

PERANCANGAN DAN PENGEMBANGAN SISTEM PANEL SURYA DENGAN PENAMBAHAN SIRIP PENDINGIN

Sigjet Haryo Pranoto^{1a}, Alan Evin Girardi¹, Anis Siti Nurrohkayati¹, Andi Nugroho¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur

Korespondensi:

^aProgram Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur
alamat email: shp904@umkt.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan meningkatkan sistem pembangkit listrik tenaga surya dengan menambahkan sirip pendingin guna meningkatkan efisiensi operasional kerja. Penelitian ini dilakukan karena efisiensi panel surya cenderung menurun seiring meningkatnya suhu permukaan akibat paparan sinar matahari langsung, yang menjadi masalah utama dalam optimalisasi pembangkit listrik tenaga surya. Tiga variasi prototipe dikembangkan dalam penelitian ini: prototipe pertama dengan 4 sirip pendingin, prototipe kedua dengan 6 sirip pendingin, dan prototipe ketiga tanpa sirip pendingin. Sirip pendingin disusun secara vertikal dan diselaraskan untuk mengoptimalkan aliran udara. Pengaruh sirip pendingin dievaluasi dengan mengukur berbagai parameter, termasuk suhu, intensitas, arus, tegangan, daya masuk, daya keluar, dan efisiensi keseluruhan panel surya. Temuan penelitian menunjukkan bahwa penambahan sirip pendingin menghasilkan suhu panel yang lebih rendah, sementara intensitas, arus, tegangan, daya masuk, daya keluar, dan efisiensi meningkat. Sebagai contoh, suhu rata-rata panel surya tanpa sirip mencapai hingga 49,25°C dan panel surya dengan penambahan 6 sirip pendingin turun hingga 45,25°C. Selanjutnya, efisiensi panel surya dengan penambahan 6 sirip pendingin meningkat hingga 12%.

Kata kunci: pembangkit listrik tenaga surya, sirip pendingin, aliran udara

ABSTRACT

The objective of this study is to design and enhance a solar power generation system by adding cooling fins to improve operational efficiency. The research was conducted because the efficiency of solar panels tends to decrease as the surface temperature rises due to direct sunlight exposure, which is a major issue in optimizing solar power systems. Three prototype variations were developed in this study: the first prototype with 4 cooling fins, the second with 6 cooling fins, and the third without any cooling fins. The cooling fins were arranged vertically and aligned to optimize airflow. The effect of the cooling fins was evaluated by measuring various parameters, including temperature, intensity, current, voltage, input power, output power, and the overall efficiency of the solar panel. The findings indicate that the addition of cooling fins resulted in lower panel temperatures, while intensity, current, voltage, input power, output power, and efficiency increased. For instance, the average temperature of the solar panel without fins reached up to 49.25°C, whereas the panel with 6 cooling fins decreased to 45.25°C. Furthermore, the efficiency of the solar panel with 6 cooling fins increased up to 12%.

Keywords: solar panel generation, cooling fins, airflow

1. PENDAHULUAN

Energi merupakan komponen penting dalam kehidupan modern yang menunjang berbagai aktivitas manusia. Secara umum, energi dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu energi tak terbarukan dan energi terbarukan [1]. Energi tak terbarukan, seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam, berasal dari sumber daya alam yang terbatas dan membutuhkan waktu jutaan tahun untuk terbentuk kembali. Penggunaan yang berlebihan terhadap sumber energi ini dapat menyebabkan kerusakan lingkungan dan mempercepat perubahan iklim [2]. Selain itu, menipisnya cadangan energi tak terbarukan menjadi tantangan besar bagi keberlanjutan pasokan energi global. Sebaliknya, energi terbarukan seperti angin, air, dan sinar matahari berasal dari sumber daya yang dapat diperbaharui secara alami [3]. Selain ramah lingkungan, energi terbarukan memiliki potensi besar dalam mendukung transisi menuju ekonomi hijau yang lebih berkelanjutan.

Dalam konteks energi, Energi Baru Terbarukan (EBT) telah menjadi sorotan utama karena potensinya yang besar untuk menggantikan bahan bakar fosil. Salah satu teknologi penting dalam EBT adalah panel surya, yang memanfaatkan sinar matahari untuk menghasilkan listrik [4]. Selain ramah lingkungan, panel surya juga telah mengalami peningkatan efisiensi yang signifikan seiring dengan kemajuan teknologi. Teknologi ini tidak hanya membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, tetapi juga mendukung peralihan menuju ekonomi rendah karbon. Lebih dari itu, panel surya memiliki fleksibilitas tinggi dalam penggunaannya, mulai dari skala rumah tangga hingga proyek industri berskala besar [5]. Penggunaan panel surya juga mendorong desentralisasi sistem energi, sehingga memperluas akses listrik ke wilayah-wilayah terpencil yang sulit dijangkau oleh jaringan listrik konvensional. Dengan segala keunggulannya, panel surya menjadi salah satu solusi strategis dalam menciptakan sistem energi yang lebih berkelanjutan dan merata.

Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengoptimalkan kinerja panel surya, salah satunya melalui sistem pendinginan. Proses pendinginan memainkan peran penting dalam menjaga efisiensi panel surya agar tetap optimal. Sistem ini biasanya memanfaatkan kotak dan sirip pendingin di area tertentu guna meningkatkan efektivitas perpindahan panas. Penambahan sirip pada sistem pendingin berbasis konveksi alami bertujuan untuk memperluas area perpindahan panas, sehingga mampu mempercepat pelepasan panas dari panel surya ke udara [6]. Penelitian yang dilakukan oleh Wahyudi dan rekan-rekannya mengevaluasi sirip pendingin dari bahan tembaga berbentuk gelombang dengan variasi jumlah sirip (5, 6, dan 7), suhu masuk antara 40–80 °C, serta kecepatan aliran udara antara 0,2 – 1 m/s. Hasil simulasi menggunakan *Computational Fluid Dynamics* menunjukkan bahwa penambahan sirip mampu menurunkan suhu permukaan hingga 24,1 °C, meningkatkan laju perpindahan panas sebesar 0,4657 W, koefisien konveksi sebesar 3,47 W/m²°C, dan angka Nusselt hingga mencapai 271. Efisiensi sirip meningkat hingga 63,4%, dengan efektivitas mencapai 1,61 [7]. Namun, penelitian sebelumnya perlu divalidasi agar tidak menimbulkan kesenjangan, seperti yang kami lakukan melakukan analisis secara eksperimental. Selanjutnya, kinerja panel surya juga sangat dipengaruhi oleh intensitas sinar matahari, suhu permukaan, dan sudut kemiringan panel. Semakin tinggi intensitas cahaya matahari, maka arus listrik yang dihasilkan akan meningkat, meskipun tegangan tidak mengalami perubahan yang berarti [8].

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji sejauh mana penambahan sirip pendingin dapat meningkatkan kinerja panel surya. Studi dilakukan secara eksperimental dengan menguji berbagai konfigurasi sirip pendingin yang dipasangkan pada panel. Artikel ini disusun secara sistematis: Bagian pertama membahas urgensi pemanfaatan energi terbarukan di era saat ini, khususnya melalui penggunaan panel surya dan berbagai upaya modifikasi untuk mengoptimalkan kinerjanya. Bagian kedua memaparkan desain eksperimen serta tata letak sirip pendingin pada panel. Selanjutnya, Bagian ketiga menyajikan hasil penelitian berupa perbandingan performa panel surya dengan dan tanpa sirip pendingin, berdasarkan parameter seperti daya, tegangan, arus, intensitas cahaya, dan suhu permukaan panel. Terakhir, kesimpulan dari penelitian ini dirangkum pada Bagian keempat.

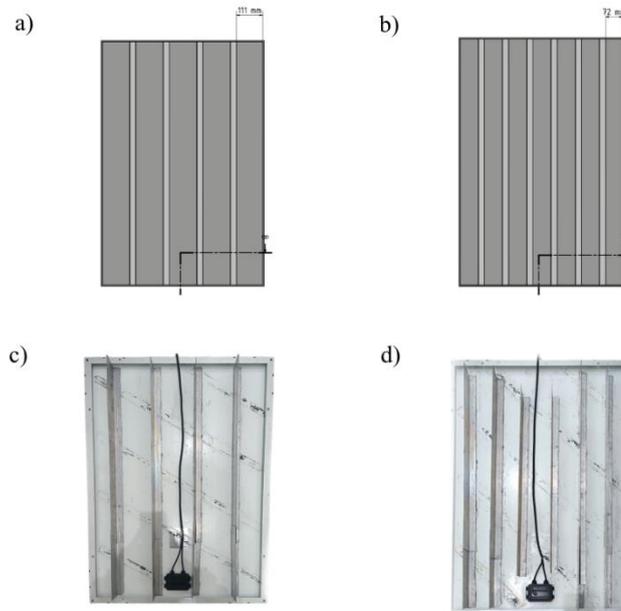
2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Model Sirip Pendingin

Penelitian ini berfokus pada inovasi desain panel surya dengan menambahkan sirip pendingin di bagian belakang panel surya, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 1. Dua konfigurasi diuji dalam studi ini, yaitu panel surya yang dilengkapi dengan empat dan enam sirip pendingin, yang ditampilkan secara rinci pada Gambar 1(a) dan 1(b). Pemilihan jumlah 4 dan 6 sirip pendingin didasarkan pada keterbatasan ruang yang tersedia pada permukaan panel surya. Selain itu, variasi jumlah sirip tersebut dipilih untuk mengevaluasi perbedaan kinerja panel surya apabila jumlah sirip pendingin yang digunakan berbeda. Sirip pendingin tersebut dibuat dari material aluminium, dengan ukuran panjang 1000 mm, tinggi 70 mm, lebar 25 mm, dan ketebalan 1,25 mm — dirancang khusus untuk membantu pelepasan panas secara optimal. Namun, pada modifikasi panel surya dengan enam sirip pendingin dalam kondisi sebenarnya, dilakukan penyesuaian khusus, terutama pada sirip yang terletak di bagian

tenengah. Penyesuaian ini bertujuan untuk menghindari benturan antara sirip pendingin dan komponen lain yang terpasang pada panel surya, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1(d).

