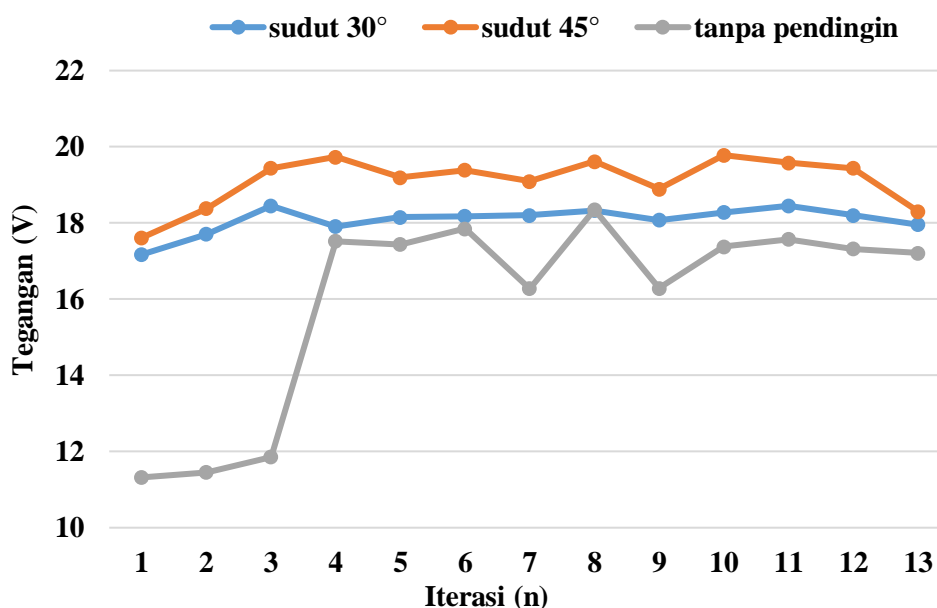
Pada Gambar 7 ini menunjukkan grafik perbandingan intensitas dalam satuan Watt per meter kuadrat (W/m^2) dengan daya input, dari data intensitas cahaya matahari menunjukkan bahwa Sudut Sirip 30° menunjukkan fluktuasi intensitas cahaya matahari yang cenderung lebih rendah dibandingkan dengan Sudut Sirip 45° . Intensitas cahaya matahari mulai dari $289,48 W/m^2$ dan meningkat secara bertahap hingga mencapai puncak tertinggi pada $487,22 W/m^2$. Meskipun ada peningkatan, secara keseluruhan data pada sudut 30° memiliki variasi yang lebih kecil dibandingkan dengan sudut 45° . Sementara itu pada Sudut Sirip 45° menunjukkan intensitas cahaya yang lebih tinggi secara konsisten. Nilai intensitas dimulai dari Iterasi ke-1 yaitu sekitar $338,4 W/m^2$ dan mengalami peningkatan yang lebih tajam dengan nilai tertinggi mencapai $603,42 W/m^2$ pada Iterasi ke-5. Ini menunjukkan bahwa semakin besar sudut sirip, semakin banyak n cahaya matahari yang diterima permukaan. Fluktuasi yang terjadi juga lebih jelas, menandakan pengaruh sudut yang lebih curam terhadap intensitas.

Gambar 7. juga menunjukan daya input pada Sudut 30° menunjukkan fluktuasi daya input yang cukup signifikan. Nilai daya input berkisar dari $188,16 W$

hingga $316,69 W$, dengan puncak tertinggi pada Iterasi ke-8. Secara umum, daya input pada sudut ini cenderung lebih rendah dibandingkan dengan Sudut 45° . Pada data Sudut 45° menunjukkan hasil daya input yang lebih tinggi dibandingkan dengan Sudut 30° dan Tanpa Pendingin. Daya input pada Sudut 45° berkisar $219,96 W$ hingga $392,22 W$, dengan puncak tertinggi terjadi pada Iterasi ke-5. Sedangkan pada kondisi Tanpa Pendinginan lebih rendah secara konsisten dibandingkan dengan kedua kondisi lainnya. hasil daya berkisar antara $168,29 W$ hingga $298,14 W$. Daya terendah tercatat pada Iterasi ke-1, dan daya tertinggi tercatat pada Iterasi ke-8. hal Ini menunjukkan bahwa tanpa adanya pendinginan, panel surya beroperasi dengan daya yang lebih rendah karena suhu yang lebih tinggi mungkin mempengaruhi kinerja konversi energi pada panel.

