

ANALISA PENGARUH TINGGI SIRIP BERBENTUK PIN PADA HEATSINK TERHADAP KINERJA PERPINDAHAN PANAS DENGAN LAJU ALIRAN MASSA KONSTAN MENGGUNAKAN CFD

ANALYSIS OF THE EFFECT OF PIN-SHAPED FIN HEIGHT ON HEATSINK PERFORMANCE IN HEAT TRANSFER WITH CONSTANT MASS FLOW RATE USING CFD

¹Angga Darma Prabowo

¹Teknik Mesin,Fakultas Teknik, Universitas Lampung

email : langga.dprabowo@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh tinggi sirip berbentuk pin pada heatsink terhadap kinerja perpindahan panas menggunakan simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD). Variasi tinggi sirip (15mm, 30mm, dan 45mm) diuji pada tiga laju aliran massa udara yang berbeda (0.01 kg/s, 0.015 kg/s, dan 0.02 kg/s). Hasil simulasi menunjukkan bahwa tinggi sirip tidak berpengaruh signifikan terhadap temperatur permukaan heatsink, meskipun peningkatan laju aliran massa udara menyebabkan penurunan temperatur permukaan yang signifikan. Penelitian ini menyarankan eksperimen lebih lanjut untuk memahami fenomena nyata dalam aplikasi sistem pendinginan berbasis sirip pin.

Kata Kunci : Heatsink, Sirip bentuk pin, Kinerja termal, Simulasi CFD

ABSTRACT

This study aims to analyze the effect of pin-shaped fin height on heatsink thermal performance using Computational Fluid Dynamics (CFD) simulations. Various fin heights (15mm, 30mm, and 45mm) were tested at three different air mass flow rates (0.01 kg/s, 0.015 kg/s, and 0.02 kg/s). The simulation results show that fin height does not significantly affect the heatsink surface temperature, although increasing the air mass flow rate led to a significant decrease in surface temperature. The study suggests further experiments to better understand the real-world phenomena in pin-fin-based cooling systems.

Keywords : Heatsink, Pin-shaped fins, Thermal performance, CFD simulation

I. PENDAHULUAN

Pengelolaan suhu pada perangkat elektronik adalah tantangan utama yang dihadapi dalam perkembangan teknologi modern, terutama pada perangkat dengan daya tinggi seperti prosesor, transistor daya, dan LED. Kelebihan suhu pada komponen-komponen tersebut dapat mengurangi kinerja atau bahkan merusak bagian-bagian perangkat secara permanen. Oleh karena itu, sistem pendinginan yang efektif sangat penting untuk menjaga suhu tetap stabil dan aman. *Heatsink* merupakan salah satu solusi utama yang digunakan untuk menurunkan suhu komponen elektronik. Salah satu cara untuk meningkatkan kinerja *heatsink* adalah dengan menambah area permukaan, sehingga memungkinkan lebih banyak panas untuk dipindahkan dari komponen ke lingkungan. Salah satu desain yang sering digunakan adalah sirip berbentuk pin, yang memiliki keuntungan dalam meningkatkan area permukaan dan menghasilkan turbulensi

aliran fluida. Hal ini meningkatkan konveksi dan membantu proses perpindahan panas yang lebih efektif. Meskipun desain ini telah banyak digunakan, pengoptimalan tinggi sirip untuk mencapai kinerja terbaik masih menjadi area penelitian yang perlu dikaji lebih lanjut.

Penelitian yang dilakukan oleh Forghan et al. (2001) menunjukkan bahwa peningkatan tinggi sirip pada *heatsink* berbentuk pin dapat meningkatkan area permukaan, yang berperan besar dalam peningkatan efisiensi perpindahan panas. Lasance dan Eggink (2001) juga mendalami efek dari sirip pin, mengungkapkan bahwa desain ini meningkatkan turbulensi aliran fluida, yang pada gilirannya memperbaiki koefisien perpindahan panas pada aliran fluida yang tidak terarah. Penelitian oleh Yang et al. (2024) mengonfirmasi bahwa variasi tinggi sirip meningkatkan performa termal, dengan sirip yang lebih tinggi memberikan efisiensi perpindahan panas yang lebih baik. Namun, meskipun beberapa penelitian ini memberikan wawasan mengenai desain sirip, pengaruh variasi tinggi sirip dalam kondisi aliran massa konstan masih belum dibahas secara menyeluruh.

