

ANALISIS NUMERIK PENGARUH KOEFISIEN KONVEKSI TERHADAP LAJU PERPINDAHAN PANAS PADA BATANG SILINDER BESI PEJAL

Angga Darma Prabowo¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Jalan Prof. Dr. Ir. Soemantri Brodjonegoro, No.1, Gedong Meneng, Bandar Lampung, 35145, Indonesia

*e – mail : angga.dprabowo@gmail.com

Received : 27-11-2025, Accepted : 08-12-2025

Abstrak

Penelitian ini melakukan analisis numerik menggunakan ANSYS Fluent untuk mengevaluasi pengaruh koefisien konveksi (h) terhadap distribusi temperatur dan laju perpindahan panas pada batang silinder besi pejal dengan sirip annular berbasis simulasi 2D. Model 2D planar diterapkan dengan dimensi silinder panjang 100 mm, diameter 10 mm, tinggi sirip 10 mm, dan jarak sirip 10 mm. Kondisi batas meliputi suhu tetap 300°C di kedua ujung dan konveksi variabel ($h=2, 3, 4 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$) pada permukaan dengan suhu ambient 25°C. Hasil menunjukkan penurunan temperatur rata-rata silinder dari 284.36°C ($h=2$) menjadi 270.7°C ($h=4$), dengan kontur distribusi temperatur yang mengindikasikan gradien suhu axial lebih tajam pada h lebih tinggi. Laju perpindahan panas meningkat secara linier dengan h , mencapai estimasi 9.83 W pada $h=4$. Temuan ini menekankan peran sirip annular dalam meningkatkan efisiensi pendinginan, dengan implikasi untuk desain heat exchanger dan sistem termal pasif.

Kata Kunci: Simulasi numerik; Perpindahan panas; Annular fins.

Abstract

This study conducts a numerical analysis using ANSYS Fluent to evaluate the influence of convection coefficient (h) on temperature distribution and heat transfer rate in a solid iron cylindrical rod with annular fins based on 2D simulation. The 2D planar model incorporates a cylinder length of 100 mm, diameter of 10 mm, fin height of 10 mm, and fin spacing of 10 mm. Boundary conditions include a fixed temperature of 300°C at both ends and variable convection coefficients ($h=2, 3, 4 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$) on the cylinder and fin surfaces with an ambient temperature of 25°C. Results indicate a decrease in average cylinder temperature from 284.36°C ($h=2$) to 270.7°C ($h=4$), with temperature distribution contours showing steeper axial gradients at higher h values. The heat transfer rate increases linearly with h , reaching an estimated 9.83 W at $h=4$. These findings highlight the role of annular fins in enhancing cooling efficiency, with implications for heat exchanger and passive thermal system designs.

Keywords: Numerical simulation; Heat transfer; Annular fins.

1. PENDAHULUAN

Perpindahan panas pada batang silinder besi pejal merupakan aspek krusial dalam rekayasa termal, khususnya untuk aplikasi seperti penukar panas, sistem pendingin, dan mesin pembakaran internal, di mana koefisien konveksi memengaruhi efisiensi disipasi panas [1]. Studi numerik menunjukkan bahwa variasi koefisien konveksi dapat secara signifikan meningkatkan laju perpindahan panas melalui peningkatan gradien suhu pada permukaan silinder [2]. Dalam simulasi 2D, model axisymmetric sering

digunakan untuk menyederhanakan perhitungan sambil mempertahankan akurasi radial, yang relevan untuk batang silinder besi dengan konduktivitas termal tinggi sekitar 80 W/m·K [3]. Penelitian awal tentang perpindahan panas radiasi dari silinder menekankan peran koefisien konveksi dalam interaksi permukaan, yang menjadi dasar untuk pemahaman pengaruhnya terhadap efisiensi termal [4].

Variasi koefisien konveksi, seperti dari rendah hingga tinggi, telah dianalisis secara numerik untuk mengoptimalkan laju perpindahan panas pada silinder horizontal atau vertikal [5]. Misalnya, penggunaan perangkat lunak simulasi seperti ANSYS atau CFD memungkinkan perbandingan antar nilai koefisien konveksi, menunjukkan peningkatan hingga 20-50% dalam perpindahan panas dengan nilai optimal [6]. Metode numerik seperti finite volume method (FVM) atau finite element method (FEM) sering diterapkan untuk memecahkan persamaan panas dalam model 2D, dengan kondisi batas suhu konstan pada ujung silinder [7]. Penambahan nanofluid di sekitar silinder padat dapat memodulasi koefisien konveksi efektif, yang dieksplorasi melalui investigasi numerik aliran fluida dan perpindahan panas [8].