3.6 Tegangan Listrik Panel Surya

Tegangan listrik panel surya adalah ukuran seberapa besar daya listrik yang bisa dihasilkan oleh panel surya setelah menyerap cahaya matahari. Namun, suhu panel surya dapat mengurangi tegangan listrik yang dihasilkannya karena suhu tinggi dapat meningkatkan hambatan dalam sistem panel surya, mengurangi efisiensi dan output tegangan.



Gambar 6. Grafik perbandingan Tegangan dengan Iterasi

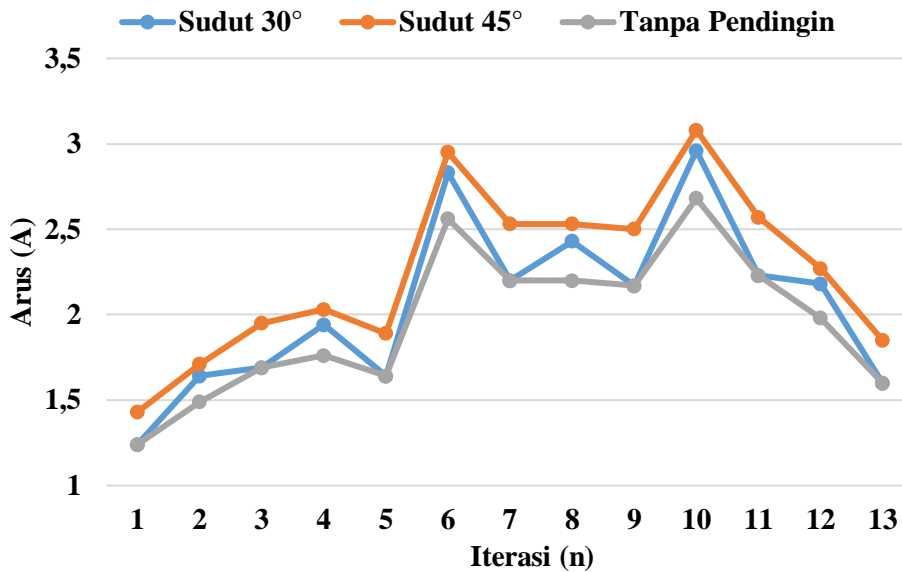
Pada Gambar 8. grafik tegangan menunjukan Pada sudut 30° , tegangan yang tercatat menunjukkan nilai yang relatif stabil dengan rentang antara 17V hingga 18V. Tegangan ini menunjukkan bahwa sudut 30° menghasilkan efisiensi yang cukup baik dalam menangkap cahaya matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik. Fluktuasi pada sudut 30° terbilang kecil, dan nilai rata-rata tegangan cenderung berada di kisaran 18 V, yang menunjukkan kinerja yang optimal untuk panel surya yang dipasang pada sudut ini. Hal ini mengindikasikan bahwa posisi panel pada sudut 30° memungkinkan penyerapan cahaya matahari yang lebih baik, menghasilkan tegangan yang stabil dan di dapatkan 13,14 % kenaikan tegangan pada sudut 30° tersebut. Sedangkan pada sudut 45° tegangan yang di dapatkan sedikit cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan sudut 30° rentang tegangan yang tercatat berada antara 17V hingga 19V. Hal ini menunjukkan bahwa sudut 45° mendapatkan performa yang sedikit optimal dalam menjaga daya input bisa dikatakan stabil pada teganganya di dapatkan 19,59 % kenaikan tegangan pada sudut 45° .