Dalam pengaturan eksperimen, panel surya dengan konfigurasi sirip pendingin yang berbeda akan dioperasikan dalam kondisi lingkungan yang terkontrol untuk memantau kinerja pendinginan. Parameter yang diukur meliputi suhu permukaan panel, efisiensi konversi energi, dan stabilitas termal sistem. Data ini akan dibandingkan dengan panel surya tanpa sirip pendingin sebagai kontrol. Penempatan dan orientasi panel juga dipertimbangkan dengan cermat untuk memastikan bahwa hasil pengukuran mencerminkan pengaruh desain sirip pendingin terhadap kinerja keseluruhan panel.



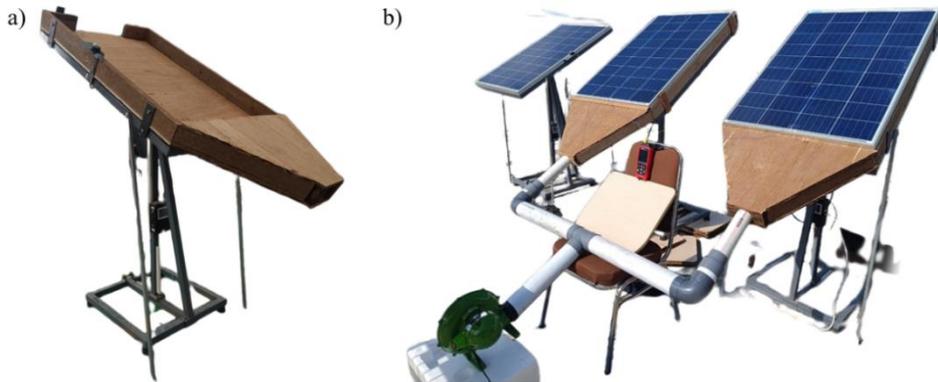
Gambar 1. (a) Desain panel surya dengan 4 sirip pendingin, (b) Desain panel surya dengan 6 sirip pendingin, (c) Tampak belakang modifikasi panel surya dengan 4 sirip pendingin, (d) Tampak belakang modifikasi panel surya dengan 6 sirip pendingin

2.2 Instalasi dan Parameter Panel Surya

Rangka panel surya yang ditampilkan pada Gambar 2 (a) dirancang secara khusus dengan sudut kemiringan tertentu guna memaksimalkan penyerapan energi matahari sepanjang hari. Struktur rangkanya menggunakan material baja sebagai kaki penyangga, memberikan kestabilan yang kuat terhadap beban panel serta tahan terhadap pengaruh lingkungan seperti terpaan angin. Menariknya, di bagian bawah panel juga dipasang sebuah kotak berbentuk trapesium yang berfungsi sebagai isolator udara, memungkinkan sirkulasi udara yang terkontrol untuk mendukung sistem pendinginan yang lebih efektif.

Gambar 2 (b) menampilkan instalasi uji kinerja panel surya yang terdiri atas beberapa unit panel, masing-masing dipasang pada rangka terpisah dengan sudut kemiringan tetap untuk memastikan penyerapan cahaya matahari yang optimal. Dimulai dari yang paling ujung kiri merupakan panel surya tanpa sirip pendingin, selanjutnya yang ditengah dan kanan adalah panel surya dengan 4 dan 6 sirip pendingin. Untuk meningkatkan proses pendinginan, sistem ini dilengkapi dengan blower yang mempercepat aliran udara di sekitar sirip pendingin, mempercepat pelepasan panas dari panel ke lingkungan.

Agar aliran udara tetap fokus dan tidak bercampur dengan udara luar, digunakan sebuah kotak isolasi udara berukuran $1.310 \text{ mm} \times 665 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$. Kotak ini dirancang secara presisi agar aliran udara dari blower bergerak secara laminar melintasi permukaan sirip pendingin, meningkatkan efisiensi perpindahan panas. Sistem pendingin ini juga diperkuat dengan pipa saluran udara berdiameter 2,5 inci di bagian atas dan 2 inci di bagian bawah, dengan panjang 50 cm, untuk memastikan distribusi udara merata ke seluruh sirip. Kecepatan aliran udara masuk ditetapkan sebesar 10 m/s, dan data pengukuran dikumpulkan mulai di pagi hari dengan interval pencatatan setiap 5 menit, guna memperoleh hasil yang akurat dan konsisten. Rincian spesifikasi dan parameter dari panel surya disajikan pada Tabel 1 berikut.



Gambar 2. (a) Rangka dudukan panel surya, (b) Instalasi panel surya dengan tambahan sirip pendingin dan tanpa tambahan sirip pendingin

Tabel 1. Spesifikasi dan parameter panel surya

Parameter	Spesifikasi
Daya Maksimum	100 Watt-peak (Wp)
Arus Maksimum	5,8–6,2 A
Tegangan Rangkaian Terbuka	18–20 V
Efisiensi Modul	15–18%
Dimensi	1000 mm × 670 mm × 30 mm
Berat	8 kg
Jenis Panel	Polikristalin

Selanjutnya, parameter yang dievaluasi dalam penelitian ini meliputi suhu, intensitas cahaya, arus, tegangan, dan efisiensi kinerja panel surya. Namun, selama proses pengujian, kondisi cuaca tidak dapat dikendalikan sepenuhnya. Intensitas sinar matahari dapat berubah-ubah, mulai dari sangat terik hingga mendung, sehingga dapat memengaruhi hasil pengukuran. Selain itu, ruang lingkup penelitian ini terbatas pada pengujian prototipe yang secara khusus dirancang dan diproduksi oleh tim peneliti.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