Penelitian oleh Sahray et al. (2008) mengkaji pengaruh orientasi dan jarak sirip pin terhadap konveksi alami, yang menunjukkan bahwa desain sirip pin memiliki potensi meningkatkan perpindahan panas. Namun, penelitian ini tidak fokus pada tinggi sirip sebagai faktor utama. Sementara itu, Zhang et al. (2019) melaporkan bahwa tinggi sirip pada *heatsink* berbentuk pin dapat mengurangi temperatur permukaan dan meningkatkan koefisien perpindahan panas, namun mereka belum menyelidiki pengaruh laju aliran massa pada hasil tersebut. Ini menunjukkan bahwa meskipun tinggi sirip sangat berperan dalam peningkatan efisiensi, hubungan antara tinggi sirip dan laju aliran massa konstan perlu penelitian lebih lanjut. Desain *heatsink* yang optimal perlu memperhitungkan kompromi antara turbulensi aliran dan gesekan fluida. Wang dan Johnson (2018) menyarankan bahwa keseimbangan antara kedua faktor ini harus dicapai agar *heatsink* dapat bekerja secara efisien dalam mentransfer panas tanpa menambah hambatan aliran yang berlebihan. Dalam hal ini, Smith dan Jones (2017) mengungkapkan bahwa turbulensi yang lebih besar meningkatkan perpindahan panas, namun menambah tinggi sirip dapat meningkatkan gesekan aliran, yang berdampak pada efisiensi keseluruhan.

Selain itu, Lin dan Lin (2022) melakukan penelitian tentang pengaruh geometri sirip terhadap perpindahan panas, menemukan bahwa tinggi sirip memiliki pengaruh langsung terhadap koefisien perpindahan panas. Meski demikian, mereka juga mencatat

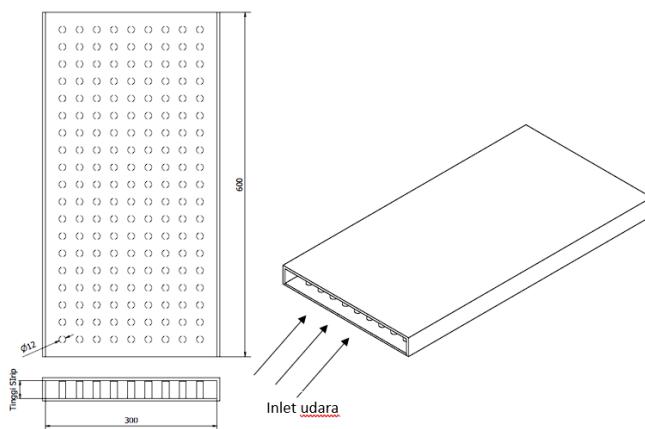
bahwa tinggi sirip yang berlebihan dapat menyebabkan peningkatan gesekan aliran, yang dapat mengurangi kinerja sistem secara keseluruhan. Dalam penelitian lain, Kumar dan Patel (2015) mengkaji geometri sirip pin dan menyimpulkan bahwa pengoptimalan desain sirip sangat penting untuk mencapai keseimbangan antara perpindahan panas dan hambatan aliran. Ochoa et al. (2020) menunjukkan bahwa desain sirip pin yang lebih besar dapat meningkatkan perpindahan panas, namun memerlukan simulasi lebih lanjut untuk menganalisis efek gesekan pada sistem aliran. Penelitian yang dilakukan oleh Rahman et al. (2019) menunjukkan bahwa pengaruh orientasi aliran sangat penting dalam perpindahan panas, meskipun mereka lebih fokus pada arah aliran fluida dan tidak membahas secara rinci tentang tinggi sirip. Patel dan Sharma (2021) memperkuat temuan ini dengan menekankan pentingnya desain sirip yang optimal untuk memperbaiki efisiensi perpindahan panas, dan mereka mendorong penelitian lebih lanjut untuk memahami pengaruh berbagai desain sirip terhadap laju aliran. Meskipun banyak penelitian yang telah dilakukan terkait geometri sirip pada *heatsink* berbentuk pin, pengaruh variasi tinggi sirip terhadap perpindahan panas dalam kondisi aliran massa konstan belum banyak diteliti secara menyeluruh. Penelitian ini penting karena akan memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai pengaruh tinggi sirip berbentuk pin terhadap kinerja termal dalam kondisi aliran massa yang konstan. Penggunaan simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) memungkinkan analisis yang lebih akurat mengenai distribusi temperatur dan aliran fluida, yang sulit dicapai hanya dengan eksperimen konvensional.