Pada kondisi tanpa pendingin, tegangan yang dihasilkan terlihat lebih rendah dibandingkan kedua sudut lainnya, dengan rentang tegangan antara 11 V hingga 18 V, bahwa tanpa adanya pendinginan, panel surya mungkin bekerja dalam kondisi yang kurang optimal. Fluktuasi yang besar dalam data menunjukkan bahwa faktor suhu atau beban dapat mempengaruhi kinerja panel, menyebabkan penurunan tegangan

yang signifikan pada setiap Iterasi. Kondisi tanpa pendingin menunjukkan hasil yang lebih rendah secara keseluruhan, mengindikasikan bahwa pendinginan memiliki peran penting dalam menjaga kestabilan tegangan yang dihasilkan oleh panel surya.

3.7 Arus Listrik Panel Surya

Dalam sistem panel surya, arus listrik (I) adalah faktor penting yang menunjukkan seberapa cepat elektron mengalir selama proses konversi energi fotovoltaik. Intensitas cahaya matahari, efisiensi konversi energi panel, dan pengelolaan suhu mempengaruhi temperatur kerja panel surya. Studi ini menyelidiki hubungan antara iterasi (n) dan arus (I) pada tiga konfigurasi sistem untuk mengukur efek penggunaan sirip pendingin terhadap kinerja dan kestabilan panel surya. Pada **Gambar 9** arus menunjukkan Pada sudut 30° , arus yang tercatat cenderung stabil dengan nilai berkisar antara 1,24 hingga 2,96. Puncak tertinggi tercatat pada Iterasi ke-10 dengan hasil 2,96 A, dan nilai terendah pada Iterasi ke-1 sekitar 1,24 A. Meskipun ada peningkatan yang signifikan pada titik tertentu, secara keseluruhan arus yang dihasilkan tidak sebanyak pada Sudut 45° . Hal Ini menunjukkan bahwa sudut 30° cenderung menerima cahaya matahari dengan sudut yang lebih rendah, sehingga arus yang dihasilkan juga lebih rendah meskipun terdapat sistem pendinginan dan di dapatkan 5.13% peningkatan arus pada sudut 30° .



Gambar 7. Grafik perbandingan Arus dengan Iterasi

Pada Sudut 45° menunjukkan hasil yang lebih tinggi secara konsisten dibandingkan dengan Sudut 30° dan Tanpa Pendingin. Arus listrik berkisar antara 1,43 A hingga 3,08 A, dengan puncak tertinggi pada Iterasi ke-10 dengan hasil 3,08 A. Pada sudut ini, panel surya lebih banyak menerima cahaya matahari yang berpotensi menghasilkan arus yang lebih besar. Selain itu, penggunaan sistem pendinginan pada Sudut 45° membantu menjaga suhu panel tetap rendah, yang meningkatkan efisiensi dalam menghasilkan arus listrik dan di dapatkan 15.16% peningkatan arus pada sudut 45°.

3.8 Daya Output Panel Surya

Daya output yang di hasilkan oleh intensitas cahaya matahari, suhu kerja panel surya, efisiensi material fotovoltaik, dan teknologi tambahan seperti sistem

pendingin, memengaruhi jumlah daya yang dihasilkan oleh panel surya. daya listrik yang dihasilkan oleh sel surya adalah perkalian tegangan keluarannya dengan jumlah elektron yang mengalir, atau arus listrik. terdapat persamaan tertentu yang menjelaskan hubungan matematis antara tegangan dan arus dalam pembangkitan tenaga listrik. Penjelasan menyeluruh tentang kedua persamaan ini akan membantu kami mengevaluasi efisiensi dan kinerja panel surya dalam penelitian ini.

