

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Kebutuhan energi semakin meningkat seiring bertambahnya jumlah populasi manusia dan kemajuan teknologi. Energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar untuk memenuhi kebutuhan energi dunia di masa depan karena ketersediaannya yang melimpah dan sifatnya yang ramah lingkungan (Syahputra & Soesanti, 2021). Indonesia, sebagai negara yang terletak di garis khatulistiwa, memiliki keunggulan geografis dengan intensitas penyinaran matahari yang tinggi sepanjang tahun, menjadikannya salah satu wilayah dengan potensi besar untuk pengembangan teknologi energi surya (Paradongan *et al.*, 2024). Salah satu cara utama untuk memanfaatkan energi surya adalah melalui panel surya yang bekerja berdasarkan prinsip fotovoltaik, yaitu konversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik (Almanda & Piliang, 2019).

Salah satu tantangan utama dalam pemanfaatan energi surya adalah efisiensi konversi energi pada panel surya yang dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya adalah suhu operasional panel surya (Ouédraogo *et al.*, 2021). Peningkatan suhu yang tinggi akan mempengaruhi efisiensi panel surya terutama karena penurunan tegangan listrik yang dihasilkan (Althoubi *et al.*, 2021). Suhu operasional panel surya yang tinggi dapat menyebabkan penurunan efisiensi konversi energi hingga 0,5% untuk setiap kenaikan suhu sebesar satu derajat celsius dari suhu operasionalnya (Shalaby *et al.*, 2022)

Solusi yang telah banyak diteliti untuk meningkatkan efisiensi panel surya adalah penerapan sistem pendingin (Almanda & Bhaskara, 2018). Sistem pendingin

ini bertujuan untuk menurunkan suhu operasional panel surya, sehingga dapat meminimalkan penurunan efisiensi akibat panas berlebih. Secara umum, sistem pendingin pada panel surya dapat dibagi menjadi dua jenis utama, yaitu pendingin pasif dan pendingin aktif (Dewi *et al.*, 2023). Pendingin pasif bekerja dengan memanfaatkan perpindahan panas alami, seperti radiasi, konveksi, atau konduksi, tanpa memerlukan energi tambahan (Sheikh *et al.*, 2024). Di sisi lain, pendingin aktif dirancang untuk memberikan pendinginan dengan memanfaatkan energi eksternal (Marausna, 2021). Meskipun sistem pendingin aktif biasanya lebih efisien dalam menurunkan suhu, penerapannya dianggap kurang efektif karena membutuhkan sumber daya tambahan (Sheikh *et al.*, 2024).

Sistem pendingin pasif memiliki beberapa keunggulan, di antaranya kesederhanaan desain, biaya operasional yang rendah, serta kemampuannya untuk bekerja tanpa memerlukan sumber energi tambahan (Lai & Lu, 2024). Salah satu pendingin pasif yang telah digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi elektronik untuk mengendalikan suhu perangkat adalah *heatsink* (Abdullah *et al.*, 2023). Dimensi *heatsink* yang berbeda juga mempengaruhi performa dalam menurunkan suhu, dimensi *heatsink* yang lebih lebar memiliki performa yang lebih baik dalam menurunkan suhu sel surya dibandingkan *heatsink* dengan dimensi yang lebih kecil (Refaey *et al.*, 2022). Berbagai variasi dan material *heatsink* juga mempengaruhi distribusi suhu dan resistansi termalnya, penelitian oleh Bouknadel *et al.*, (2014) telah melakukan simulasi terhadap berbagai variasi desain *heatsink* dan menunjukkan adanya perbedaan signifikan dalam efisiensi pelepasan panas di antara berbagai variasi sirip, menghasilkan variasi sirip pin berbentuk elips yang

paling efisien. Namun, penelitian tersebut lebih berfokus pada analisis numerik dalam lingkungan simulasi dan belum menginvestigasi kinerja *heatsink* dalam kondisi aplikasi nyata, khususnya pada sistem pendinginan pasif panel surya.