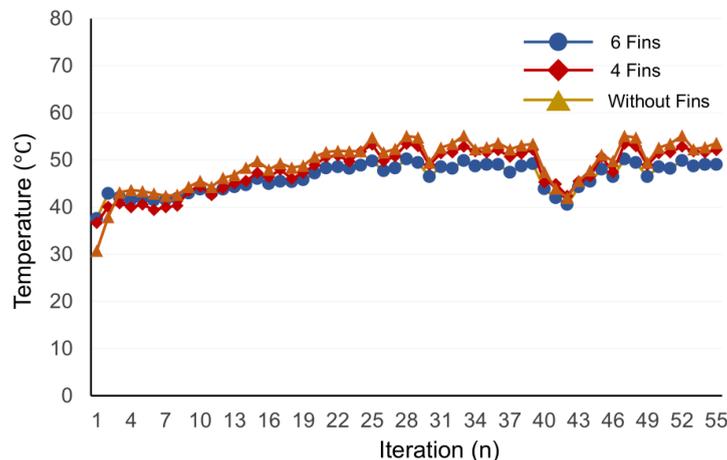
3.1 Temperatur Panel Surya

Suhu merupakan salah satu faktor krusial yang sangat memengaruhi kinerja panel surya. Ketika suhu terlalu tinggi, efisiensi konversi energi fotovoltaik akan menurun akibat peningkatan hambatan internal pada material panel. Oleh sebab itu, menjaga suhu permukaan panel tetap stabil dan optimal menjadi fokus utama dalam upaya meningkatkan performa sistem surya. Gambar 3 menampilkan hasil dari pengujian berbagai variasi sistem pendinginan yang digunakan dalam penelitian ini.

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa suhu permukaan panel surya mengalami variasi yang cukup berbeda pada setiap pengujian, tergantung pada jumlah sirip pendingin yang digunakan. Panel tanpa sirip cenderung memiliki suhu rata-rata yang lebih tinggi dibandingkan dengan panel yang dilengkapi sirip pendingin. Panel dengan enam sirip menunjukkan suhu paling rendah dan paling stabil, berada dalam rentang 35°C hingga 40°C di setiap iterasi. Sementara itu, panel dengan empat sirip menunjukkan suhu yang sedikit lebih tinggi, namun tetap lebih rendah dibandingkan panel tanpa sirip. Sebaliknya, panel tanpa sirip sering kali mencapai suhu hampir sekitar 60°C, terutama saat intensitas cahaya matahari tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa penggunaan sirip pendingin terutama dalam jumlah enam buah secara efektif meningkatkan efisiensi pendinginan dengan mengurangi akumulasi panas di permukaan panel. Pendinginan yang lebih baik membantu menjaga suhu operasi panel tetap optimal, menurunkan hambatan internal material, dan mempertahankan efisiensi konversi energi fotovoltaik.

Pada iterasi tertentu, seperti sekitar iterasi ke-35 dan ke-45, kondisi pengukuran menunjukkan penurunan suhu yang cukup drastis. Hal ini kemungkinan besar disebabkan oleh faktor lingkungan, seperti berkurangnya intensitas cahaya matahari akibat cuaca mendung. Penurunan intensitas cahaya secara langsung mengurangi pemanasan permukaan,

sehingga suhu panel pun menurun. Menariknya, setelah penurunan tersebut, panel dengan enam sirip pendingin mampu dengan cepat kembali ke suhu yang stabil dibandingkan konfigurasi lainnya. Hal ini membuktikan bahwa sirip pendingin tidak hanya efektif dalam menurunkan suhu, tetapi juga mempercepat proses stabilisasi termal saat terjadi perubahan kondisi lingkungan. Dengan demikian, penggunaan sirip pendingin khususnya konfigurasi enam sirip memberikan dua keuntungan sekaligus: menjaga suhu panel tetap optimal dan meningkatkan ketahanan terhadap fluktuasi suhu akibat faktor eksternal.



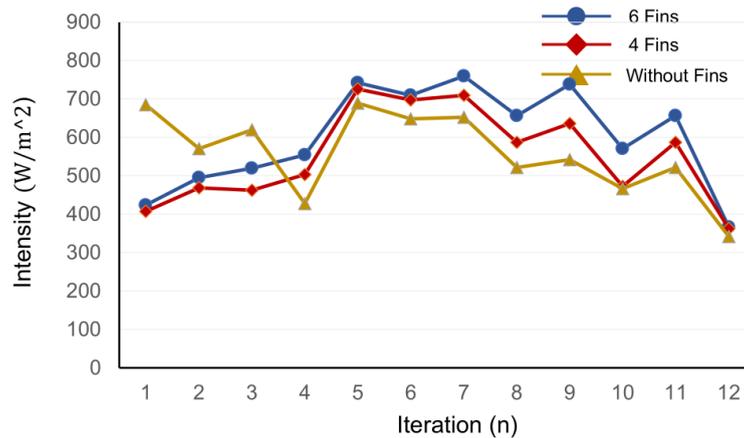
Gambar 3. Temperatur panel surya yang didapat dari beberapa kondisi pengujian

3.2 Intensitas Panel Surya

Intensitas cahaya matahari yang diterima oleh panel surya juga memiliki peran penting dalam menentukan seberapa besar energi yang dapat dikonversi menjadi listrik. Semakin tinggi intensitas cahaya, semakin besar pula potensi konversi energi yang dihasilkan. Namun demikian, intensitas cahaya tidak selalu stabil akibat perubahan cuaca dan posisi matahari yang dapat menyebabkan fluktuasi intensitas yang berdampak pada kestabilan serta efisiensi daya keluaran panel surya. Gambar 4 berikut menyajikan hasil pengukuran intensitas cahaya pada berbagai variasi sistem pendinginan yang digunakan dalam penelitian ini.