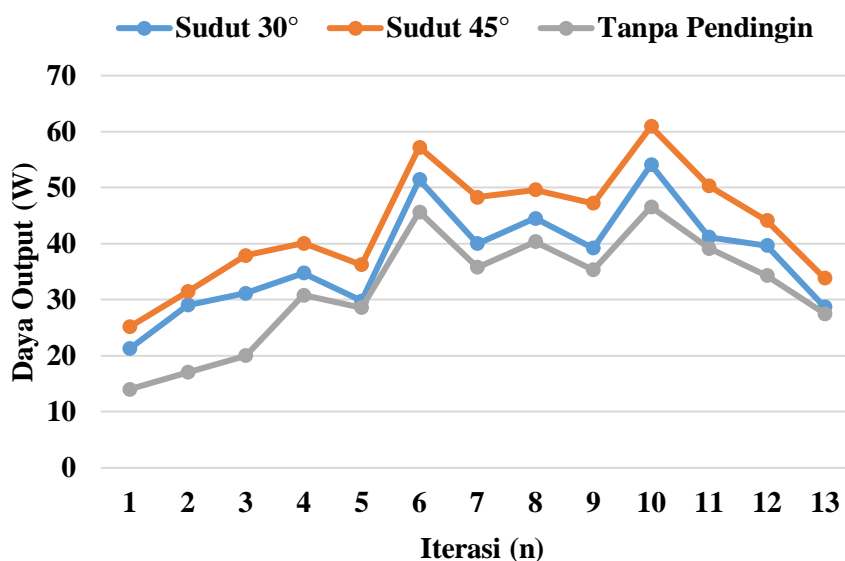
$$P_{out} = V.I.....(1)$$

Dengan:

P_{out} = Daya keluaran (Watt)

V = Tegangan keluaran (Volt)

I = Arus (Ampere)



Gambar 8. Grafik perbandingan Daya Output dengan Iterasi

Pada Gambar 10 daya output memperlihatkan perbandingan daya yang dihasilkan pada ketiga kondisi tersebut, yang mana daya output pada Sudut 30° menunjukkan fluktuasi yang signifikan, dengan nilai daya output berkisar antara 21,29 W hingga 54,11 W. Puncak tertinggi daya output tercatat pada Iterasi ke-10. Secara keseluruhan, daya yang dihasilkan cenderung lebih rendah dibandingkan dengan Sudut 45°, namun tetap menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam penerimaan energi matahari jika dibandingkan dengan kondisi Tanpa Pendingin.

Pada Sudut 45° Daya output menunjukkan hasil yang lebih optimal dibandingkan dengan Sudut 30° dan Tanpa Pendingin. Daya output berkisar antara 25,18 hingga 60,92, dengan puncak tertinggi tercatat pada Iterasi ke-10 dengan hasil 60,92. Pada sudut ini, menunjukkan bahwa sudut sirip pendingin 45° dapat menghasilkan daya output yang lebih besar pada waktu-waktu tertentu, terutama jika kondisi radiasi matahari sedang optimal dan Pada kondisi Tanpa Pendinginan, daya output yang dihasilkan lebih rendah secara konsisten. Nilai daya output berkisar antara 14,04 hingga 46,57, dengan daya terendah tercatat pada Iterasi ke-1 14,04 dan daya

tertinggi tercatat pada Iterasi ke-10 yaitu sekitar 46,57. Tanpa adanya pendinginan, suhu panel surya lebih tinggi, yang dapat mengurangi efisiensi konversi energi dan menghasilkan daya yang lebih rendah dibandingkan dengan kondisi yang menggunakan pendinginan, kita dapat menyimpulkan bahwa Sudut 45° memberikan daya output yang paling optimal di antara ketiga kondisi tersebut.

3.9 Efisiensi Panel Surya

Efisiensi panel surya mengacu pada Beberapa faktor, termasuk jenis material sel surya, intensitas cahaya, suhu, dan sudut pemasangan, memengaruhi efisiensi panel surya. Intensitas cahaya dan sudut pemasangan yang optimal menentukan efisiensi panel surya. Tanpa pendinginan, efisiensi panel bisa menurun karena peningkatan suhu, yang mengurangi kinerja sel surya. Dengan kata lain, meskipun panel surya tanpa pendingin dapat menghasilkan lebih banyak daya dalam kondisi tertentu, kinerjanya mungkin tidak optimal dalam jangka panjang karena efek pemanasan yang berlebihan.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots \dots \dots (2)$$

Dengan :

