

STUDI KASUS KONVEKSI NATURAL DAN KONVEKSI PAKSA DENGAN VARIASI FIN HEAT SINK PADA ALAT UJI PERPINDAHAN PANAS

Nur Fatowil Aulia¹⁾, Suwarti²⁾, Wahyono³⁾, Budhi Prasetyo⁴⁾, Ahmad Mamba'udin⁵⁾, Satria Duta Abdillah⁶⁾

^{1,2,3,4,5,6} Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang, Jl. Prof. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang, 50275

*E-mail: nurfatowil.aulia@polines.ac.id

Abstract

Heat sink design continues to advance. New designs are designed to optimize heat transfer rates through various approaches, such as increasing surface area, airflow turbulence, and reducing thermal resistance. Therefore, this research aims to create a heat transfer tester using a variety of heat sink fins.

Various heat sink designs have been developed to improve thermal performance, such as triangular fins, square pin fins, and sinusoidal wavy fins. Each design has unique characteristics that affect heat transfer efficiency. Research into these design variations is essential to understand how fin geometry affects key parameters, such as temperature, Reynolds number, Nusselt number, fin efficiency, fin effectiveness, heat transfer rate, and pressure drop.

The results of this tester can determine the convection heat transfer rate with various fin types. This can be used as a reference in selecting fins for convection heat transfer applications.

Keywords: *Fin, Heatsink, Convection*

Abstrak

Perkembangan desain heat sink terus mengalami kemajuan dari waktu ke waktu. Desain-desain baru dirancang untuk mengoptimalkan laju perpindahan panas melalui berbagai pendekatan, seperti peningkatan luas permukaan, turbulensi aliran udara, dan pengurangan resistansi termal. Maka dari pada penelitian ini bermaksud untuk membuat alat uji perpindahan panas dengan Variasi Fin Heat Sink.

Beragam desain heat sink telah dikembangkan untuk meningkatkan performa termal, seperti triangular fin, square pin fin, hingga sinusoidal wavy fin. Setiap desain memiliki karakteristik unik yang memengaruhi efisiensi perpindahan panas. Penelitian terhadap variasi desain ini sangat diperlukan untuk memahami bagaimana bentuk geometris fin memengaruhi parameter-parameter utama, seperti temperatur, bilangan Reynolds, bilangan Nusselt, efisiensi sirip, efektivitas sirip, laju perpindahan panas, serta penurunan tekanan.

Hasil alat uji tersebut dapat diketahui nilai laju perpindahan panas konveksi dengan berbagai jenis Fin. Sehingga dapat digunakan sebagai referensi dalam penentuan Fin pada aplikasi perpindahan panas konveksi.

Kata Kunci : *Fin, Heatsink, Konveksi*

PENDAHULUAN

Peningkatan efisiensi termal kini menjadi salah satu fokus utama dalam pengembangan teknologi, terutama dalam bidang perpindahan panas. Sistem perpindahan panas yang efektif memainkan peranan penting dalam berbagai aplikasi, seperti pendinginan elektronik, mesin kendaraan, dan industri energi (Incropera & DeWitt, 2011). Salah satu pendekatan untuk meningkatkan efisiensi termal adalah dengan merancang heat sink yang inovatif. Penggunaan heat sink semakin relevan di tengah kebutuhan untuk pengelolaan panas yang lebih efisien,

terutama pada perangkat elektronik modern yang cenderung menghasilkan panas dalam jumlah besar (Kraus & Bar-Cohen, 1995).

Perkembangan desain heat sink terus mengalami kemajuan dari waktu ke waktu. Desain-desain baru dirancang untuk mengoptimalkan laju perpindahan panas melalui berbagai pendekatan, seperti peningkatan luas permukaan, turbulensi aliran udara, dan pengurangan resistansi termal (Çengel & Ghajar, 2020). Beragam desain heat sink telah dikembangkan untuk meningkatkan performa termal, seperti triangular fin, square pin fin, hingga sinusoidal wavy fin. Setiap desain memiliki karakteristik unik yang memengaruhi efisiensi perpindahan panas. Penelitian terhadap variasi desain ini sangat diperlukan untuk memahami bagaimana bentuk geometris fin memengaruhi parameter-parameter utama, seperti temperatur, bilangan Reynolds, bilangan Nusselt, efisiensi sirip, efektivitas sirip, laju perpindahan panas, serta penurunan tekanan (Wang et al., 2021). Data-data ini menjadi tolok ukur utama dalam mengevaluasi kinerja termal sebuah heat sink.