Penggunaan *heatsink* sebagai pendingin pasif pada panel surya telah menunjukkan potensi dalam meningkatkan efisiensi konversi energi. Penelitian oleh Denk *et al.*, (2022) menunjukkan bahwa *heatsink* dengan sirip paralel mampu menurunkan suhu permukaan panel surya, yang berdampak pada peningkatan tegangan keluaran dengan selisih rata-rata sebesar 2,24 V. Namun, penelitian tersebut masih memiliki keterbatasan, terutama dalam metode pengambilan data yang masih dilakukan secara manual menggunakan multimeter dan termometer digital. Metode ini tidak memungkinkan pencatatan data secara kontinu, sehingga variasi suhu dan daya yang terjadi dalam berbagai kondisi lingkungan tidak dapat terpantau secara optimal. Oleh karena itu, implementasi teknologi *Internet of Things* (IoT) dalam sistem monitoring panel surya menjadi solusi yang relevan untuk mengatasi keterbatasan tersebut. IoT memungkinkan pemantauan parameter penting seperti suhu dan daya secara *real-time* dan sistematis (Laghari *et al.*, 2022), sehingga memungkinkan perbandingan yang lebih komprehensif terhadap efektivitas berbagai desain *heatsink*.

Berdasarkan uraian di atas, maka penelitian ini akan membandingkan kinerja *heatsink* sirip paralel dan *heatsink* sirip pin menggunakan sistem monitoring berbasis IoT. Dengan adanya sistem monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT), parameter seperti suhu dan daya keluaran panel surya dapat diukur secara *real time*, memungkinkan analisis lebih komprehensif terhadap pengaruh desain *heatsink*

terhadap performa panel. Penelitian ini akan memberikan wawasan yang lebih mendalam mengenai desain *heatsink* yang optimal dalam meningkatkan kinerja panel surya.

## **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, rumusan masalah pada penelitian ini adalah belum adanya penelitian yang membandingkan variasi desain *heatsink* sirip paralel dan *heatsink* sirip pin sebagai pendingin pasif terhadap daya keluaran yang dihasilkan oleh panel surya yang terintegrasi dengan sistem pemantauan secara berkala.

## **C. Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan variasi desain *heatsink* sirip paralel dan *heatsink* sirip pin sebagai sistem pendingin pasif panel surya yang dilengkapi dengan sistem pemantauan secara berkala berbasis *Internet of Things*. Dengan adanya penelitian ini, daya listrik dari panel surya dengan dua variasi desain *heatsink* sebagai sistem pendingin pasif yang berbeda dapat dipantau secara *real time* sekaligus dapat dibandingkan dengan panel surya tanpa sistem pendingin.

## **D. Batasan Masalah**

Tujuan adanya batasan masalah adalah agar permasalahan yang diuraikan tidak meluas dan mampu dibahas dengan cermat sesuai batas keilmuan peneliti. Berikut adalah beberapa batasan masalah yang terdapat dalam penelitian ini :

1. Penelitian ini menggunakan panel surya *polycrystalline* berkapasitas 10 Wp.
2. Penelitian ini hanya membahas efisiensi metode pendinginan pasif menggunakan *heatsink* pada panel surya.

3. Penelitian ini menggunakan *heatsink* sirip paralel dan pin dengan material aluminium dengan dimensi panjang 40 mm, lebar 40 mm, dan tinggi 11 mm.
4. Penelitian ini hanya berfokus dengan perbandingan daya keluaran dan suhu panel surya yang terintegrasi dengan sistem pemantauan berbasis *Internet of Things* pada dua variasi desain *heatsink* sebagai pendingin pasif serta perbandingannya terhadap panel surya tanpa pendingin.
5. Pemantauan data suhu dan daya dilakukan secara berkala menggunakan sistem *Internet of Things* (IoT) dengan *platform* ThingSpeak.
6. Penelitian ini tidak mempertimbangkan faktor-faktor lingkungan seperti suhu lingkungan, kecepatan angin, kelembaban udara, dan variabel eksternal lainnya.
7. Penggunaan analisis ANOVA dilakukan dengan asumsi bahwa data suhu dan daya tersebar secara normal, sesuai syarat pengujian statistik parametrik.

#### **E. Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan solusi inovatif dalam meningkatkan efisiensi panel surya melalui penerapan pendingin pasif yang ekonomis dan berkelanjutan. Penelitian ini membantu menunjukkan pengaruh desain *heatsink* terhadap efisiensi daya yang dihasilkan oleh panel surya. Selain itu, sistem monitoring berbasis *Internet of Things* memungkinkan pengumpulan data secara *real-time*, sehingga memudahkan analisis performa panel surya dan memberikan wawasan yang bermanfaat bagi pengembangan teknologi energi terbarukan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi pertimbangan dalam memilih dan mengimplementasikan sistem pendingin pasif.