Gambar 4 menunjukkan bahwa sistem tanpa sirip memiliki intensitas cahaya yang lebih tinggi, sekitar 700 W/m^2 , sedangkan sistem dengan empat dan enam sirip memulai dari nilai yang lebih rendah, sekitar 400 W/m^2 . Seiring berjalannya iterasi, terjadi fluktuasi intensitas yang signifikan pada ketiga kondisi tersebut. Puncak intensitas tertinggi terlihat antara iterasi ke-5 hingga ke-7, di mana sistem dengan enam sirip mencatat nilai tertinggi dibandingkan konfigurasi lainnya. Secara keseluruhan, sistem dengan enam sirip menunjukkan performa intensitas yang lebih baik dibandingkan dengan sistem empat sirip maupun tanpa sirip sepanjang iterasi, kecuali pada pengukuran awal. Menjelang akhir pengukuran (iterasi ke-12), ketiga sistem mengalami penurunan intensitas yang cukup signifikan, mencapai nilai terendah sekitar 350 W/m^2 .

Fluktuasi intensitas ini kemungkinan dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti perubahan suhu lingkungan, variasi sumber energi, atau kondisi atmosfer saat pengukuran berlangsung. Penurunan tajam pada akhir iterasi bisa jadi disebabkan oleh menurunnya efisiensi sistem seiring waktu, akumulasi panas berlebih, atau berkurangnya performa komponen sistem. Meskipun demikian, pola ini tetap menunjukkan bahwa penggunaan sirip berpengaruh pada intensitas yang dihasilkan, di mana konfigurasi enam sirip secara umum memberikan hasil yang lebih optimal meskipun mengalami fluktuasi dan penurunan serupa.



Gambar 4. Intensitas yang didapatkan dari beberapa konfigurasi panel surya

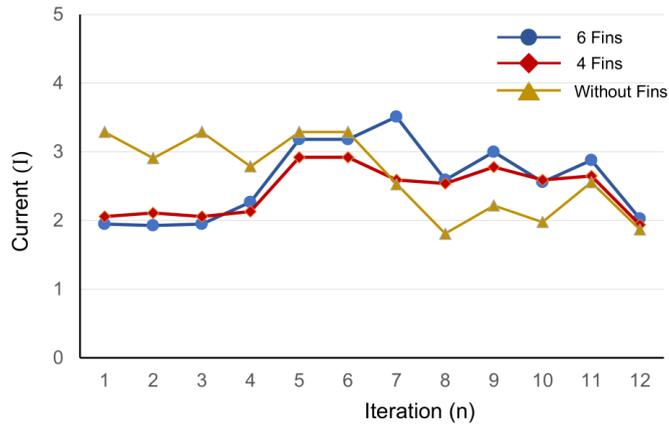
3.3 Arus Panel Surya

Arus listrik merupakan parameter krusial dalam sistem panel surya yang menunjukkan aliran elektron hasil dari proses konversi energi fotovoltaik. Besarnya arus yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari, efisiensi konversi energi pada panel, serta sistem manajemen panas yang memengaruhi suhu operasi panel. Dalam penelitian ini, hubungan antara jumlah iterasi (n) dan arus listrik (I) dianalisis pada tiga konfigurasi sistem yang berbeda untuk mengevaluasi pengaruh sirip pendingin terhadap stabilitas dan performa panel surya. Hasil pengukuran arus pada masing-masing sistem ditampilkan dalam Gambar 5 berikut.

Gambar 5 memperlihatkan hubungan antara jumlah iterasi dengan arus listrik yang dihasilkan oleh panel surya pada tiga konfigurasi berbeda: tanpa sirip pendingin, dengan 4 sirip pendingin, dan dengan 6 sirip pendingin. Pada kondisi tanpa sirip, arus yang dihasilkan cenderung berfluktuasi lebih signifikan dibandingkan dengan yang menggunakan sirip pendingin. Hal ini menunjukkan bahwa tanpa sistem pendingin tambahan, distribusi panas menjadi kurang optimal, sehingga performa panel surya menjadi tidak stabil. Penurunan arus pada beberapa iterasi kemungkinan disebabkan oleh akumulasi panas di permukaan panel, yang berdampak pada menurunnya efisiensi konversi energi.

Selanjutnya, konfigurasi panel surya dengan penambahan 4 sirip pendingin menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan sistem tanpa sirip pendingin. Arus listrik mulai meningkat setelah iterasi ke-4, dengan kisaran nilai antara 2 hingga 3 ampere. Meskipun terdapat sedikit fluktuasi pada beberapa iterasi dan penurunan arus ini kemungkinan dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti penurunan intensitas cahaya matahari atau peningkatan suhu lingkungan yang memengaruhi efektivitas pendinginan sirip. Secara keseluruhan, penambahan 4 sirip pendingin memberikan dampak positif terhadap pelepasan panas, sehingga mampu meningkatkan kestabilan dan efisiensi sistem pendingin panel surya.