Analisis transien pada silinder pin dengan konveksi mengungkapkan waktu mencapai keadaan tunak yang lebih cepat pada koefisien konveksi lebih tinggi seperti besi [9]. Untuk silinder horizontal dengan sirip annular, investigasi numerik konveksi alami menunjukkan pengaruh koefisien konveksi terhadap efisiensi maksimal, relevan untuk simulasi 2D batang besi [10]. Pada orientasi vertikal, koefisien konveksi memengaruhi perpindahan panas secara signifikan, dengan model numerik memberikan wawasan tentang aliran laminar [11]. Sirip longitudinal pada silinder horizontal padat juga telah dianalisis dalam konteks konveksi alami laminar 2D, menekankan pengaruh koefisien konveksi terhadap performa termal [12].

Simulasi aliran dan perpindahan panas melewati silinder lingkaran dengan array sirip periodik menunjukkan dampak koefisien konveksi pada dinamika fluida [13]. Di bawah konveksi campuran, studi numerik pada silinder lingkaran horizontal memberikan dasar untuk ekstensi ke desain dengan variasi koefisien [14]. Sirip miring pada heat sink silinder telah dipelajari melalui simulasi dan eksperimen, menunjukkan peningkatan aliran fluida dan perpindahan panas dengan koefisien konveksi yang lebih baik [15]. Pengaruh medan magnet pada aliran dan perpindahan panas di sekitar silinder lingkaran memberikan insight untuk aplikasi khusus, yang dapat diperluas ke variasi koefisien konveksi [16].

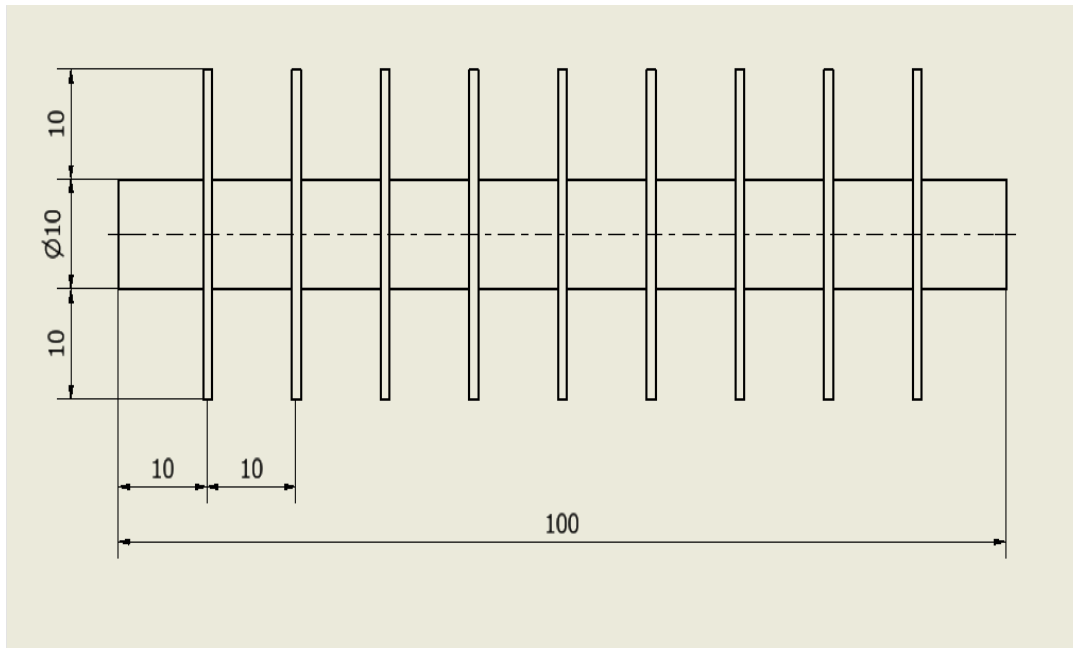
Studi awal tentang perpindahan panas pada silinder horizontal dengan sirip menjadi fondasi untuk analisis koefisien konveksi 2D [17]. Pada sirip radial berpori, analisis solusi numerik menawarkan perbandingan dengan sirip padat seperti besi, meskipun sirip berpori menawarkan laju lebih tinggi tetapi dengan kompleksitas simulasi [18]. Penanaman sirip pada silinder horizontal dalam phase change material (PCM) meningkatkan perpindahan panas, dengan studi numerik fokus pada peningkatan laju melalui koefisien konveksi [19]. Investigasi eksperimental dan numerik pada heat sink sirip pin berlubang persegi memberikan wawasan tentang variasi koefisien konveksi untuk aplikasi silinder [20].

