Journal of Innovative and Creativity
Journal Homepage: https://joecy.org/index.php/joecy
e-mail: journaljoecy@gmail.com

Faculty of Education
University of Pahlawan Tuanku Tambusai
ISSN 2775-771X (Online)
ISSN 2962-570X (Printed)
5 (3) 2025, Page: 29898-29905

Studi Simulasi Perpindahan Panas pada Kuningan dan Kayu dalam Pengujian Konduktivitas Termal

Felia Maresta[1], Yolli Fernanda[2], Arwizet K[3], Andre Kurniawan[4]
[1]Universitas Negeri Padang
Corresponding Author: Felia Maresta, e-mail: feliamaresta03@gmail.com

Published: October , 2025

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja alat uji konduktivitas termal pada material padat melalui pendekatan simulasi numerik menggunakan perangkat lunak ANSYS Steady-State Thermal. Kajian ini didasarkan pada metode *Comparative Cut Bar* yang mengacu pada standar ASTM E1225, di mana dua batang logam identik digunakan sebagai meter bar untuk memastikan aliran panas berlangsung secara linier dan satu dimensi. Sumber panas menggunakan *Catridge Heater* bertenaga 300 W dengan sistem pengendali suhu REX C-100, sedangkan pendinginan dilakukan menggunakan *Heat Sink Water Block* untuk menjaga kestabilan temperatur. Simulasi dilakukan pada dua jenis material spesimen, yaitu kuningan dan kayu, dengan variasi suhu sumber panas sebesar 150°C, 250°C, dan 350°C. Hasil simulasi menunjukkan bahwa distribusi temperatur pada kuningan bersifat lebih merata dibandingkan kayu karena nilai konduktivitas termalnya yang lebih tinggi. Nilai konduktivitas termal rata-rata yang diperoleh dari hasil simulasi adalah 109 W/m·K untuk kuningan dan 0,12 W/m·K untuk kayu. Temuan ini mengonfirmasi bahwa material dengan konduktivitas termal tinggi mampu mentransfer panas lebih efisien, sedangkan efektivitas sistem *Heat Sink* berperan penting dalam menjaga kestabilan suhu dan mengurangi kehilangan panas selama proses pengujian**.**

Keywords: *Comparative Cut Bar, ANSYS, Simulasi, Konduktivitas Termal, Temperatur*

© The Author(s). 2021 Open Access This article is licensed under a Creative Commons Atibution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. To view a copy of this licence, visit http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

PENDAHULUAN

Perpindahan panas merupakan salah satu fenomena fundamental dalam ilmu teknik mesin yang muncul akibat adanya perbedaan temperatur antar medium . Dari berbagai mekanisme yang terjadi, konduksi menjadi proses utama yang berkaitan langsung dengan sifat konduktivitas termal suatu material. Besaran ini berperan penting dalam menentukan apakah suatu bahan lebih sesuai digunakan sebagai penghantar panas atau sebagai isolator, sehingga informasi mengenai nilai konduktivitas termal sangat dibutuhkan dalam berbagai sistem rekayasa seperti boiler, penukar kalor, maupun material insulasi. Dengan demikian, tersedianya data konduktivitas termal yang akurat untuk material padat menjadi hal yang esensial dalam mendukung rancangan sistem termal yang efisien.

Sifat konduktivitas termal merupakan karakteristik penting dalam mekanisme konduksi panas, karena menggambarkan seberapa cepat energi panas dapat merambat melalui suatu material. Parameter ini berperan besar dalam berbagai bidang teknik untuk menilai respons suatu bahan terhadap kondisi termal tertentu. Nilai konduktivitas termal juga menjadi dasar dalam menentukan apakah suatu material tergolong konduktor atau isolator, sehingga memudahkan proses pemilihan bahan sesuai dengan kebutuhan aplikasinya.