Konfigurasi dengan 6 sirip pendingin menghasilkan arus listrik yang lebih stabil dan umumnya lebih tinggi dibandingkan kondisi lainnya, mencapai kisaran 2 hingga 3,5 ampere pada saat pengujian berlangsung. Peningkatan kinerja yang signifikan mulai terlihat sejak iterasi ke-4, di mana lonjakan arus lebih tajam dibandingkan konfigurasi lainnya. Namun demikian, penurunan arus terjadi pada iterasi ke-8 dan ke-12 menunjukkan bahwa meskipun sistem pendinginan lebih efektif, faktor lingkungan seperti perubahan suhu, intensitas cahaya, atau aliran udara tetap berpengaruh terhadap performa panel. Hal ini menggarisbawahi pentingnya pengelolaan termal yang menyeluruh untuk menjaga efisiensi konversi energi secara optimal.

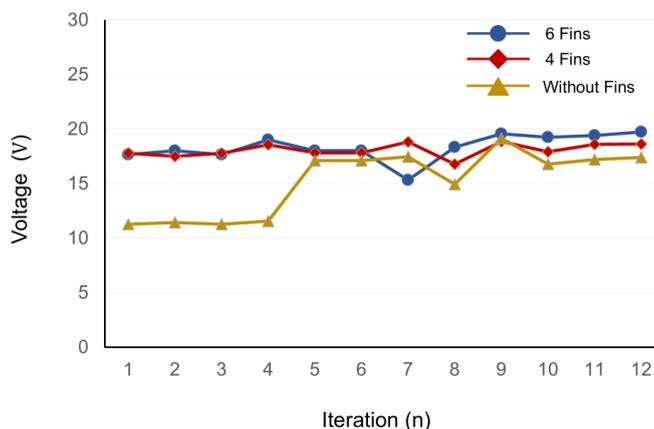


Gambar 5. Arus yang didapat pada beberapa konfigurasi panel surya

3.4 Tegangan Panel Surya

Tegangan merupakan salah satu parameter utama dalam sistem panel surya yang menunjukkan perbedaan potensial listrik antara terminal positif dan negatif. Tegangan yang stabil sangat penting untuk menjaga kinerja sistem agar tetap optimal, terutama saat menghadapi variasi kondisi lingkungan seperti intensitas cahaya matahari dan suhu sekitar. Gambar 6 memperlihatkan hubungan antara tegangan dan jumlah iterasi untuk tiga konfigurasi sistem yang berbeda. Berbeda dengan pola arus sebelumnya, sistem dengan sirip pendingin (4 dan 6 sirip) menunjukkan nilai tegangan yang relatif stabil sejak awal pengukuran, berada pada kisaran 17 sampai 20 V. Sementara itu, sistem tanpa sirip memulai dengan tegangan yang lebih rendah, sekitar 11 V, dan mengalami peningkatan signifikan pada iterasi ke-5, mendekati nilai tegangan pada sistem bersirip.

Analisis hubungan antara arus dan tegangan menunjukkan bahwa sistem tanpa sirip pada awalnya memiliki tegangan rendah namun arus tinggi. Setelah iterasi ke-5, terjadi perubahan di mana tegangan meningkat sementara arus justru menurun, yang mengindikasikan adanya peningkatan resistansi dalam sistem, kemungkinan besar akibat akumulasi panas. Sebaliknya, sistem dengan 6 sirip mampu mempertahankan tegangan yang stabil serta arus yang terkontrol, menunjukkan bahwa sirip pendingin efektif dalam menjaga suhu sistem dan menstabilkan resistansi. Sistem dengan 4 sirip memiliki karakteristik tegangan yang serupa dengan sistem 6 sirip, namun dengan arus yang sedikit lebih rendah, menandakan pendinginan yang kurang optimal. Secara keseluruhan, penggunaan sirip terbukti efektif dalam menstabilkan tegangan sistem dan secara tidak langsung memengaruhi arus melalui manajemen panas yang lebih baik. Hal ini turut berperan dalam menjaga output daya sistem tetap stabil. Temuan ini mengonfirmasi bahwa pengelolaan panas melalui sirip pendingin memiliki pengaruh besar terhadap karakteristik kelistrikan panel surya secara keseluruhan.



Gambar 6. Tegangan yang didapatkan dari 3 konfigurasi panel surya yang berbeda

3.5 Efisiensi Panel Surya

Efisiensi menunjukkan seberapa besar kemampuan panel surya dalam mengubah energi matahari menjadi energi listrik yang dapat digunakan. Beberapa faktor utama yang memengaruhi efisiensi ini antara lain suhu operasi panel, intensitas cahaya matahari, serta desain sistem pendingin yang digunakan. Oleh karena itu, berbagai upaya untuk meningkatkan efisiensi, seperti penerapan sirip pendingin menjadi langkah penting agar kinerja panel surya tetap optimal meskipun menghadapi tantangan lingkungan. Penggunaan sirip pendingin tidak hanya membantu menjaga suhu kerja tetap stabil, tetapi juga meningkatkan daya konversi energi secara keseluruhan.