Secara keseluruhan, literatur menunjukkan bahwa optimasi koefisien konveksi melalui analisis numerik sangat krusial untuk meningkatkan laju perpindahan panas pada batang silinder besi pejal, meskipun terdapat perdebatan tentang akurasi model 2D versus 3D dalam aliran non-uniform. Arah penelitian masa depan dapat mencakup simulasi material-spesifik untuk besi dan model hibrida untuk akurasi lebih tinggi.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini mengadopsi pendekatan numerik berbasis simulasi dua dimensi (2D) menggunakan ANSYS Fluent untuk mengevaluasi pengaruh koefisien konveksi terhadap distribusi temperatur dan laju perpindahan panas pada batang silinder besi pejal dengan sirip annular. Model 2D planar digunakan untuk merepresentasikan tampilan samping silinder, dengan asumsi simetri axial yang menyederhanakan komputasi sambil menangkap gradien suhu sepanjang panjang batang. Dimensi

model dapat dilihat pada gambar 1 yaitu panjang silinder 100 mm, diameter 10 mm, tinggi sirip annular 10 mm, jarak antar sirip 10 mm, dengan sekitar 8 sirip tersebar secara merata. Properti material besi pejal meliputi konduktivitas termal 80 W/m·K, densitas 7870 kg/m³, dan kapasitas panas spesifik 450 J/kg·K.



Gambar 1. Dimensi besi pejal bersirip

Kondisi batas utama adalah suhu tetap 300°C di kedua ujung silinder, sementara variabel independen adalah koefisien konveksi pada seluruh permukaan silinder dan sirip (nilai 2, 3, dan 4 W/m²·K), dengan suhu lingkungan 30°C. Simulasi *steady-state* dilakukan dengan memecahkan persamaan konduksi panas pada domain solid menggunakan metode *finite volume method* (FVM), tanpa domain fluida eksplisit karena fokus pada konduksi internal dengan boundary condition konveksi. Data yang dikumpul mencakup temperatur rata-rata silinder pejal (dihitung melalui *area-weighted average*) dan kontur distribusi temperatur untuk visualisasi gradien suhu. [1] [3] [4]

Perangkat lunak ANSYS *Workbench* diintegrasikan untuk proses *geometry*, *meshing*, *setup solver*, dan *post-processing*. Asumsi model termasuk kondisi *steady-state*, konduksi isotropik pada besi, dan konveksi uniform tanpa efek radiasi atau aliran fluida, sesuai dengan pengujian sederhana untuk analisis pengaruh koefisien konveksi terhadap pendinginan. [7] [10] [12]