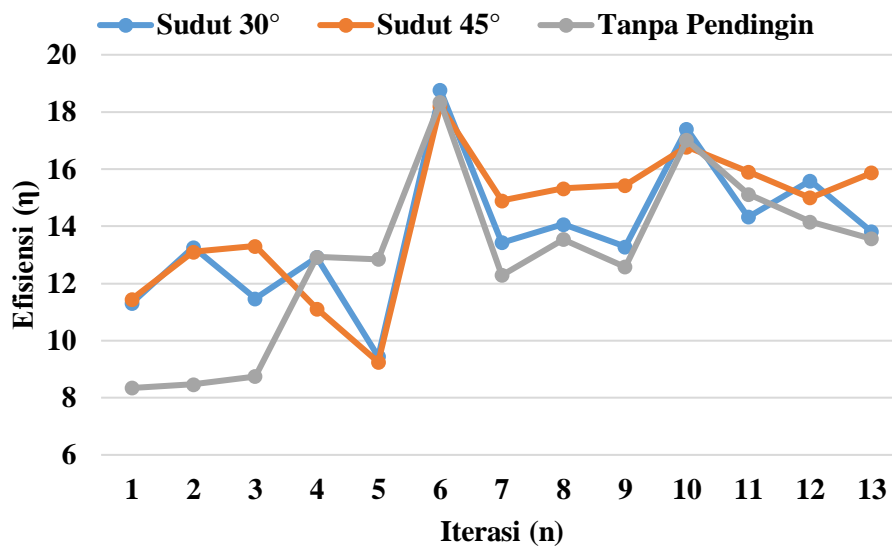
η = Efisiensi

P_{in} = Daya Masuk (Watt)

P_{out} = Daya Keluaran (Watt)

Berdasarkan **Gambar 11**, data efisiensi yang telah di dapatkan, Pada kondisi dengan sudut 30°, efisiensi panel surya di dapatkan rata-rata sebesar 13,77% efisiensi ini lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi tanpa pendinginan, yang menunjukkan bahwa sudut ini membantu panel surya untuk menangkap lebih banyak energi matahari. Meskipun terkadang mengalami kenaikan dan panenurunan pada setiap Iterasi.

pada sudut 45° sedikit lebih tinggi dari pada pada sudut 30°, dengan rata-rata mencapai 14,27%. Ini menunjukkan bahwa sudut 45° dapat memberikan hasil yang lebih baik dalam mengonversi energi matahari menjadi listrik dibandingkan dengan sudut 30°, meskipun perbedaannya tidak terlalu signifikan walaupun terkadang juga mengalami penurunan.



Gambar 9. Grafik Efisiensi dengan Iterasi

Sedangkan tanpa pendinginan, efisiensi panel surya cenderung lebih rendah, dengan rata-rata hanya 12,91%. Hal ini menunjukkan bahwa tanpa pendinginan, panel surya tidak dapat beroperasi pada tingkat efisiensi yang optimal, karena suhu yang tinggi dapat mengurangi kemampuan panel untuk mengubah energi matahari menjadi listrik Secara keseluruhan dan dapat disimpulkan bahwa penggunaan pendingin pada panel surya dapat meningkatkan efisiensi secara signifikan dibandingkan dengan kondisi tanpa pendingin.

4. Simpulan

Hasil dari penelitian pengaruh arah sudut sirip pendingin alumunium pada temperature pada panel surya pada sudut 45° menunjukkan bahwa penurunan temperatur yang lebih baik dari pada sudut 30° yang di mana penurunan temperatur yang di dapatkan sekitar sekitar 6,68% penurunan

pada sudut 45° dengan rata-rata efisiensi sekitar 14,27%. Sedangkan pada sudut 30° didapatkan penurunan temperatur sebesar sekitar 3,13% pada sudut 30° dengan rata-rata efisiensi sekitar 13,77 %.

Hasil penelitian ini didapatkan bahwa penggunaan sistem sirip pendingin dapat menurunkan suhu temperatur kerja dan efektif meningkatkan kinerja panel surya.