Penelitian ini diharapkan dapat mengisi kekosongan pengetahuan mengenai desain *heatsink* berbentuk pin yang lebih efisien dan memberikan panduan desain untuk aplikasi pada perangkat elektronik yang menghasilkan daya tinggi. Seiring berkembangnya teknologi, kebutuhan untuk pendinginan yang lebih efisien semakin meningkat, sehingga penelitian ini memiliki dampak yang signifikan dalam pengembangan sistem pendinginan yang lebih efektif dan efisien di masa depan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh tinggi sirip berbentuk pin pada *heatsink* terhadap kinerja perpindahan panas dalam kondisi laju aliran massa konstan, dengan menggunakan simulasi CFD. Fokus utama penelitian ini adalah untuk mengeksplorasi bagaimana perubahan tinggi sirip mempengaruhi perpindahan panas dan memberikan rekomendasi desain *heatsink* yang lebih efisien berdasarkan hasil simulasi tersebut.

II. METODE PELAKSANAAN

A. Model *Heatsink*

Desain *heatsink* yang digunakan dalam penelitian ini memiliki dimensi lebar 30 cm dan panjang 60 cm, dengan tinggi pin yang divariasikan menjadi tiga variasi, yaitu 15 mm, 30 mm, dan 45 mm. Setiap desain *heatsink* terdiri dari sirip berbentuk pin yang disusun secara merata di seluruh permukaan *heatsink* untuk meningkatkan area perpindahan panas. Model geometris *heatsink* ini dibuat menggunakan perangkat lunak desain 3D. Desain model *heatsink* dengan variasi tinggi pin ini akan digunakan sebagai input untuk simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) guna menganalisis aliran fluida dan perpindahan panas. Berikut adalah gambar 1 desain model *heatsink* yang digunakan dalam penelitian ini:



Gambar 1. Model *heatsink*

B. Variasi Laju Aliran Massa

Dalam penelitian ini, laju aliran massa fluida pendingin diatur pada tiga variasi yang berbeda, yaitu 0.01 kg/s, 0.015 kg/s, dan 0.02 kg/s. Variasi laju aliran massa ini digunakan untuk mengeksplorasi bagaimana kecepatan aliran fluida mempengaruhi perpindahan panas pada *heatsink* dengan variasi tinggi sirip yang berbeda. Setiap kondisi aliran massa diuji untuk mengidentifikasi pengaruh laju aliran massa terhadap temperatur permukaan *heatsink* dan koefisien perpindahan panas. Pengaturan aliran massa yang konstan memungkinkan peneliti untuk mempelajari secara lebih jelas bagaimana variasi desain sirip berbentuk pin berperan dalam meningkatkan efisiensi perpindahan panas.

C. Simulasi CFD

Simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) digunakan untuk menganalisis aliran fluida dan perpindahan panas pada *heatsink* dengan desain sirip berbentuk pin yang memiliki variasi tinggi. Simulasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ANSYS Fluent untuk memodelkan aliran udara dan distribusi temperatur pada *heatsink*. Berikut langkah-langkah dalam simulasi CFD:

1. Pembuatan Model Geometri

Model *heatsink* dengan variasi tinggi sirip (15mm, 30mm, dan 45mm) yang telah dibuat di perangkat lunak CAD dimasukkan ke dalam perangkat lunak ANSYS Fluent untuk simulasi.

2. Geometri *heatsink* yang telah dirancang akan di-mesh untuk memastikan analisis Pembuatan Mesh

numerik yang tepat. Area yang dekat dengan sirip akan memiliki mesh yang lebih halus untuk meningkatkan akurasi perhitungan perpindahan panas.

3. Penerapan *Boundary Conditions*

Aliran masuk atau *inlet* masuk ke *heatsink* diatur pada tiga variasi (0.01 kg/s, 0.015 kg/s, dan 0.02 kg/s). Pada sisi saluran keluar, ditetapkan kondisi batas tekanan atmosfer, dan permukaan *heatsink* diberi kondisi batas berupa *heatflux* sebesar 1000 w/m².