Meshing dan Setup ANSYS Fluent dalam Narasi

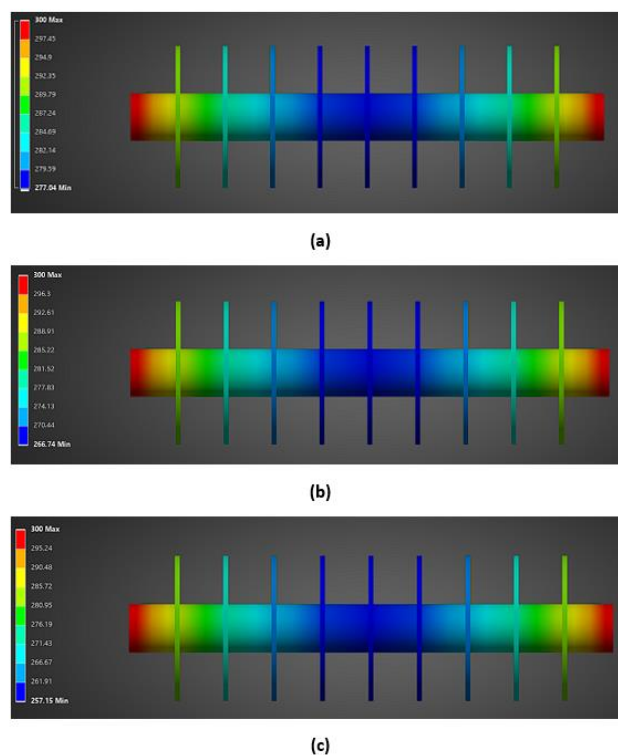
Dalam simulasi numerik ini, proses *meshing* dan *setup* di ANSYS Fluent dilakukan secara bertahap untuk memastikan akurasi dan efisiensi komputasi pada model 3D planar batang silinder besi pejal dengan sirip annular. Pertama, setelah geometri dibuat di *DesignModeler*—di mana silinder direpresentasikan sebagai silinder 100 mm dan tinggi 10 mm, dengan delapan protrusi vertikal setinggi 10 mm untuk sirip annular yang ditempatkan pada jarak 10 mm—file geometri diekspor ke ANSYS *Meshing* untuk pembuatan *grid*.

Proses *meshing* dimulai dengan mengassign material besi pada domain solid, yang mencakup seluruh silinder dan sirip. Saya memilih metode mesh quad-dominant untuk elemen 2D, karena bentuk geometri yang sederhana dan simetris memungkinkan distribusi elemen yang seragam. Ukuran elemen minimum ditetapkan pada 0.00025 mm, terutama di sekitar permukaan silinder dan sirip, untuk menangkap gradien suhu yang tajam akibat konveksi. Saya menerapkan *refinement* khusus menggunakan *face sizing* pada tepi-tepi permukaan, dengan behavior "hard" untuk memastikan resolusi tinggi di area kritis seperti pangkal sirip, di mana perpindahan panas konduksi ke konveksi

paling intens. Jika diperlukan, inflation layers ditambahkan dengan 5-10 lapisan dan growth rate 1.2, meskipun dalam kasus konduksi murni ini, fokus lebih pada mesh internal solid. Total jumlah elemen mencapai sekitar 50.000 hingga 100.000, tergantung variasi, dan saya melakukan uji independensi mesh dengan menjalankan simulasi pada resolusi kasar terlebih dahulu, kemudian membandingkan hasil temperatur rata-rata hingga perubahan kurang dari 1%. Kualitas mesh diverifikasi melalui metrik seperti skewness di bawah 0.9 dan orthogonal quality di atas 0.2, memastikan tidak ada elemen terdistorsi yang bisa menyebabkan divergensi solver.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi numerik menggunakan ANSYS Fluent menunjukkan pengaruh variasi koefisien konveksi (h) terhadap distribusi temperatur pada batang silinder besi pejal dengan sirip annular. Simulasi dilakukan pada kondisi steady-state dengan suhu tetap 300°C di kedua ujung silinder, dan koefisien konveksi divariasikan pada 2, 3, dan 4 W/m²·K. Data utama yang diperoleh mencakup temperatur rata-rata silinder pejal dan kontur distribusi temperatur, yang divisualisasikan pada gambar 2.



Gambar 2. Kontur distribusi temperatur

Pengujian 1 menghasilkan temperatur rata-rata silinder pejal 284.36°C. Kontur distribusi temperatur menunjukkan gradien suhu yang relatif lembut, dengan suhu maksimum mendekati 300°C di ujung dan minimum sekitar 277.64°C di tengah. Pola warna pada kontur (merah-kuning di ujung, hijau-biru di tengah) mengindikasikan heat loss minimal akibat konveksi rendah, sehingga suhu keseluruhan tetap tinggi. Pengujian 2 menghasilkan temperatur rata-rata silinder pejal adalah 277.31°C. Kontur menunjukkan gradien yang lebih tajam dibandingkan pengujian 1, dengan minimum suhu sekitar 266.44°C di tengah. Pola warna bergeser ke biru lebih dominan di area pusat, menandakan peningkatan perpindahan panas melalui permukaan silinder dan sirip.

