

## BAB I PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Indonesia memiliki potensi energi surya yang cukup besar. Menurut *Indonesia Energy Outlook* (IEO) 2019, potensi energi surya mencapai 207,8 GWp, menjadikannya yang terbesar diantara jenis energi terbarukan lainnya (Faisal & Awaludin, 2022). Hal ini disebabkan letak geografis Indonesia yang berada di garis khatulistiwa, sehingga menerima intensitas penyinaran matahari yang tinggi. Rata-rata potensi energi surya di wilayah Indonesia sekitar 4,8 kWh/m<sup>2</sup> per hari, dengan durasi penyinaran tahunan sekitar 2975 jam atau 8,2 jam per hari. Meskipun potensinya besar, pemanfaatannya masih belum maksimal (Indrasari et al., 2019). Panel surya merupakan komponen utama dalam sistem Photovoltaic (PV) yang berfungsi mengubah energi matahari menjadi energi listrik (Dewi et al., 2022). Salah satu faktor yang memengaruhi kinerja panel surya adalah pengendalian suhu permukaan panel (Abast et al., 2023).

Semakin besar radiasi matahari yang ditangkap panel surya, semakin besar pula daya listrik yang dihasilkan. Sekitar 15–20% energi matahari yang diserap diubah menjadi listrik, sedangkan sisanya menjadi panas yang meningkatkan temperatur permukaan panel (Karyani et al., 2023). Peningkatan suhu ini justru menurunkan daya listrik yang dihasilkan, di mana suhu optimal panel surya untuk efisiensi maksimal adalah sekitar 25°C. Penelitian menunjukkan bahwa setiap kenaikan 1°C dari suhu ideal dapat menurunkan efisiensi sebesar 0,45% (Dewi et al., 2023). Oleh karena itu, untuk meningkatkan efisiensi, panas berlebih pada panel dapat dimanfaatkan menggunakan *Thermoelectric Generator* (TEG).

*Thermoelectric Generator* (TEG) dapat dimanfaatkan sebagai sistem pendukung untuk mengonversi panas berlebih menjadi listrik tambahan. Perangkat TEG ini memiliki biaya perawatan yang rendah dan tidak menghasilkan emisi gas berbahaya. Selain itu, teknologi ini dapat diterapkan pada berbagai skala dan efektif dioperasikan tanpa merusak lingkungan. Dengan demikian, penambahan TEG pada sistem panel surya meningkatkan efisiensi konversi serta

mengurangi jumlah panas terbuang yang dilepaskan oleh sistem tersebut (Sahin *et al.*, 2020).

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan hibrida sistem antara *Photovoltaic* (PV) dengan *Thermoelectric Generator* (TEG). Wahyu (2023) menganalisis efisiensi energi listrik pada panel surya yang dilengkapi TEG untuk menurunkan suhu operasional panel. Penelitian dilakukan dengan mengukur tegangan, arus, daya, temperatur, dan intensitas cahaya matahari yang diterima panel. Hasilnya menunjukkan bahwa penggunaan TEG mampu menurunkan suhu panel dan meningkatkan efisiensi hingga 0,37%. TEG berpengaruh signifikan terhadap temperatur panel surya dengan meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan. Meskipun TEG telah menunjukkan potensi dalam meningkatkan efisiensi panel surya, penelitian menunjukkan bahwa efektivitasnya masih dapat ditingkatkan melalui penggunaan sistem pendinginan pasif.

Salah satu solusi untuk meningkatkan efisiensi dan mengatasi keterbatasan sistem PV-TEG adalah penggunaan *heatsink* sebagai pendingin pasif. Menurut Utomo *et al.* (2023), *heatsink* lebih sederhana, hemat biaya, dan tidak memerlukan energi tambahan dibandingkan sistem pendinginan aktif. Komponen ini tidak hanya menurunkan suhu panel PV, tetapi juga menjaga gradien suhu pada perangkat TEG, sehingga meningkatkan efisiensi konversi energi panas menjadi listrik. *Heatsink* dirancang untuk menyerap dan mendistribusikan panas dari permukaan panel guna mencegah suhu berlebih yang dapat menurunkan efisiensi (Abdullah *et al.*, 2024). *Fins* atau Sirip pada permukaan *heatsink* meningkatkan aliran udara dan memperbaiki perpindahan panas secara konveksi. Desain seperti *pin fins* (sirip batang kecil) dan *plate fins* (sirip pipih) dianggap sederhana namun efektif dalam mendukung pendinginan pasif (J. Li & Yang, 2023).