4. Simulasi dan post processing

Setelah boundary condition diterapkan, dilakukan proses simulasi untuk mengetahui kontur distribusi temperatur permukaan. Kamudian dilakukan post processing untuk mengetahui nilai rata-rata dari permukaan *heatsink* yang dijadikan fokus penilaian kinerja termal *heatsink*.

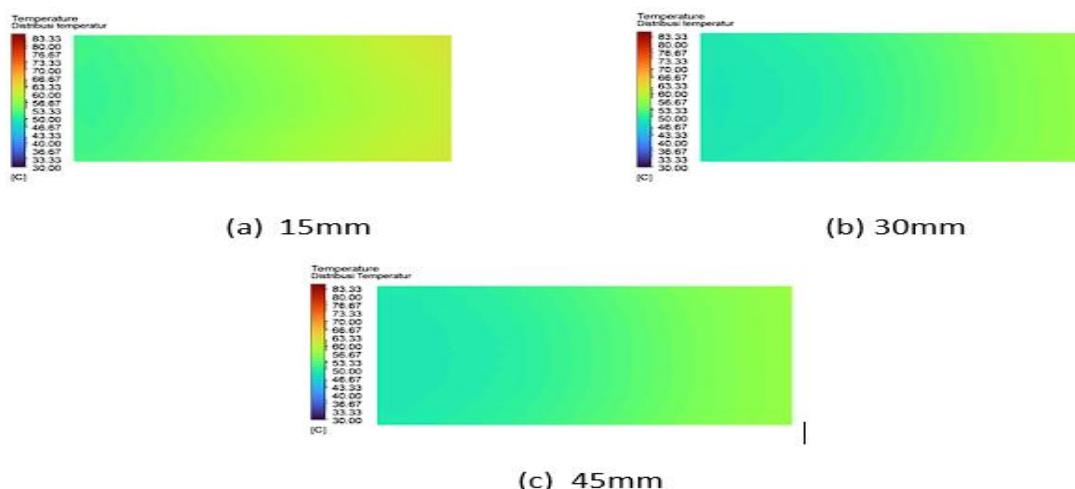
D. Analisis

Dalam penelitian ini, analisis dilakukan dengan fokus pada dua aspek utama yaitu distribusi temperatur dan rata-rata pemperatur permukaan. Analisa distribusi temperatur permukaan dilakukan untuk melihat bagaimana temperatur permukaan *heatsink* tersebar di seluruh area sirip untuk setiap variasi tinggi sirip dan laju aliran massa. Hal ini memungkinkan untuk memahami seberapa efektif *heatsink* dalam mendistribusikan panas yang diterimanya. Analisa rata-rata temperatur permukaan dilakukan untuk menentukan kinerja dari *heatsink* tersebut secara keseluruhan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Distribusi temperatur *heatsink*

Berikut gambar 2 kontur distribusi temperatur permukaan *heatsink* pada laju aliran massa 0,015 kg/s.



Gambar 2. Distribusi temperatur *heatsink*

Pada gambar 2, memiliki rentang temperatur yang sama yaitu dari 30°C hingga 85°C. Pada *heatsink* dengan tinggi sirip 15mm, distribusi temperatur pada permukaan *heatsink* menunjukkan nilai warna yang lebih besar dari *heatsink* dengan tinggi 30mm dan 45mm. Hal ini menunjukan bahwa *heatsink* dengan tinggi sirip lebih rendah memiliki kinerja termal yang lebih rendah. Namun dari sisi sumbu horizontal dapat dilihat bahwa kontur pada sumbu horizontal merata pada sisi lebar *heatsink*. Hal tersebut menunjukan bahwa tidak terjadi turbulensi yang signifikan pada aliran udara yang melalui *heatsink*.