Tabel 2 menampilkan rangkuman nilai efisiensi yang didapatkan dari panel surya dalam tiga konfigurasi berbeda: tanpa sirip pendingin, dengan 4 sirip pendingin, dan dengan 6 sirip pendingin. Data ini secara komprehensif menguraikan bagaimana penambahan dan jumlah sirip pendingin memengaruhi performa dan efisiensi dari panel surya yang diuji. Penggunaan sirip pendingin, khususnya dengan konfigurasi enam sirip, terbukti secara signifikan meningkatkan efisiensi panel surya. Hal ini terlihat dari rata-rata daya keluaran sebesar 47,25 watt dan efisiensi mencapai 12,2728%, yang lebih tinggi dibandingkan konfigurasi empat sirip maupun panel tanpa pendingin. Keunggulan ini muncul berkat kemampuan sirip dalam mempercepat pelepasan panas dari permukaan panel, sehingga suhu operasi tetap terjaga pada tingkat yang optimal. Suhu yang lebih rendah membantu mengurangi hambatan internal pada material panel, sehingga efisiensi konversi energi fotovoltaik meningkat. Selain itu, panel dengan enam sirip juga menunjukkan kestabilan daya yang lebih baik meskipun terjadi perubahan kondisi lingkungan, seperti fluktuasi intensitas cahaya atau cuaca berawan.

Sebaliknya, panel tanpa sistem pendingin hanya mampu menghasilkan daya rata-rata sebesar 40,81 watt dengan efisiensi 11,3612%, yang menunjukkan dampak negatif dari penumpukan panas terhadap performa panel. Sementara itu, konfigurasi empat sirip berada di antara keduanya, dengan rata-rata daya 43,36 watt dan efisiensi 12,2597%. Hasil ini memperkuat fakta bahwa penggunaan sirip pendingin memang memberikan manfaat nyata, dan penambahan jumlah sirip hingga enam unit mampu memberikan peningkatan performa yang lebih optimal.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Efisiensi Panel Surya

No	6 Sirip Pendingin	4 Sirip Pendingin	Tanpa Sirip Pendingin
1	12.46%	11.71%	9.92%
2	10.79%	10.37%	8.97%
3	10.16%	10.32%	10.96%
4	11.99%	12.09%	11.6%
5	11.87%	11.04%	12.55%
6	12.42%	11.49%	13.34%
7	10.9%	10.56%	10.4%
8	11.14%	11.2%	7.95%
9	12.27%	12.73%	12.04%
10	13.28%	17.39%	10.96%
11	13.2%	12.92%	13.0%
12	16.78%	15.31%	14.64%
Rata-rata	12,2728%	12,2597%.	11,3612%

4. KESIMPULAN

Berdasarkan studi eksperimental yang dilakukan pada tiga variasi desain panel surya yang berbeda: dengan penambahan 4 sirip pendingin, 6 sirip pendingin, dan tanpa sirip pendingin, maka dapat disimpulkan beberapa hal berikut:

1. Panel tanpa sistem pendingin menunjukkan suhu tertinggi dan paling tidak stabil, yang berpotensi menurunkan efisiensi konversi energi fotovoltaik. Sebaliknya, penggunaan sirip pendingin terbukti efektif dalam menjaga suhu permukaan panel tetap optimal. Konfigurasi dengan enam sirip pendingin menunjukkan performa terbaik, dengan suhu paling rendah dan stabil dalam rentang 35°C hingga 40°C.

2. Panel surya dengan enam sirip pendingin secara umum menunjukkan kinerja intensitas cahaya yang lebih optimal dibandingkan dengan konfigurasi empat sirip maupun tanpa sirip, terutama setelah iterasi awal. Meskipun ketiga sistem mengalami fluktuasi dan penurunan intensitas di akhir pengukuran, sistem dengan enam sirip tetap unggul dalam mempertahankan nilai intensitas yang lebih baik. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan sirip pendingin tidak hanya berfungsi sebagai pengontrol suhu, tetapi juga mampu meningkatkan penerimaan dan pengolahan intensitas cahaya, yang pada akhirnya berdampak positif terhadap efisiensi konversi energi panel surya.
3. Panel tanpa sirip pendingin menunjukkan fluktuasi arus yang tinggi akibat akumulasi panas yang tidak terkelola dengan baik, sehingga menyebabkan penurunan efisiensi. Sementara itu, penambahan 4 sirip pendingin mampu meningkatkan stabilitas aliran arus dan membantu proses pelepasan panas, meskipun masih terjadi fluktuasi kecil akibat faktor lingkungan. Namun, konfigurasi paling optimal ditunjukkan oleh panel dengan 6 sirip pendingin, yang menghasilkan arus lebih tinggi dan lebih stabil dibandingkan kedua konfigurasi sebelumnya.
4. Sistem panel surya dengan sirip pendingin, baik 4 maupun 6 sirip pendingin menunjukkan tegangan yang lebih stabil sejak awal pengujian, berkisar antara 17 hingga 20 volt. Sebaliknya, sistem tanpa sirip menunjukkan tegangan awal yang lebih rendah dan fluktuatif, dan meningkat setelah iterasi kelima namun disertai dengan penurunan arus, mengindikasikan peningkatan resistansi akibat akumulasi panas.
5. Penerapan sirip pendingin terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi konversi energi dengan menjaga suhu panel tetap optimal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konfigurasi dengan enam sirip menghasilkan efisiensi tertinggi sebesar 12,2728% dan daya keluaran rata-rata 47,25 watt, lebih unggul dibandingkan konfigurasi empat sirip maupun tanpa pendingin.