Metode yang sering dipakai dalam mengukur konduktivitas termal adalah *Comparative Cut Bar Method* yang merujuk pada standar ASTM E1225 (perhatikan gambar 1). Dalam metode ini digunakan dua *meter bar* yang memiliki bentuk serta dimensi identik. Pemakaian dua *meter bar* tersebut bertujuan agar aliran panas yang terjadi dapat dipastikan berlangsung secara linier dan satu arah dalam keadaan

tunak, sehingga gradien suhu hanya terbentuk sepanjang *meter bar* dan spesimen uji. Hal ini memudahkan proses perhitungan sekaligus analisis nilai konduktivitas termal. *Heat source* ditempatkan pada bagian atas untuk menghantarkan energi ke sampel melalui batang standar, sedangkan pada bagian bawah dipasang *heat sink* berpendingin air yang berfungsi menyerap kelebihan panas sekaligus menjaga kestabilan suhu rata-rata. Tekanan tambahan pada bagian atas tumpukan diberikan untuk memastikan kualitas kontak termal yang baik antara spesimen uji dan *meter bar*.

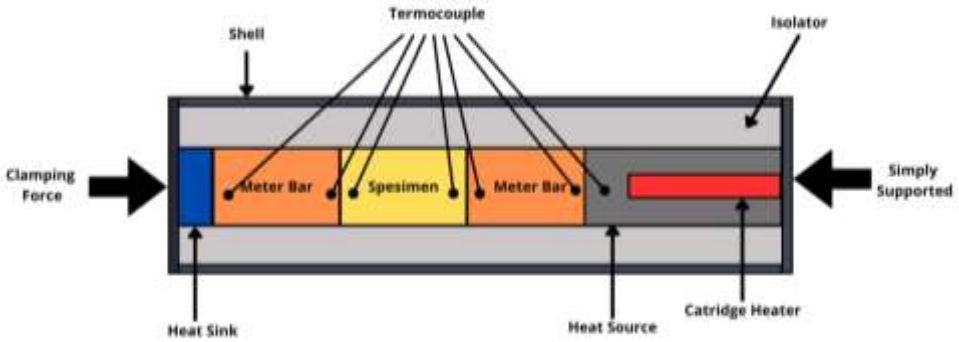
Teknik ini memastikan bahwa aliran panas yang melewati sampel berlangsung secara linier dan satu dimensi, sehingga memudahkan proses analisis. Zhao et al. (2016) menegaskan bahwa penggunaan isolasi yang tepat diperlukan untuk meminimalkan kehilangan panas ke arah radial. Di sisi lain, beberapa penelitian terbaru telah mengembangkan penggunaan *heat sink* dengan sistem pendingin berbasis *water block* sebagai upaya mempercepat proses pelepasan panas (Iqrar, 2023). Namun, efektivitas rancangan *heat sink* pada alat uji konduktivitas termal masih jarang dikaji secara mendalam. Kondisi ini menunjukkan adanya celah penelitian yang menjadi dasar penting dilakukannya studi ini.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis distribusi panas serta menilai efektivitas heat sink pada alat uji konduktivitas termal yang menggunakan metode *Comparative Cut Bar*. Selain itu, penelitian ini diarahkan untuk membandingkan hasil simulasi numerik berbasis perangkat lunak *ANSYS Steady-State Thermal*, sehingga dapat diperoleh pemahaman yang lebih lengkap mengenai kinerja alat uji yang dikembangkan.

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat baik dari sisi akademis maupun praktis. Dari segi internal, penelitian ini berkontribusi dalam menambah pengetahuan mahasiswa serta civitas akademika mengenai metode pengukuran konduktivitas termal dan pemanfaatan simulasi numerik dalam bidang perpindahan panas. Sementara itu, manfaat eksternal yang dihasilkan adalah sebagai rujukan bagi pengembangan desain alat uji konduktivitas termal yang lebih efisien dan akurat, sekaligus mendukung penerapan teknologi *heat sink* berbasis penukar kalor pada berbagai aplikasi teknik dan industri.