Ucapan terimakasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Univeristas Muhammadiyah Kalimantan Timur dan Majelis Pendidikan Tinggi, Penelitian dan Pengembangan Pimpinan Pusat Muhammadiyah atas dukungan pendanaan melalui skema Hibah Riset Nasional Muhammadiyah Batch VIII Tahun 2024, berdasarkan Surat Keputusan

Nomor: 0258.423/I.3/D/2025, sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

Referensi

- [1] H. Ambarita and A. Wu, "Rancang Bangun Alat Penggerak Panel Surya Satu Axis pada Koordinat 3,43o LU dan 98,44o BT Di Kota Medan," *Inov. dan Apl. Teknol. Berkelanjutan di Era Revolusi Ind. 4.0*, pp. 311–315, 2019.
- [2] S. Widyawati Putri, G. Marausna, and E. Eko Prasetyo, "Analisis Pengaruh Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Daya Keluaran Pada Panel Surya," *Tek. STTKD J. Tek. Elektron. Engine*, vol. 8, no. 1, pp. 29–37, 2022, doi: 10.56521/teknika.v8i1.442.
- [3] A. M. A. Soliman, H. Hassan, and S. Ookawara, "An experimental study of the performance of the solar cell with heat sink cooling system," *Energy Procedia*, vol. 162, pp. 127–135, 2019, doi: 10.1016/j.egypro.2019.04.014.
- [4] J. Prasojo, D. Sugati, and A. A. Salim, "Pengaruh Daya yang dihasilkan Panel Surya untuk Menyuplai Charger Station Sepeda Listrik," vol. 13, no. 02, pp. 213–220, 2024.
- [5] W. Pratama and D. S. Khaerudin, "Rancang Bangun Pengereng Padi Hybrid Solar Dryer dan Panel Surya," vol. 13, no. 02, pp. 395–404, 2024.
- [6] G. R. Cahyono, P. R. Ansyah, J. Riadi, and N. Q. Awaly, "Pengaruh pendinginan menggunakan sirip terhadap performa panel surya 1,2,4)," vol. 8, no. 1, pp. 51–56, 2021.
- [7] E. T. Mahyudi, "PENGARUH PENGGUNAAN SIRIP LONGITUDINAL DAN AKSIAL PADA ALAT PENUKAR KALOR PIPA GANDA TERHADAP PROSES PELELEHAN DAN PEMBEKUAN PARAFIN SEBAGAI PENYIMPAN ENERGI THERMAL (Tesis) Oleh ERIK TRI MAHYUDI PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNI," vol. 13, no. 02, pp. 345–360, 2023.
- [8] J. Hotma, P. Sianipar, H. Sutanto, and S. Tobing, "Kajian Numerik Pengaruh Geometri Intake Pompa dan Anti-Vortex Device Terhadap Aliran pada Intake Pompa," vol. 13, no. 02, pp. 241–254, 2024.
- [9] S. B. Widodo, Z. Arif, and S. Royadi, "Kaji Eksperimental Pengaruh Temperatur Permukaan Panel Surya Terhadap Keluaran Daya," *Jurutera*, vol. 2, no. 02, pp. 38–48, 2015.
- [10] Z. Arifin, D. D. D. P. Tjahjana, S. Hadi, R. A. Rachmanto, G. Setyohandoko, and B. Sutanto, "Numerical and experimental investigation of air cooling for photovoltaic panels using aluminum heat sinks," *Int. J. Photoenergy*, vol. 2020, 2020, doi: 10.1155/2020/1574274.
- [11] F. Wang *et al.*, "Enhancing Heat Transfer of Photovoltaic Panels with Fins," *Int. J. Energy Res.*, vol. 2024, 2024, doi: 10.1155/2024/5180627.
- [12] B. Widodo and W. Winarso, "Peningkatan Energi Listrik Serta Daya Keluaran Pada Panel Surya Dengan Penambahan Sistem Pendingin Heatsink Dan Reflektor Alluminium Foil," *J. Tek. Elektro dan Komput. TRIAC*, vol. 9, no. 1, pp. 1–4, 2022, doi: 10.21107/triac.v9i1.14278.
- [13] M. F. Ibrahim, M. S. Misaran, and N. A. Amaludin, "Simulation of solar PV surface temperature with dimpled fin cooling," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1217, no. 1, p. 012015, 2022, doi: 10.1088/1757-899x/1217/1/012015.
- [14] M. Firoozzadeh, M. Lotfi, and A. H. Shiravi, "An Experimental Study on Simultaneous Use of Metal Fins and Mirror to Improve the Performance of Photovoltaic Panels," *Sustain.*, vol. 14, no. 24, 2022, doi: 10.3390/su142416986.