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk membuat prototipe atau rancangan alat uji perpindahan panas dengan variasi desain sinusoidal wavy fin, triangular fin, dan square pin fin pada heat sink, serta mengetahui pengaruh masing-masing desain terhadap efisiensi perpindahan panas pada kondisi konveksi alami maupun paksa. Penelitian ini juga bertujuan menganalisis berbagai parameter termal seperti temperatur benda uji, laju perpindahan panas, bilangan Reynolds, bilangan Nusselt, dan penurunan tekanan guna menentukan desain yang paling optimal. Selain itu, penelitian dilakukan untuk membandingkan laju perpindahan panas dari setiap desain heat sink sehingga dapat ditentukan model yang memiliki efisiensi tertinggi. Terakhir, penelitian ini menganalisis efektivitas masing-masing jenis heat sink dalam meningkatkan konduktivitas termal berdasarkan nilai efektivitas sirip (ϵ_f) dan bilangan Nusselt (Nu_D).

Inovasi

Keberhasilan penelitian ini merupakan suatu kontribusi peneliti untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan dalam proses mengoptimalkan sumber energi alternatif, yang sangat diharapkan penerapannya untuk menggantikan sumber energi konvensional yang makin terbatas. Dan dapat diharapkan keberlanjutan penelitian ke tingkat kesiapan teknologi yang

lebih tinggi hingga komersialisasi (hilirisasi), yang langsung berhubungan dengan masyarakat luas.

Urgensi

Adapun manfaat yang diharapkan dengan berhasilnya penelitian ini yaitu dapat membangun dan mengembangkan peralatan uji laboratorium konversi energi, evaluasi, dan pertimbangan dalam menentukan material filler yang cocok pada cooling tower dalam upaya peningkatan nilai efektivitas sebuah cooling tower. Dan juga untuk memberikan rekomendasi jenis blower yang digunakan yang sesuai dengan sistem agar performansi dari cooling tower dapat bekerja secara optimal. Serta kita dapat mengetahui nilai efektivitas dari cooling tower yang kita bangun.

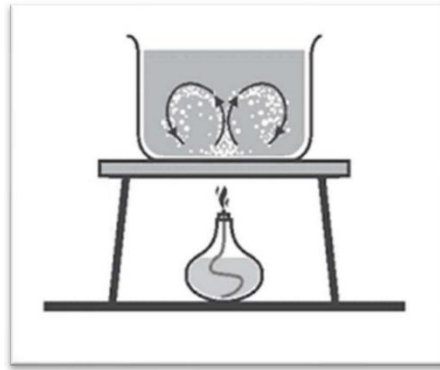
TINJAUAN PUSTAKA

Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah proses transfer energi dari suatu objek ke objek lainnya akibat perbedaan temperatur. Tiga mekanisme utama perpindahan panas adalah konduksi, konveksi, dan radiasi. Konduksi terjadi melalui kontak langsung antar partikel dalam suatu material, konveksi melibatkan perpindahan fluida yang membawa energi panas, sementara radiasi terjadi melalui pancaran gelombang elektromagnetik tanpa memerlukan medium perantara (Incropera & DeWitt, 2011). Dalam penelitian ini, perpindahan panas yang dikaji berfokus pada konveksi, baik alami maupun paksa, karena mekanisme ini dominan dalam proses pendinginan menggunakan heat sink.

Perpindahan Panas Secara Konveksi

Perpindahan panas konveksi melibatkan perpindahan energi melalui pergerakan fluida akibat perbedaan temperatur. Konveksi dapat dikategorikan menjadi konveksi alami, yang terjadi akibat perbedaan densitas fluida akibat perubahan temperatur, dan konveksi paksa, yang terjadi karena adanya gaya eksternal seperti kipas atau pompa yang mempercepat pergerakan fluida (Çengel & Ghajar, 2020).