METODE

Alat Uji Konduktivitas Thermal



Gambar 1. Skema Alat Uji Konduktivitas Thermal

Alat uji konduktivitas termal terdiri dari beberapa komponen yaitu sebagai berikut:

a) Heat Source
   Heat Source adalah sumber panas yang berfungsi menghasilkan dan menghantarkan energi panas ke spesimen. Dalam penelitian ini, *catridge heater* digunakan sebagai sumber panas dengan tegangan 220V. *Catridge heater* diletakkan dalam *stainless steel* ukuran 20 mm x 100 mm, yang bolong bagian tengahnya dengan ukuran catridge heater 20 mmx seperti gambar 1. Pengaturan suhu catridge heater menggunakan REX C100 pada rangkain sistem kontrol suhu. Dengan rancangan ini, heta source mampu menciptakan distribusi panas yang seragam dan mendukung kestabilan termal selama proses pengujian berlangsung.
b) Meter Bar

Meter bar digunakan sebagai media pembanding daam pengukuran konduktivitas termal. Dalam metode comparative cut bar, meter bar terdiri dari dua batang logam yang ukuran dan sifat termal yang identik. Meter bar diletakkan di atas dan bawah spesimen. Material yang digunakan pada meter bar adalah tembaga dengan ukuran diameter 20 mm dan panjang 60 mm.

c) Sampel Uji
Sampel Uji merupakan material padat yang akan diuji nilai konduktivitas termalnya. Material yang digunakan sebagai spesimen yaitu kuningan dan kayu. Ukuran sampel uji sama dengan ukuran meter bar.

d) Heat Sink
Heat sink adalah komponen pendingin yang berfungsi untuk menyerap dan membuang panas dari sistem agar suhu tetap stabil selama pengujian. Pada penelitian ini, water block berpendingin air digunakan sebagai heat sink. Water block berperinsip kerja seperti heat excanger plate dimana panas dari permukaan logam konduktor diserap dan dialirkan oleh air yang bersikulasi dalam sistem tertutup.

e) Isolator
Isolator adalah lapisan pelindung yang digunakan untuk mengurangi perpindahan panas antara suatu objek dan lingkungan sekitarnya. Isolator terbuat dari campuran semen tahan api, semen putih dan glasswool dengan perbandingan 3:6:1.

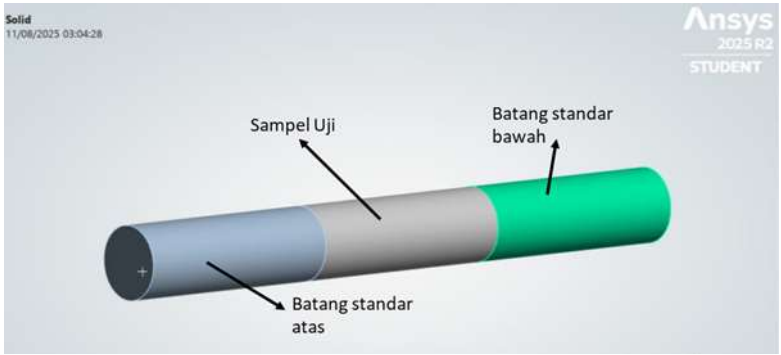
f) Shell
Shell adalah selubung yang melindungi isolator agar tidak pecah saat melakukan pengujian dengan suhu yang tinggi.

g) Sistem Kontrol Suhu
Sistem kontrol suhu terdiri dari REX C100 yang digunakan untuk mengatur suhu input dan menampilkan suhu kerja. SSR 40 DA digunakan sebagai pengendali otomatis yang menghubungkan dan memutuskan arus aliran listrik dari sumber daya menuju catridge heater. Termokopel tipe K digunakan sebagai sensor suhu yang membaca suhu pada alat uji saat pengujian.

h) Penjepit
Penjepit digunakan untuk memperkecil nilai gap pada antar batang alat uji konduktivitas termal.

Simulasi

ANSYS digunakan sebagai instrumen untuk melakukan simulasi dan analisis kinerja alat uji konduktivitas termal. Tool yang digunakan adalah Steady-State Thermal pada ANSYS 2025 R1. Sebelum melakukan analisis, langkah pertama yang dilakukan adalah membuat desain alat uji menggunakan SpaceClaim dengan ukuran yang sudah ditentukan sebelumnya (perhatikan gambar 2 dan tabel 1).