Penelitian yang ditunjukkan oleh Joo dan Kim (2015) membandingkan kinerja termal antara *heatsink* plate-fin dan pin-fin pada kondisi konveksi alami dengan ukuran pelat dasar dan tinggi sirip yang sama serta desain yang dioptimalkan. Hasilnya, *heatsink* plate-fin mampu membuang panas lebih besar dibandingkan pin-fin pada sebagian besar aplikasi, dengan total heat dissipation

maksimum 287,1 W, sedangkan pin-fin hanya 225,6 W. Penelitian lainnya oleh Ozbalci et al. (2022) membandingkan kinerja perpindahan panas antara *heatsink* plate-fin dan pin-fin untuk pendinginan elektronik. Hasilnya, *heatsink* dengan plate-fin mampu meningkatkan kinerja perpindahan panas hingga 64,25% dibandingkan permukaan tanpa sirip, sedangkan *heatsink* dengan pin-fin mencatat peningkatan maksimum 56,4%. Temuan ini menunjukkan bahwa desain plate-fin lebih efektif dalam meningkatkan efisiensi perpindahan panas.

Bahan yang digunakan juga memainkan peran penting dalam meningkatkan efisiensi sistem pendinginan. *Heatsink* yang dipasang di bagian belakang panel PV umumnya terbuat dari logam dengan konduktivitas termal tinggi, seperti tembaga atau aluminium, yang memungkinkan transfer panas lebih cepat dan efisien (Popovici et al., 2016). Penelitian oleh Durgam et al. (2022) membandingkan kinerja *heatsink* berbahan aluminium dan tembaga pada berbagai kecepatan aliran udara. Tembaga menunjukkan perpindahan panas yang lebih tinggi dengan Nusselt Number (Nu) sebesar 7,6, dibandingkan aluminium sebesar 6,8. Namun, perbedaan ini tidak terlalu signifikan jika dibandingkan dengan keunggulan aluminium yang lebih ringan ( $2.700 \text{ kg/m}^3$  vs.  $8.700 \text{ kg/m}^3$ ) dan lebih ekonomis (\$1,587/kg vs. \$4,628/kg). Oleh karena itu, aluminium menjadi pilihan material *heatsink* yang lebih unggul dengan pertimbangan efisiensi termal, biaya, dan kemudahan produksi.

Penelitian lainnya oleh Micheli et al. (2016) membandingkan efisiensi aluminium dan tembaga dalam konteks pendinginan pasif pada fotovoltaiik konsentrator tinggi. Hasilnya menunjukkan bahwa meskipun tembaga sedikit lebih unggul dalam kinerja termal, *heatsink* aluminium secara keseluruhan lebih efisien dan ekonomis. Aluminium mampu menurunkan suhu panel sebesar 13–18 °C, yang berkontribusi pada peningkatan output listrik hingga 16%.

Seiring dengan perkembangan teknologi sistem hibrida PV-TEG, penambahan *heatsink* menjadi salah satu solusi untuk mengoptimalkan kinerja sistem. *Heatsink* berfungsi tidak hanya untuk menurunkan suhu panel PV, tetapi juga untuk mempertahankan perbedaan suhu yang dibutuhkan oleh perangkat TEG agar dapat bekerja secara efektif. Penggunaan *heatsink* dengan bahan dan

geometri yang sesuai dapat meningkatkan kemampuan pelepasan panas, sehingga mengurangi panas berlebih yang dapat menurunkan efisiensi sistem. *Heatsink* membantu menjaga suhu panel tetap dalam kisaran ideal dan memaksimalkan energi listrik yang dihasilkan dari konversi panas oleh TEG. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh penggunaan aluminium fin *heatsink* n pada sistem hibrida Photovoltaic-*Thermoelectric Generator* (PV-TEG).

## **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh penggunaan aluminium *fin heatsink* pada hibrida sistem PV-TEG?
2. Bagaimana perbedaan efisiensi daya pada sistem PV-TEG dengan dan tanpa aluminium *fin heatsink*?
3. Bagaimana pengaruh variasi sirip aluminium *heatsink* terhadap efisiensi daya sistem PV-TEG?

## **C. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini sebagai berikut;

1. Menganalisis pengaruh penggunaan aluminium *fin heatsink* pada hibrida sistem PV-TEG.
2. Mengukur dan membandingkan efisiensi daya pada sistem PV-TEG dengan dan tanpa aluminium *fin heatsink*.
3. Mengidentifikasi hubungan variasi sirip *heatsink* dengan efisiensi daya yang dihasilkan pada sistem PV-TEG.

## **D. Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi yang baik untuk kedepannya. Berikut manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan pendekatan baru untuk meningkatkan efisiensi sistem panel surya melalui integrasi *heatsink* dan TEG, sehingga mendukung penggunaan energi terbarukan yang lebih efektif dan berkelanjutan.
2. Menambah wawasan dalam bidang teknologi energi terbarukan, khususnya mengenai pengaruh *heatsink* dalam meningkatkan kinerja hibrida sistem PV-TEG, dan dapat menjadi referensi untuk studi lebih lanjut di masa depan.