- [15] R. Pido, R. H. Boli, M. Rifal, and W. Rauf, "Pengaruh pendinginan fluida udara terhadap kinerja fotovoltaiik dengan variasi laju aliran udara," *SINTEK J. J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 17, no. 1, p. 50, 2023, doi: 10.24853/sintek.17.1.50-56.
- [16] S. Rustemli and F. Dincer, "Modeling of photovoltaic panel and examining effects of temperature in Matlab/Simulink," *Elektron. ir Elektrotehnika*, vol. 3, no. 3, pp. 35–40, 2011, doi: 10.5755/j01.eee.109.3.166.
- [17] Gusto Arif Tansah, R. Rifky, and Y. Nofendri, "Pengaruh Sudut Antara Dua Panel Sel Surya Terhadap Kinerja Photovoltaics," *Met. J. Manufaktur, Energi, Mater. Tek.*, vol. 1, no. 2, pp. 46–54, 2022, doi: 10.22236/metalik.v1i2.11043.
- [18] W. Putra, H. Siregar, M. Fawaid, and D. H. Abizar, "Pengaruh Penggunaan Reflektor Dan Pendingin Pasif Untuk Mengoptimalkan Daya Keluaran Pada Modul Surya," *J. Sains dan Teknol.*, vol. 21, no. 2, pp. 52–58, 2022.
- [19] J. C. Mojumder, W. T. Chong, H. C. Ong, K. Y. Leong, and Abdullah-Al-Mamoon, "An experimental investigation on performance analysis of air type photovoltaic thermal collector system integrated with cooling fins design," *Energy Build.*, vol. 130, pp. 272–285, 2016, doi: 10.1016/j.enbuild.2016.08.040.
- [20] D. Almanda and D. Bhaskara, "Studi Pemilihan Sistem Pendingin pada Panel Surya Menggunakan Water Cooler, Air Mineral dan Air Laut," *Resist. (elektRONika kEndali Telekomun. tenaga List. kOmputeR)*, vol. 1, no. 2, p. 43, 2018, doi: 10.24853/resistor.1.2.43-52.
- [21] K. Sukarno, A. S. A. Hamid, H. Razali, and J. Dayou, "Evaluation on cooling effect on solar PV power output using Laminar H₂O surface method," *Int. J. Renew. Energy Res.*, vol. 7, no. 3, pp. 1213–1218, 2017, doi: 10.20508/ijrer.v7i3.5966.g7152.
- [22] A. I. Soumi, B. R. Utomo, N. T. Atmoko, and E. Sarwono, "Studi Eksperimental Performa Photovoltaic Cell dengan Variasi Jenis Pendingin," *Creat. Res. Eng.*, vol. 3, no. 2, p. 73, 2023, doi: 10.30595/serie.v3i2.16167.
- [23] J. Indra Bayu, I. Budi Sulistiyawati, and N. Putu Agustini, "Monitoring Pengaruh Suhu Pada Panel Surya Terhadap Performa Keluaran Pembangkit Listrik Tenaga Surya," *J. FORTECH*, vol. 4, no. 1, pp. 27–32, 2023, doi: 10.56795/fortech.v4i1.4104.
- [24] E. Z. Ahmad, A. Fazlizan, H. Jarimi, K. Sopian, and A. Ibrahim, "Enhanced heat dissipation of truncated multi-level fin heat sink (MLFHS) in case of natural convection for photovoltaic cooling," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 28, no. October, p. 101578, 2021, doi: 10.1016/j.csite.2021.101578.