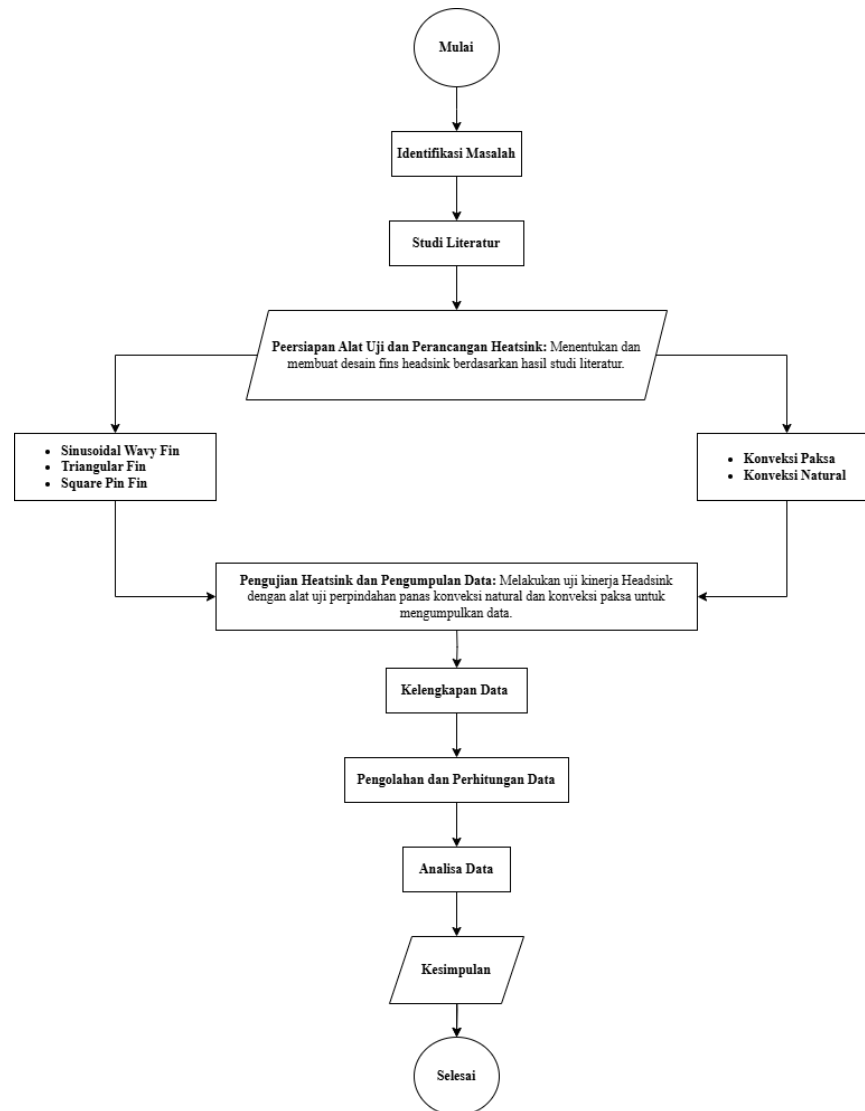
Gambar 2. 1 Proses perpindahan panas secara konveksi

Suatu fluida memiliki temperatur (T) yang bergerak dengan kecepatan (v), diatas permukaan benda padat. Temperatur media padat lebih tinggi dari temperatur fluida, maka akan terjadi perpindahan panas secara konveksi dari benda padat ke fluida yang mengalir.

Heat Sink

Heat sink adalah komponen yang digunakan untuk meningkatkan perpindahan panas dari suatu sumber panas ke lingkungan sekitar dengan memperluas luas permukaan perpindahan panas dan meningkatkan konveksi. Heat sink banyak digunakan dalam pendinginan komponen elektronik, mesin kendaraan, dan aplikasi industri lainnya (Kraus & Bar-Cohen, 1995). Efektivitas heat sink sangat bergantung pada geometri fin yang digunakan, serta bagaimana aliran udara berinteraksi dengan permukaan heat sink.

METODE PENELITIAN



Gambar 1. Diagram Alir

Metode penelitian ini diawali dengan melakukan studi literatur untuk memperoleh landasan teori terkait perpindahan panas, desain heat sink, serta parameter-parameter termal yang relevan. Setelah itu dilakukan tahap observasi dan perancangan, yaitu menyusun spesifikasi alat uji perpindahan panas serta merancang tiga variasi desain heat sink: sinusoidal wavy fin, triangular fin, dan square pin fin. Pada tahap persiapan penelitian, dilakukan pembuatan prototipe alat uji, instalasi sensor temperatur, kalibrasi alat, serta pengecekan kondisi operasi sistem. Selanjutnya penelitian memasuki tahap pengambilan data, yaitu melakukan pengujian pada kondisi konveksi alami dan paksa dengan berbagai variasi daya pemanas dan kecepatan aliran udara. Data yang diperoleh berupa temperatur, laju perpindahan panas, bilangan Reynolds, bilangan Nusselt, efisiensi sirip, efektivitas sirip, serta penurunan tekanan. Setelah semua data terkumpul, dilakukan proses pengolahan dan analisis untuk membandingkan performa masing-masing desain heat sink dan menentukan model yang paling