Gambar 2. Geometri pada simulasi

Tabel 1. Properti Material

No	Komponen	Material	Ukuran	Nilai K (W/m.K)
1	Heat Source	Stainless Steel	ø20 × 100 mm	16
2	Catridge heater	-	ø8 × 70 mm	-
3	Meter bar atas	Tembaga	ø20 × 60 mm	400
4	Meter bar bawah	Tembaga	ø20 × 60 mm	400
5	Sampel Uji	Kuningan, Kayu	ø20 × 60 mm	130, 0.1
6	Heat sink	Cashing: Aluminium Fluida: Air	40 × 40 ×12 mm	-
7	Isolator	Campuran Semen Tahan Api, Semen Putih Dan Glasswool	3 : 6 : 1	0.40
8	Shell	Besi	ø90 × 450 mm	75

Langkah selanjutnya adalah membuat setup boundary condition yang sesuai dengan kondisi pengujian yang diinginkan, dapat dilihat pada tabel 2. Boundary condition ini sangat penting disetting untuk menentukan nilai-nilai parameter (seperti suhu, kecepatan, tekanan, atau fluks) yang mempengaruhi perilaku sistem selama simulasi.

Tabel 2. Boundary Condition

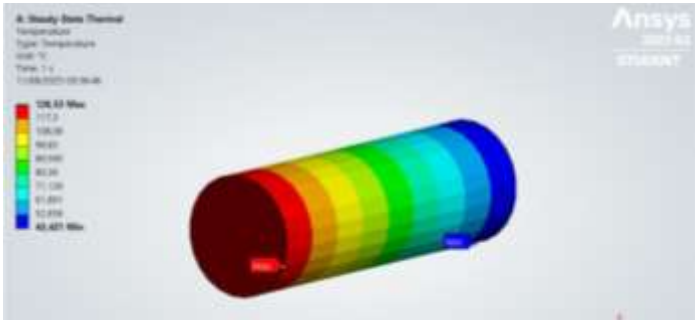
No	Parameter	Keterangan
1	Temperatur Heat Source	150℃ , 250℃, 350℃
2	Temperatur Heat Sink	20℃
3	Initial Temperatur	22℃
4	Meshing	5 mm (Tetrahedron)
5	Jenis Simulasi	Steady-State

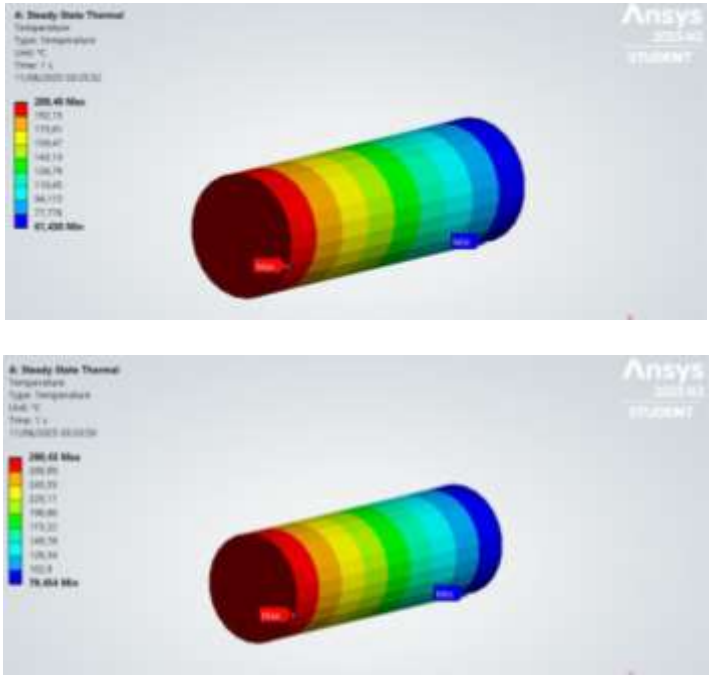
Setelah seluruh parameter dan kondisi batas ditentukan, proses *solving* dilakukan untuk menyelesaikan persamaan diferensial numerik menggunakan solver Steady-State Thermal. Proses ini menghasilkan data simulasi berupa distribusi temperatur, fluks panas, dan gradien suhu di seluruh domain. Hasil kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik, kontur, dan kurva untuk dianalisis lebih lanjut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