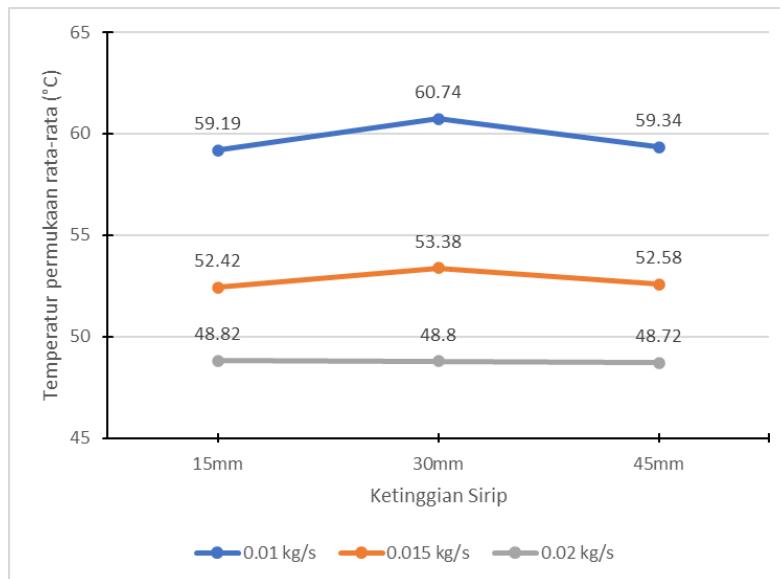
B. Rata-rata temperatur *heatsink*

Setelah proses simulasi, dilakukan proses simulasi, dilakukan post processing untuk memperoleh nilai angka dari rata-rata temperatur permukaan *heatsink*. Dari 9 pengujian berdasarkan variasi tinggi sirip dan laju aliran massa udara, diperoleh data yang disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Data rata-rata temperatur hasil pengujian CFD

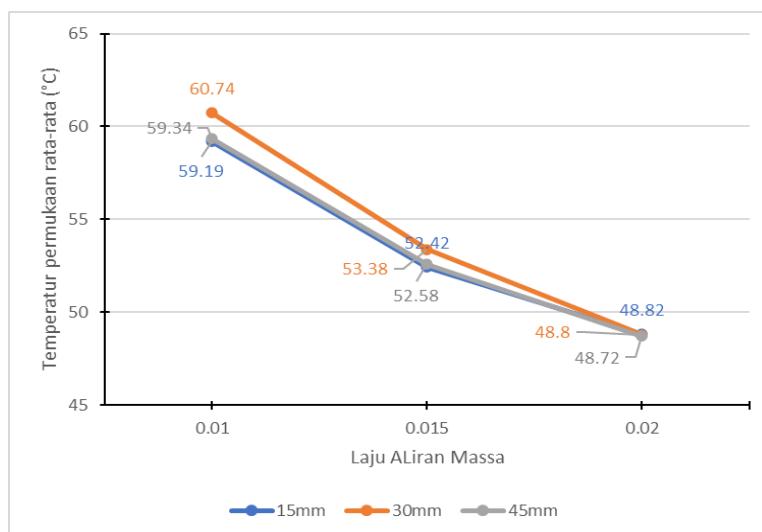
Laju aliran massa	Ketinggian sirip		
	15mm	30mm	45mm
0.01	59.19	60.74	59.34
0.015	52.42	53.38	52.58
0.02	48.82	48.8	48.72

Dari data tersebut, dibuat grafik berdasarkan pengaruh laju aliran massa udara dan ketinggian sirip untuk memperoleh gambar 3 lebih jelas.



Gambar 3. Grafik rata-rata temperatur pada variasi tinggi sirip

Dari grafik tersebut dapat dilihat rata-rata temperatur permukaan *heatsink* pada variasi ketinggian sirip. Terlihat bahwa ketinggian sirip tidak berpengaruh secara signifikan terhadap temperatur permukaan *heatsink*. Hal tersebut diperkuat dengan melakukan pengujian pada beberapa variasi laju aliran massa. Tidak signifikannya pengaruh ketinggian sirip dikarenakan seiring bertambahnya tinggi sirip, luas penampang aliran juga semakin membesar dan mengakibatkan kecepatan aliran menjadi lebih kecil. Hal tersebut yang menjadi kompensasi walaupun luas permukaan sirip bertambah, namun koefisien perpindahan panas konveksinya menurun, terlihat gambar 4



Gambar 4. Grafik rata-rata temperatur pada variasi laju aliran udara

Berbeda dengan variasi tinggi sirip, variasi laju aliran massa udara menunjukkan pengaruh yang signifikan. Semakin besar laju aliran massa udara, semakin rendah juga temperatur rata-rata dari permukaan *heatsink*. Hal tersebut diakibatkan oleh semakin besarnya laju aliran massa udara semakin besar juga koefisien perpindahan panas konveksinya.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Penelitian ini telah melakukan simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) untuk menganalisis pengaruh variasi tinggi sirip berbentuk pin terhadap kinerja termal heatsink. Dari hasil simulasi diperoleh beberapa temuan sebagai berikut:

1. Tinggi sirip berbentuk pin tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap kinerja termal heatsink, ditunjukkan oleh tidak adanya perubahan yang berarti pada rata-rata temperatur permukaan heatsink.
2. Pada pengujian dengan variasi laju aliran massa udara, ditemukan bahwa peningkatan laju aliran massa berbanding lurus dengan peningkatan kinerja termal heatsink. Hal ini menunjukkan bahwa pendinginan lebih efektif terjadi ketika udara mengalir dengan massa yang lebih tinggi.