efisien. Tahap akhir penelitian adalah penarikan kesimpulan berdasarkan hasil analisis dan evaluasi kinerja termal setiap desain heat sink.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perolehan Data

Sebelum pengujian, dilakukan pengukuran langsung terhadap dimensi geometri ketiga jenis heat sink yang digunakan. Pengukuran ini bertujuan untuk memastikan akurasi perhitungan luas permukaan dan parameter geometris lainnya yang akan digunakan dalam analisis perpindahan panas. Berikut adalah hasil pengukuran geometri untuk masing-masing heat sink:

Tabel 4. 1 Data Hasil Pengukuran Geometri Heat Sink Sinusoidal Wavy Fin

Parameter	Nilai (mm)	Nilai (m)
L	150 mm	0,15 m
W	120 mm	0,12 m
H	33 mm	0,033 m
H_b	3 mm	0,003 m
H_f	30 mm	0,03 m
B_f	2 mm	0,002 m
S_f	8 mm	0,008 m
N	11	-
λ	50 mm	0,05 m
A	3 mm	0,003 m

Tabel 4. 2 Data Hasil Pengukuran Geometri Heat Sink Triangular Fin

Parameter	Nilai (mm)	Nilai (m)
L	150 mm	0,15 m
W	120 mm	0,12 m
H	33 mm	0,033 m
H_b	3 mm	0,003 m
H_f	30 mm	0,03 m
B_f	2 mm	0,002 m
S_f	8 mm	0,008 m
N	13	-

Tabel 4. 3 Data Hasil Pengukuran Geometri Heat Sink Square Pin Fin

Parameter	Nilai (mm)	Nilai (m)
L	150 mm	0,15 m
W	150 mm	0,15 m
H	101 mm	0,101 m
H _b	1 mm	0,001 m
H _f	100 mm	0,1 m
L _f	10 mm	0,01 m
W _f	10 mm	0,01 m
S _f	12 mm	0,012 m
N	49	-

Berdasarkan spesifikasi geometris yang telah diukur dan dirangkum pada Tabel 4.1, 4.2, dan 4.3 di atas, ketiga variasi desain heat sink tersebut selanjutnya diproses secara presisi menggunakan material aluminium alloy 6061. Proses fabrikasi melibatkan operasi mesin frais untuk pembentukan profil dasar (base plate) dan sirip (fin), serta proses machining lanjutan untuk mencapai akurasi dimensi dan kekasaran permukaan yang sesuai dengan kriteria desain. Keberhasilan fabrikasi ini merupakan tahap kritis untuk memastikan bahwa performa termal yang diuji pada tahap selanjutnya benar-benar merepresentasikan karakteristik desain geometri yang dimaksud, dan bukan disebabkan oleh variasi atau ketidaksempurnaan dalam proses manufaktur.

Perhitungan Data

Perhitungan performa konveksi alami diawali dengan menentukan temperatur film (T_f) sebagai acuan penetapan sifat-sifat udara. T_f diperoleh dari rata-rata antara temperatur permukaan heat sink (T_s) dan temperatur lingkungan (T_∞), kemudian dihitung selisih temperatur ($\theta_b = T_s - T_\infty$) sebagai gaya pendorong perpindahan panas. Berdasarkan T_f , ditetapkan sifat-sifat fluida yang diperlukan—meliputi konduktivitas termal udara (k), bilangan Prandtl (Pr), massa jenis (ρ), viskositas dinamis/kinematik (μ , ν), difusivitas termal (α), dan koefisien muai volumetrik (β)—dari tabel properti pada tekanan atmosfer. Selanjutnya ditentukan panjang karakteristik (L) sesuai geometri aliran alami pada heat sink (umumnya tinggi sirip/koridor aliran), serta luas permukaan efektif (A) yang meliputi seluruh permukaan sirip yang kontak dengan udara dan permukaan atas base plate. Dengan L , θ_b , dan sifat udara pada T_f , dihitung bilangan tak berdimensi konveksi alami (Grashof/ Gr , Rayleigh/ $Ra = Gr \cdot Pr$) untuk memilih korelasi Nusselt (Nu) yang sesuai dengan kondisi batas (isothermal/ uniform heat flux) dan orientasi permukaan. Dari Nu diperoleh koefisien perpindahan panas konveksi (h),