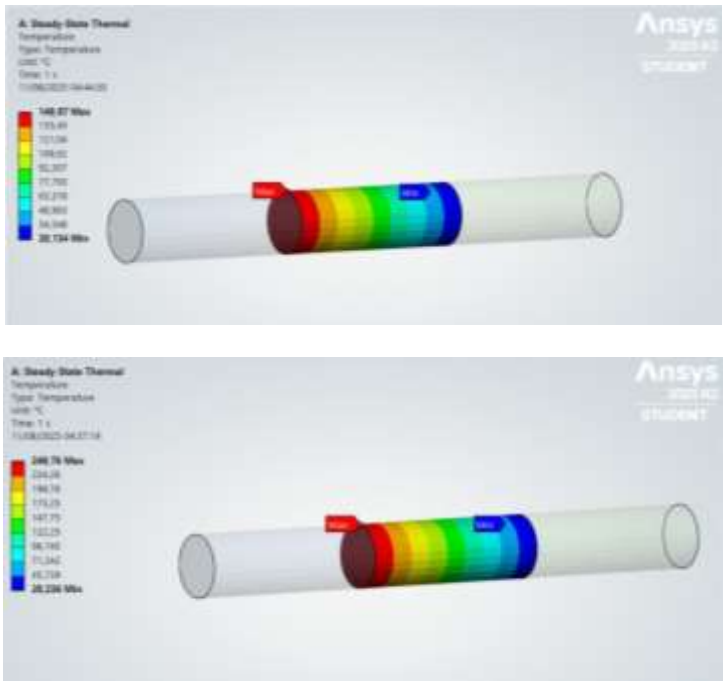
Hasil simulasi pada material kuningan menunjukkan suhu tertinggi terletak pada sisi kontak dengan heat source dan secara bertahap menurun menuju sisi heat sink. Pola gradasi warna cendrung seragam dan menurun secara linear menunjukkan bahw proses perpindahan panas pada material kuningan menyebar secara merata (perhatikan gambar 3).

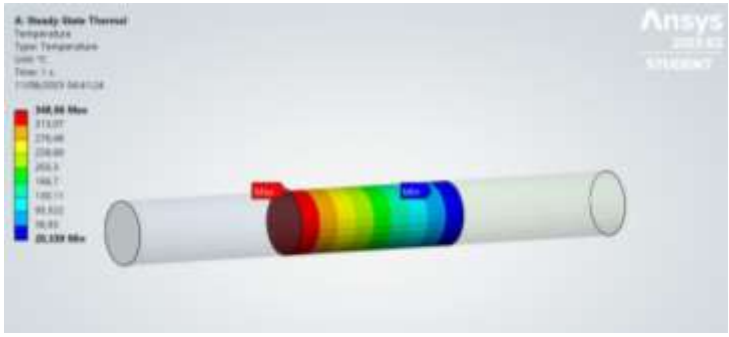




Gambar 3. Hasil Simulasi Kuningan Pada Variasi Suhu yang Berbeda

Sementara itu pada material kayu (perhatikan gambar 4), distribusi suhu terlihat berbeda, diman pada sisi heat sink menunjukkan penurunan suhu yang sangat tajam. hal ini mengindikasikan bahwa panas sulit merambat ke seluruh spesimen , sehingga terjadi gradien suhu yang tinggi.