B. SARAN

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, disarankan:

1. Melakukan eksperimen fisik secara langsung terhadap sirip berbentuk pin, guna membandingkan dan memverifikasi hasil simulasi dengan fenomena nyata.
2. Menambahkan variabel desain lainnya seperti diameter pin, jarak antar pin, dan material heatsink, guna memperoleh gambaran yang lebih komprehensif terhadap pengaruh geometri sirip terhadap kinerja termal.
3. Mengkaji pengaruh sirip pin dalam berbagai orientasi aliran udara dan kondisi lingkungan (misalnya suhu ruang dan kelembaban) untuk menilai performa heatsink secara lebih realistik dalam berbagai aplikasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Laboratorium Komputasi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, atas dukungan dan fasilitasi dalam bentuk peminjaman serta pemberian akses penggunaan perangkat lunak ANSYS 2024 resmi. Perangkat lunak tersebut telah menjadi

komponen penting dalam pelaksanaan simulasi berbasis Computational Fluid Dynamics (CFD), khususnya dalam analisis distribusi aliran udara pada model ruang pengering yang menjadi fokus utama penelitian ini. Dukungan teknis dan fasilitas yang diberikan oleh Laboratorium Komputasi Universitas Lampung tidak hanya membantu kelancaran proses simulasi, tetapi juga meningkatkan kualitas dan akurasi hasil penelitian secara keseluruhan. Penulis berharap kerja sama akademik dan dukungan fasilitas seperti ini dapat terus terjalin dan dikembangkan dalam rangka mendorong kemajuan riset dan inovasi di bidang teknik mesin.

DAFTAR PUSTAKA

- Forghan, F., Goldthwaite, D., Ulinski, M., & Metghalchi, M. (2001). Experimental and Theoretical Investigation of Thermal Performance of Heat Sinks. ISME May.
- Kumar, A., & Patel, P. (2015). Influence of Pin-Fin Geometry on Thermal Resistance and Fluid Flow Characteristics. *Heat and Mass Transfer*, 51(1), 123-135.
- Lasance, C. J. M., & Eggink, H. J. (2001). A Method to Rank Heat Sinks in Practice: The Heat Sink Performance Tester. 21st IEEE SEMI-THERM Symposium.
- Lin, W., & Lin, C. (2022). Analytical and Numerical Predictions of the Thermal Performance of Pin-Fin Heat Sinks. *Applied Thermal Engineering*, 135, 246-257.
- Ochoa, R., et al. (2020). Thermal Analysis of Pin-Fin Heat Sinks in Forced Convection. *Journal of Heat Transfer*, 142(3), 041902.
- Patel, S., & Sharma, R. (2021). Design and Performance Optimization of Pin-Fin Heat Sinks for High-Power Electronics. *Energy Conversion and Management*, 218, 1127-1135.
- Rahman, M., et al. (2019). Thermal Performance of Pin-Fin Heat Sinks with Different Heat Flow Orientations. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 126, 1074-1084.
- Smith, J., & Jones, R. (2017). Heat Transfer Enhancement in Pin Fin Heat Exchangers: A Review. *Applied Thermal Engineering*, 112, 1-10.
- Sahray, M., et al. (2008). Effect of Pin Fin Height, Spacing and Orientation to Natural Convection Heat Transfer. *Journal of Heat Transfer Engineering*, 39(2), 123-134.
- Wang, Q., & Johnson, R. (2018). Optimization of Pin-Fin Heat Sink Geometries for Electronics Cooling. *Thermal Science and Engineering Progress*, 7, 44-52.

- Yang, L., et al. (2024). A Study on the Effect of Fin Pitch Variation on the Thermal Performance of Pin Fin Heat Sinks. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 135, 246-257.
- Zhang, J., et al. (2019). Effects of Fin Height on the Heat Transfer Performance of Pin-Fin Heat Sinks. *International Journal of Thermal Sciences*, 135, 248-259.