sehingga laju perpindahan panas ($Q = h \cdot A \cdot \theta_b$) dapat dievaluasi untuk tiap desain sirip. Untuk heat sink bersirip, dihitung pula parameter sirip: keliling sirip (P), luas penampang sirip (A_c), parameter m , panjang koreksi (L_c), efisiensi sirip (η_f), dan efektivitas sirip (ϵ_f) guna menilai kinerja tambahan akibat pemasangan sirip dibandingkan permukaan tanpa sirip. Contoh perhitungan dilakukan pada satu set data konveksi alami (misalnya tegangan heater 110–130 V, jarak sirip $s = 8$ mm), dengan langkah berurutan: (1) hitung T_f dan θ_b dari T_s dan T_∞ hasil pengukuran; (2) ambil sifat udara pada T_f ; (3) tetapkan L dan A sesuai geometri masing-masing heat sink (sinusoidal wavy, triangular, dan square pin); (4) evaluasi Ra dan pilih korelasi Nu yang tepat untuk memperoleh h ; (5) hitung Q total serta η_f dan ϵ_f untuk membandingkan performa antar desain pada kondisi konveksi alami. Hasil perhitungan ini menjadi dasar analisis perbandingan efektivitas pelepasan panas dan efisiensi termal tiap heat sink tanpa efek bantuan kipas.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis pada alat uji perpindahan panas untuk kondisi konveksi natural dan paksa dengan variasi desain fin heat sink, dapat disimpulkan bahwa Square Pin Fin memberikan performa terbaik pada konveksi natural dengan laju perpindahan panas dan efektivitas sirip tertinggi berkat luas permukaan besar dan kemampuan menciptakan turbulensi alami yang efektif. Pada konveksi paksa, Triangular Fin menunjukkan kinerja paling stabil dengan efisiensi sirip mendekati 1 dan koefisien perpindahan panas yang konsisten, sehingga lebih andal untuk aplikasi yang membutuhkan kestabilan termal jangka panjang. Bilangan Nusselt pada konveksi natural meningkat seiring naiknya Bilangan Rayleigh, terutama pada Square Pin Fin, sementara pada konveksi paksa nilai Nusselt cenderung stabil meskipun terjadi variasi pada Bilangan Reynolds. Secara keseluruhan, Square Pin Fin unggul dalam peningkatan performa pada konveksi natural, sedangkan Triangular Fin unggul dalam stabilitas dan efisiensi pada konveksi paksa.

DAFTAR PUSTAKA

- Bejan, A. (2013). Convection Heat Transfer. John Wiley & Sons.
- Çengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2020). Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications. McGraw-Hill.
- Dong, J., & Chen, X. (2015). Heat transfer enhancement of pin-fin heat sinks with different fin geometries. Applied Thermal Engineering.
- Dong, J., et al. (2017). Optimization of triangular fin heat sinks for natural Holman, J. P. (2010). Heat Transfer. McGraw-Hill.
- Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (2011). Fundamentals of Heat and Mass Transfer. John Wiley & Sons.
- Kraus, A. D., & Aziz, A. (1996). Extended Surface Heat Transfer. John Wiley & Sons.
- Kraus, A. D., & Bar-Cohen, A. (1995). Thermal Analysis and Control of Electronic Equipment. McGraw-Hill.
- Saha, S. K., et al. (2018). Numerical analysis of turbulent flow and heat transfer in sinusoidal wavy plate-fin channels. International Journal of Heat and Mass Transfer.
- Saha, S. K., et al. (2018). Performance evaluation of sinusoidal wavy fin heat sinks. International Journal of Thermal Sciences.
- Teertstra, P., et al. (2001). Analytical forced convection modeling of plate fin heat sinks. International Journal of Heat and Mass Transfer.
- Wang, J., et al. (2021). Effect of fin geometry on heat sink performance. Energy Conversion and Management.