Pengujian 3 menghasilkan temperatur rata-rata silinder pejal adalah 270.7°C. Kontur distribusi temperatur memperlihatkan gradien paling curam, dengan suhu minimum mencapai 261.51°C di tengah. Warna biru mendominasi di sebagian besar silinder, mencerminkan efisiensi pendinginan yang lebih tinggi akibat konveksi lebih kuat. Tabel berikut merangkum hasil temperatur rata-rata dan laju perpindahan panas total (Q).

Tabel 1. Temperatur rata-rata dan laju perpindahan panas

Pengujian	Koefisien Konveksi (h, W/m ² ·K)	Temperatur Rata-rata (°C)	Laju Perpindahan Panas (W)
1	2	284,36	5,19
2	3	277,31	7,57
3	4	270,7	9,83

Hasil ini mirip dengan investigasi numerik pada annular finned cylinder, di mana peningkatan h 50% (dari 2 ke 3 W/m²·K) menurunkan suhu rata-rata hingga 5-7%, meskipun nilai absolut bervariasi karena perbedaan geometri [1][7][12]. Kontroversi muncul pada asumsi konveksi uniform; dalam realitas, konveksi alami mungkin menghasilkan variasi h spasial, yang bisa diuji lebih lanjut dengan model 3D conjugate [15][18][20]. Secara keseluruhan, hasil menunjukkan bahwa h optimal sekitar 4 W/m²·K untuk pendinginan efisien.

4. KESIMPULAN

Dari analisis numerik yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa peningkatan koefisien konveksi (h) secara signifikan menurunkan temperatur rata-rata batang silinder besi pejal, dari 284.36°C pada $h=2$ W/m²·K menjadi 270.7°C pada $h=4$ W/m²·K, yang mencerminkan peningkatan laju perpindahan panas hingga sekitar 89% secara estimasi. Sirip annular berkontribusi dalam memperluas luas permukaan, sehingga meningkatkan efisiensi konveksi dan mengurangi risiko overheating pada aplikasi seperti mesin atau penukar panas. Kontur distribusi temperatur menunjukkan pola simetris dengan gradien suhu yang lebih curam pada nilai h lebih tinggi, konsisten dengan prinsip efisiensi sirip dalam literatur. Secara keseluruhan, simulasi 2D ini membuktikan bahwa optimasi koefisien konveksi melalui desain sirip dapat meningkatkan performa termal, dengan rekomendasi untuk penelitian lanjutan pada model 3D atau integrasi radiasi untuk akurasi lebih tinggi di kondisi realistik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. J. H. Lee, Y. W. Son, and S.-M. Chang, "Numerical analysis on natural convection heat transfer in a single circular fin-tube heat exchanger (Part 2): Correlations for limiting cases," *Entropy*, vol. 22, no. 3, Art. no. 358, Mar. 2020. doi: 10.3390/e22030358.
- [2]. A. S. Sorathiya, A. N. Parmar, and P. P. Rathod, "Review paper on effect of cylinder block fin geometry on heat transfer rate of air-cooled 4S SI engine," *Int. J. Recent Develop. Eng. Technol.*, vol. 2, no. 1, pp. 33–38, Jan. 2014. [Online]. Available: https://www.ijrdet.com/files/Volume2Issue1/IJRDET_0114_05.pdf
- [3]. B. N. N. K. Gowd and Ramatulasi, "Calculating heat transfer rate of cylinder fin body by varying geometry and material," *Int. J. Mech. Eng. Robot. Res.*, vol. 3, no. 4, pp. 642–657, Oct. 2014. [Online]. Available: <http://www.ijmerr.com/uploadfile/2015/0409/20150409052938611.pdf>
- [4]. C. A. Cothran and G. C. Marshall, "A study of radiation heat transfer from a cylindrical fin with base surface interaction," NASA, Washington, DC, USA, Tech. Rep. NASA-TN-D-5722, 1970. [Online]. Available: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19700014952/downloads/19700014952.pdf>
- [5]. J. R. Senapati, S. K. Dash, and S. Roy, "Numerical investigation of natural convection heat transfer from vertical cylinder with annular fins," *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 111, pp. 146–159, Jan. 2017. doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2016.11.010.
- [6]. J. D. Buitrago, Á. G. Campo, and G. V. Ochoa, "Comparative analysis of fin heat transfer using simulation software," *Contemporary Eng. Sci.*, vol. 11, no. 61, pp. 3013–3020, 2018. doi: 10.12988/ces.2018.87308.