UCAPAN TERIMA KASIH

Para penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penelitian ini, khususnya kepada Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Suwargina, I. T. Sulistyono, and Komarudin. (2014). *Studi Karakteristik Pencatutan Sel Surya Terhadap Suhu Dan Intensitas Cahaya Matahari Di Kota Cilegon*. vol. 1, pp. 1–11.
- [2] R. Pido, R. H. Boli, M. Rifal, and W. Rauf. (2023). *Pengaruh pendinginan fluida udara terhadap kinerja fotovoltaik dengan variasi laju aliran udara*. *SINTEK J. J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 17, no. 1, p. 50, doi: 10.24853/sintek.17.1.50-56.
- [3] P. Sidi. (2016). *Peningkatan Energi Dalam Negeri terhadap Perkembangan Ekonomi Global dapat Meningkatkan Ketahanan Nasional*. *Kaji. Lemhannas RI*, vol. 27, no. 9, p. 25.
- [4] V. Dwisari, S. Sudarti, and Y. Yushardi. (2023). *Pemanfaatan Energi Matahari: Masa Depan Energi Terbarukan*. *Opt. J. Pendidik. Fis.*, vol. 7, no. 2, pp. 376–384, , doi: 10.37478/optika.v7i2.3322.
- [5] B. H. Purwoto, J. Jatmiko, M. A. Fadilah, and I. F. Huda. (2018). *Efisiensi Penggunaan Panel Surya sebagai Sumber Energi Alternatif*. *Emit. J. Tek. Elektro*, vol. 18, no. 1, pp. 10–14, doi: 10.23917/emitor.v18i01.6251.
- [6] G. R. Cahyono, P. R. Ansyah, and N. Q. Awaly. (2021). *Pendinginan panel surya menggunakan kotak pendingin dan sirip pendingin*. *Angkasa J. Ilm. Bid. Teknol.*, vol. 13, no. 1, pp. 73–79, 2021, doi: 10.28989/angkasa.v13i1.947.
- [7] F. Subekti, S. Wahyudi, and F. Gapsari. (2023). *Pengaruh Geometri Dan Penambahan Jumlah Sirip Terhadap Distribusi Temperatur Heat Sink Sebagai Alternatif Pendinginan Pada Piranti Elektronik*. *J. Rekayasa Mesin*, vol. 14, no. 3, pp. 939–952, 2023, doi: 10.21776/jrm.v14i3.1465.
- [8] Suwarti. (2019). *Analisis Pengaruh Intensitas Matahari, Suhu Permukaan & Sudut Pengarah Terhadap Kinerja Panel Surya*. *Eksergi*, vol. 14, no. 3, p. 78, 2019, doi: 10.32497/eksergi.v14i3.1373.
- [9] T. M. Rumagit, B. L. Maluegha, and N. C. V. Monintja. (2023). *UNJUK KERJA PANEL SURYA 100 Wp MONOCRYSTALLINE DALAM MENGHASILKAN LISTRIK*. *J. Tekno Mesin*, vol. 9, no. 2, pp. 92–97, doi: 10.35793/jtm.v9i2.50451.
- [10] S. A. Kaban, M. Jafri, and G. Gusnawati. (2020). *Optimalisasi Penerimaan Intensitas Cahaya Matahari Pada Permukaan Panel Surya (Solar Cell) Menggunakan Cermin*. *J. Fis. Fis. Sains dan Apl.*, vol. 5, no. 2, pp. 108–117, doi: 10.35508/fisa.v5i2.2243.

- [11] S. Widyawati Putri, G. Marausna, and E. Eko Prasetyo. (2022). Analisis Pengaruh Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Daya Keluaran Pada Panel Surya,” *Tek. STTKD J. Tek. Elektron. Engine*, vol. 8, no. 1, pp. 29–37, doi: 10.56521/teknika.v8i1.442.
- [12] S. Yuliananda, G. Sarya, and R. Retno Hastijanti. (2015). *Pengaruh Perubahan Intensitas Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Surya. J. Pengabd. LPPM Untag Surabaya Nop.*, vol. 01, no. 02, pp. 193–202, 2015.
- [13] Z. Arifin, D. D. D. P. Tjahjana, S. Hadi, R. A. Rachmanto, G. Setyohandoko, and B. Sutanto. (2020). *Numerical and experimental investigation of air cooling for photovoltaic panels using aluminum heat sinks. Int. J. Photoenergy*, doi: 10.1155/2020/1574274.
- [14] H. A. Kazem, A. H. A. Al-Waeli, M. T. Chaichan, K. Sopian, A. A. Ahmed, and W. I. Wan Nor Roslam. (2023). *Enhancement of photovoltaic module performance using passive cooling (Fins): A comprehensive review. Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 49, no. January, p. 103316, 2023, doi: 10.1016/j.csite.2023.103316.
- [15] J. C. Mojumder, W. T. Chong, H. C. Ong, K. Y. Leong, and Abdullah-Al-Mamoon. (2016). *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.s