Gambar 4. Hasil Simulasi pada Kayu dengan Variasi Suhu yang Berbeda

Perbedaan nilai ΔT dan gradien suhu menunjukkan bahwa penyebaran panas pada material kuningan lebih merata dibandingkan kayu. Hal ini dikarenakan konduktivitas termal kuningan yang tinggi, sehingga panas dari sisi heat source dapat merambat dengan cepat dan relatif seragam ke seluruh batang spesimen. Sebaliknya, pada material kayu , nilai ΔT yang besar menandakan hambatan panas yang tinggi, sehingga distribusi panas pada spesimen menjadi tidak merata dan gradien temperaturnya meningkat seiring dengan kenaikan suhu heat source.

No	Material	Suhu Heat Source (℃)	T_{Max}(℃)	T_{Min}(℃)	ΔT(℃)	*Gradien Suhu* (℃/m)
1	Kuningan	150℃	126,53	43,421	83,109	138,515
2	Kuningan	250℃	208,15	61,438	146,712	244,52
3	Kuningan	350℃	290,43	79,454	210,976	351,626
4	Kayu	150℃	149,47	20,134	129,336	215,56
5	Kayu	250℃	249,76	20,236	229,524	382,54
6	Kayu	350℃	349,66	20,339	329,321	548,868

Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian distribusi suhu pada masing-masing material, nilai suhu tertinggi (T_{Max}) dan nilai suhu terendah (T_{Min}) digunakan untuk menentukan gradien suhu (∇T) di sepanjang spesimen. Gardien suhu menunjukkan tingkat perubahan suhu per satuan panjang dan menjadi indikator seberapa besar perbedaan panas yang terjadi antara sisi kontak heat source dan heat sink. Nilai gradien suhu dapat dihitung menggunakan persamaan (1) berikut:

$$\nabla T = \frac{T_{Max} - T_{Min}}{L} \quad (1)$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa material kuningan memiliki nilai gradien suhu yang relatif kecil pada setiap variasi suhu heat source, yaitu berkisar antara 138,515℃/m dan 351,626℃/m. Sebaliknya pada material kayu, gradien suhu jauh lebih besar yaitu antara 215,56 ℃/m dan 548,868 ℃/m. Perbedaan ini menandakan bahwa panas pada kuningan menyebar lebih cepat dan merata dibandingkan kayu, yang mengalami hambatan panas lebih besar.

Selanjutnya untuk mengetahui kemampuan material dalam menghantarkan panas, dilakukan perhitungan konduktivitas termal (k) menggunakan hukum Fourier satu dimensi sebagaimana ditunjukkan pada persamaan (2).

$$k = \frac{Q \cdot L}{A \cdot (T_{Max} - T_{Min})} \quad (2)$$

Keterangan :

k : konduktivitas termal (W/Mk)

Q : daya panas yang diterapkan pada spesimen (W)
L : panjang spesimen (m)
A : luas penampang lintang spesimen (m^2)
$T_{Max} - T_{Min}$: selisih suhu antara heat source dan heat sink (℃)

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan data pengujian, diperoleh nilai konduktivitas termal rata-rata kuningan sebesar 109 W/Mk, sedangkan untuk kayu sebesar 0,12 W/Mk. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kuningan memiliki kemampuan menghantar panas lebih baik daripada kayu.
Efektifitas heat sink dapat diselesaikan menggunakan pendekatan NTU atau koefisien perpindahan panas . Pada penelitian ini heat sink yang digunanakan dalam bentuk rangkaian seri (dapat dilihat pada gambar 5), jadi untuk menghitung efektivitas heat sink dapat menggunakan defenisi umum efektivitas sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}_{aktual,}}{\dot{Q}_{maks}} \quad (3)$$

Dengan

$$\dot{Q}_{aktual} = \dot{m} \cdot c_p(T_{out} - T_{in}) \quad (4)$$

$$\dot{Q}_{aktual} = 0.00529\ kg/s \cdot 4182\,J/kgK\ (27℃ - 20℃)$$

$$\dot{Q}_{aktual} = 154{,}8595\ W$$

$$\dot{Q}_{maks} = Q_{sumber} \quad (5)$$

Dimana $\dot{m}$ adalah laju massa aliran air, c_p adalah kapasitas panas jenis air, dan T_{in} serta T_{out} masing-masing merupakan suhu masuk dan keluar air. Nilai ini memnunjukkan berapa besar energi panas yang berhasil dipindahkan dari meter bar ke fluida heat sink. Jika $\dot{Q}_{maks} = Q_{sumber}$, maka Q_{sumber} diketahui dari catridge heater sebesar 300 W, maka efektivitas dapat dihitung dengan persamaan (1).

$$\varepsilon = \frac{154{,}8595\ W}{300\ W} = 0{,}52$$

$$\varepsilon \approx 52\%$$

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kemampuan suatu material dalam menghantarkan panas sangat dipengaruhi oleh nilai konduktivitas termalnya. Berdasarkan simulasi menggunakan perangkat lunak ANSYS Steady-State Thermal, material kuningan menunjukkan penyebaran panas yang lebih merata dibandingkan kayu. Hal ini ditunjukkan oleh gradien suhu yang lebih kecil dan distribusi temperatur yang linier dari sisi *heat source* ke *heat sink*. Nilai konduktivitas termal rata-rata kuningan sebesar 109 W/m·K, sedangkan kayu hanya 0,12 W/m·K, yang menegaskan bahwa logam merupakan penghantar panas yang jauh lebih efisien dibandingkan material non-logam seperti kayu.
Dari hasil analisis juga dapat disimpulkan bahwa rancangan sistem pendinginan menggunakan heat sink water block berperan penting dalam mempertahankan kestabilan suhu selama proses uji. Efektivitas sistem ini mampu mengurangi kehilangan panas ke lingkungan dan memastikan aliran panas tetap berlangsung secara satu dimensi sesuai dengan prinsip metode *Comparative Cut Bar*. Secara keseluruhan, penelitian ini berhasil membuktikan bahwa pendekatan simulasi numerik dapat digunakan sebagai alternatif yang andal untuk mengevaluasi performa alat uji konduktivitas termal dan memahami karakteristik perpindahan panas pada berbagai jenis material padat.

TERIMAKASIH

Segala puji dan syukur hanya kami panjatkan kepada Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, atas rahmat, karunia, dan kesempatan yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan karya ini

dengan baik. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Yolli Fernanda,.S.T,. M.T,. Ph.D.Eng selaku pembimbing atas bimbingan dan arahan yang sangat berharga selama proses penulisan artikel ini. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada Prof. Dr. Ir. Arwizet K selaku penguji 1 dan Pak Andre,.S.T,.M.T selaku penguji 2 yang telah memberikan masukan dan saran konstruktif demi peningkatan kualitas karya ini. Terima kasih kepada keluarga saya yang selalu memberikan dukungan kepada saya.
Terima kasih juga kepada rekan saya Fretina Sari, teman saya Tasyah, serta seluruh teman-teman di laboratorium konversi energi atas dukungan, kerja sama, dan semangat yang diberikan selama penelitian berlangsung. Bantuan dan dukungan dari semua pihak tersebut sangat berarti dalam penyelesaian artikel ini.

REFERENSI

Okzama, R. (2019). Pembuatan dan pengujian alat uji konduktivitas termal bahan. Ranah Research.

Thermtest. (n.d.). *Guarded Comparative Longitudinal Heat Flow Technique – ASTM E1225*. Retrieved June 15, 2025, from https://thermtest.com/guarded-comparative-longitudinal-heat-flow-technique-astm-e1225?utm_source=chatgpt.com

Ansys Innovation Space. (n.d.). *Simulation tools and learning resources*. Retrieved June 15, 2025, from https://innovationspace.Ansys.com/

Çengel, Y. A. (2003). *Heat and Mass Transfer: A Practical Approach* (2nd ed.). New York: McGraw-Hill.

Iqrar, S. A., et al. (2023). Cooling Performance of an Active-Passive Hybrid Composite Phase Change Material (HcPCM) Finned Heat Sink: Constant Operating Mode. Applied Thermal Engineering, 229, 120640.