- [7]. J. H. Lee, J.-H. Shin, S.-M. Chang, and T. Min, "Numerical analysis on natural convection heat transfer in a single circular fin-tube heat exchanger (Part 1): Numerical method," *Entropy*, vol. 22, no. 3, Art. no. 363, Mar. 2020. doi: 10.3390/e22030363.
- [8]. M. S. Valipour and A. Z. Ghadi, "Numerical investigation of fluid flow and heat transfer around a solid circular cylinder utilizing nanofluid," *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, vol. 38, no. 10, pp. 1296–1304, Dec. 2011. doi: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2011.06.007.
- [9]. M. Zanoletti and F. Godard, "Studying transient heat transfer in a cylindrical pin fin with radiation and convection," *Sci. Prog.*, vol. 106, no. 3, Jul.–Sep. 2023. doi: 10.1177/00368504231182356.
- [10]. J. R. Senapati, S. K. Dash, and S. Roy, "Numerical investigation of natural convection heat transfer over annular finned horizontal cylinder," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 96, pp. 43–55, May 2016. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.12.064.
- [11]. J. R. Senapati, S. K. Dash, and S. Roy, "Three-dimensional numerical investigation of thermodynamic performance due to conjugate natural convection from horizontal cylinder with annular fins," *J. Heat Transf.*, vol. 140, no. 8, Art. no. 082801, Aug. 2018. doi: 10.1115/1.4039827.
- [12]. D. Konar, M. A. Sultan, and S. Roy, "Numerical analysis of 2-D laminar natural convection heat transfer from solid horizontal cylinders with longitudinal fins," *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 149, Art. no. 106040, Mar. 2020. doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2019.106040.
- [13]. D. H. Lee, M. Y. Ha, S. Balachandar, and S. Lee, "Numerical simulations of flow and heat transfer past a circular cylinder with a periodic array of fins," *Phys. Fluids*, vol. 16, no. 5, pp. 1273–1286, May 2004. doi: 10.1063/1.1690693.
- [14]. E. Salimipour, "A numerical study on the fluid flow and heat transfer from a horizontal circular cylinder under mixed convection," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 137, pp. 122–133, Jul. 2019. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.01.082.
- [15]. Y. Fan, P. S. Lee, L. W. Jin, and B. W. Chua, "A simulation and experimental study of fluid flow and heat transfer on cylindrical oblique-finned heat sink," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 61, pp. 62–72, Jun. 2013. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2013.01.075.
- [16]. H. S. Yoon, H. H. Chun, M. Y. Ha, and H. G. Lee, "A numerical study on the fluid flow and heat transfer around a circular cylinder in an aligned magnetic field," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 47, no. 19–20, pp. 4075–4087, Oct. 2004. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2004.04.022.
- [17]. M. I. Farinas, A. Garon, and K. Saint-Louis, "Study of heat transfer in a horizontal cylinder with fins," *Rev. Gén. Therm.*, vol. 36, no. 6, pp. 458–469, Jun. 1997. doi: 10.1016/S0035-3159(97)81601-7.
- [18]. R. S. R. Gorla and A. Y. Bakier, "Heat transfer in a porous radial fin: Analysis of numerically obtained solutions," *Int. J. Aerosp. Eng.*, vol. 2017, Art. no. 1658305, 2017. doi: 10.1155/2017/1658305.
- [19]. H. E. Ahmed, M. I. Ahmed, and M. Z. Yusoff, "Heat transfer from horizontal cylinder with fins embedded in PCM," in *Proc. IEEE Int. Conf. Eng. Technol. Appl. Sci.*, Kuala Lumpur, Malaysia, 2015, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICETAS.2015.7059825.
- [20]. T. K. Ibrahim, M. K. Mohammed, A. T. Al-Sammarraie, and F. Basrawi, "Experimental and numerical investigation on heat transfer analysis of square slotted pin-fin heat sinks," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 232, Art. no. 123425, Sep. 2024. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2024.123425.



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY).