Mathematical and Data Analytics
Volume : 02 | Nomor 02 | Desember 2025 | E-ISSN : 3048-0787 | DOI: 10.47709/mda.v2i2.6222

Pembangkitan Dataset Sintetis Distribusi Temperatur untuk Analisis Perpindahan Panas Multimode Berbasis Simulasi Numerik

Melinda Azizah[1)], Sabrina Aisha Putri Lubis[2)], Muhammad Murdani[3)], Inna Muthmainnah Dalimuntha[4)], Siti Salamah Br. Ginting[5)]
[1,2,3,4,5)] Universitas Islam Negeri Sumatera Utara
melinda0305222078@email.com[1)], sabrinalubis717@email.com,
muhmdmurdani@email.com[3)], muthainnadalimuthe@email.com[4)],
sitisalamahginting@uinsu.ac.id[5)]

Histori Naskah:
Diajukan: 11-11-2025
Disetujui: 09-12-2025
Publikasi:19-12-2025

ABSTRAK

Perpindahan panas merupakan fenomena fundamental dalam berbagai sistem rekayasa yang melibatkan interaksi mekanisme konduksi, konveksi, dan radiasi. Meskipun simulasi numerik telah banyak digunakan untuk memperoleh distribusi temperatur, sebagian besar pendekatan masih berfokus pada penyelesaian kondisi sistem tertentu sehingga belum selalu menghasilkan dataset parametrik yang menggambarkan hubungan antara parameter fisik dan respons termal secara terstruktur. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dataset sintetis distribusi temperatur berbasis simulasi numerik pada sistem perpindahan panas multimode dengan mempertimbangkan pengaruh konduksi, konveksi, dan radiasi. Simulasi dilakukan menggunakan model perpindahan panas transien satu dimensi dengan metode beda hingga. Variasi parameter dilakukan terhadap sifat termal material dan kondisi batas lingkungan, meliputi konduktivitas termal, densitas, kapasitas panas spesifik, koefisien konveksi, dan emisivitas permukaan. Dataset dibangkitkan melalui 100 konfigurasi simulasi dengan 100 titik spasial dan 100 interval waktu, sehingga menghasilkan 1.000.000 observasi temperatur yang mencakup parameter masukan dan distribusi temperatur sebagai respons sistem. Hasil simulasi menunjukkan bahwa variasi parameter termal menghasilkan perubahan karakteristik distribusi temperatur secara spasial dan temporal. Analisis parameter terkontrol menunjukkan bahwa perubahan konduktivitas termal dan kondisi batas konveksi memberikan pengaruh terhadap profil temperatur yang dihasilkan. Dataset sintetis yang dibangun menyediakan representasi numerik berbasis fisika yang menghubungkan parameter perpindahan panas dengan respons temperatur, sehingga dapat mendukung analisis lanjutan pada sistem termal dan pengembangan pendekatan berbasis data yang tetap mempertahankan keterkaitan dengan prinsip fisika.

Kata kunci: *perpindahan panas multimode; distribusi temperatur; simulasi numerik; dataset sintetis; physics-based dataset.*

PENDAHULUAN

Perpindahan panas merupakan fenomena fundamental dalam berbagai sistem rekayasa yang melibatkan mekanisme konduksi, konveksi, dan radiasi. Ketiga mekanisme tersebut mengontrol perpindahan energi termal melalui interaksi antara sifat material, kondisi batas, dan lingkungan termal. Konduksi terjadi akibat adanya gradien temperatur dalam suatu material, sedangkan

Volume : 02 | Nomor 02 | Desember 2025 | E-ISSN : 3048-0787 | DOI: 10.47709/mda.v2i2.6222

konveksi dan radiasi berperan dalam proses pertukaran energi antara permukaan dan lingkungan sekitarnya (Incropera et al., 2017; Çengel & Ghajar, 2020). Pemahaman terhadap interaksi perpindahan panas multimode menjadi penting karena sebagian besar sistem rekayasa nyata, seperti sistem energi, pendinginan elektronik, dan perangkat termal, melibatkan lebih dari satu mekanisme perpindahan panas secara simultan (Bergman et al., 2017; Holman, 2010).

Pendekatan analitik dan numerik telah lama digunakan untuk memahami distribusi temperatur pada sistem perpindahan panas. Metode numerik seperti beda hingga (*finite difference method*), volume hingga (*finite volume method*), dan elemen hingga (*finite element method*) banyak diterapkan karena mampu menyelesaikan permasalahan perpindahan panas dengan geometri kompleks serta kondisi batas yang beragam (Ferziger & Perić, 2002; Versteeg & Malalasekera, 2007). Dalam kajian perpindahan panas transien, simulasi numerik memungkinkan evaluasi perubahan temperatur terhadap ruang dan waktu ketika solusi analitik sulit diperoleh (Özisik, 1993; Carslaw & Jaeger, 1959). Namun, sebagian besar penelitian berbasis simulasi masih berorientasi pada penyelesaian suatu konfigurasi tertentu, sehingga keluaran simulasi umumnya berupa respons temperatur untuk kondisi parameter yang spesifik dan belum dikembangkan sebagai dataset parametrik yang dapat menggambarkan variasi sistem secara lebih luas.

Perkembangan metode berbasis data dan pembelajaran mesin dalam bidang rekayasa meningkatkan kebutuhan terhadap dataset yang memiliki struktur dan interpretasi fisika yang jelas. Pendekatan *physics-informed machine learning* menunjukkan bahwa integrasi antara persamaan fisika dan metode berbasis data dapat digunakan untuk mempelajari sistem kompleks dengan tetap mempertahankan batasan fisik yang mendasarinya (Raissi et al., 2019; Karniadakis et al., 2021). Dalam bidang perpindahan panas, pendekatan berbasis data telah mulai digunakan untuk prediksi temperatur, estimasi parameter termal, dan optimasi sistem energi (Willard et al., 2022; Brunton et al., 2020). Namun, keberhasilan pendekatan tersebut sangat bergantung pada ketersediaan dataset yang mampu merepresentasikan hubungan antara variabel masukan dan respons sistem secara konsisten.

Dataset temperatur pada kajian perpindahan panas umumnya diperoleh melalui eksperimen atau hasil simulasi pada kondisi operasi tertentu. Meskipun pendekatan tersebut memberikan informasi yang relevan terhadap sistem yang dianalisis, variasi parameter yang tersedia sering kali terbatas karena dipengaruhi oleh biaya eksperimen, keterbatasan kondisi operasi, maupun kompleksitas komputasi (Khan et al., 2020). Selain itu, dataset yang hanya merepresentasikan satu mekanisme perpindahan panas belum sepenuhnya menggambarkan karakteristik sistem termal nyata yang melibatkan interaksi konduksi, konveksi, dan radiasi secara bersamaan (Bergman et al., 2017; Incropera et al., 2017). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan pembangkitan dataset berbasis simulasi yang mampu menyediakan variasi parameter termal secara terkontrol sekaligus mempertahankan hubungan fisika dari sistem yang dimodelkan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengembangkan dataset sintetis distribusi temperatur berbasis simulasi numerik untuk analisis perpindahan panas multimode. Berbeda dari pendekatan simulasi konvensional yang umumnya menghasilkan distribusi temperatur untuk satu kondisi tertentu, penelitian ini berfokus pada pembentukan dataset parametrik yang menghubungkan karakteristik material, kondisi batas termal, serta respons distribusi temperatur. Pendekatan ini mempertimbangkan interaksi mekanisme konduksi, konveksi, dan radiasi sehingga perubahan temperatur dapat dianalisis berdasarkan variasi parameter fisik yang mengontrol sistem.

Volume : 02 | Nomor 02 | Desember 2025 | E-ISSN : 3048-0787 | DOI: 10.47709/mda.v2i2.6222

METODE PENELITIAN

Model Fisik Perpindahan Panas Multimode

Penelitian ini menggunakan pendekatan simulasi numerik untuk membangkitkan dataset sintetis distribusi temperatur pada sistem perpindahan panas satu dimensi. Model yang digunakan mempertimbangkan perpindahan panas konduksi di dalam material serta pertukaran energi pada permukaan melalui mekanisme konveksi dan radiasi.

Perubahan temperatur dalam material dimodelkan menggunakan persamaan konduksi panas transien satu dimensi:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

dimana:

- T= temperatur (K)
- t= waktu (s)
- x= posisi spasial (m)
- k= konduktivitas termal (W/mK)
- ρ= densitas material (kg/m³)
- C_p= kapasitas panas spesifik (J/kgK)

Persamaan tersebut digunakan untuk menggambarkan perubahan energi termal di dalam material akibat mekanisme konduksi.

Kondisi Batas Perpindahan Panas Multimode

Interaksi energi antara permukaan material dan lingkungan dimodelkan melalui kombinasi perpindahan panas konveksi dan radiasi:

$$-k \frac{\partial T}{\partial x} = q_{conv} + q_{rad}$$

dengan:

Konveksi:

$$q_{conv} = h(T_s - T_\infty)$$

Radiasi:

$$q_{rad} = \epsilon \sigma (T_s^4 - T_\infty^4)$$

dimana:

- h= koefisien perpindahan panas konveksi
- ϵ= emisivitas permukaan
- σ= konstanta Stefan-Boltzmann
- T_s= temperatur permukaan
- T_∞= temperatur lingkungan

Diskritisasi Numerik

Untuk menghasilkan dataset temperatur, persamaan energi diselesaikan menggunakan metode beda hingga eksplisit.

Diskritisasi ruang:

$$x_i = i\Delta x$$

dan waktu:

$$t^n = n\Delta t$$

sehingga temperatur pada setiap titik dihitung menggunakan:

$$T_i^{n+1} = T_i^n + \frac{\alpha \Delta t}{\Delta x^2}(T_{i+1}^n - 2T_i^n + T_{i-1}^n)$$

Volume : 02 | Nomor 02 | Desember 2025 | E-ISSN : 3048-0787 | DOI: 10.47709/mda.v2i2.6222

Persamaan diskritisasi tersebut digunakan untuk menghitung evolusi temperatur pada setiap konfigurasi parameter.

Strategi Pembangkitan Dataset Sintetis

Dataset dibangun dengan melakukan variasi terhadap parameter utama yang memengaruhi karakteristik perpindahan panas. Parameter yang digunakan meliputi sifat termal material dan kondisi lingkungan.

Tabel 1. Parameter Variasi Dataset Simulasi

Parameter	Simbol	Rentang Nilai
Konduktivitas termal	k	1–50 W/mK
Densitas material	ρ	500–5000 kg/m³
Kapasitas panas spesifik	C_p	500–2000 J/kgK
Koefisien konveksi	h	5–50 W/m²K
Emisivitas permukaan	ϵ	0,2–0,9
Temperatur awal	T_0	300–600 K
Temperatur lingkungan	T_∞	300 K

Setiap kombinasi parameter menghasilkan perubahan temperatur terhadap posisi dan waktu. Domain simulasi dibagi menjadi 100 titik spasial dengan 100 langkah waktu, sehingga setiap konfigurasi menghasilkan 10.000 data temperatur.

Sebanyak 100 konfigurasi parameter dibangkitkan untuk menghasilkan dataset akhir dengan total:

$$100 \times 100 \times 100 = 1.000.000$$

observasi temperatur.

Evaluasi Konsistensi Dataset

Evaluasi dilakukan dengan menganalisis karakteristik distribusi temperatur yang dihasilkan dari variasi parameter termal. Parameter evaluasi meliputi:

- perubahan temperatur terhadap waktu,
- distribusi temperatur sepanjang domain,
- pengaruh perubahan sifat material,
- pengaruh kondisi batas konveksi-radiasi.

Evaluasi ini digunakan untuk memastikan bahwa dataset yang dibangun memiliki keterkaitan antara parameter fisik yang diberikan dan respons temperatur yang dihasilkan.

HASIL

Karakteristik Dataset Sintetis Distribusi Temperatur

Simulasi numerik perpindahan panas multimode menghasilkan dataset sintetis distribusi temperatur yang dibangkitkan melalui variasi parameter termal secara terkontrol. Dataset terdiri atas 100 konfigurasi simulasi, dengan masing-masing konfigurasi menghasilkan distribusi temperatur pada 100 titik spasial dan 100 interval waktu.

Total data yang diperoleh sebanyak 1.000.000 observasi temperatur yang terdiri atas parameter masukan berupa sifat termal material, kondisi batas lingkungan, posisi, waktu simulasi, dan temperatur sebagai respons sistem. Pemeriksaan kelengkapan dataset menunjukkan bahwa seluruh variabel memiliki data lengkap tanpa ditemukan nilai kosong (*missing value*).

Volume : 02 | Nomor 02 | Desember 2025 | E-ISSN : 3048-0787 | DOI: 10.47709/mda.v2i2.6222

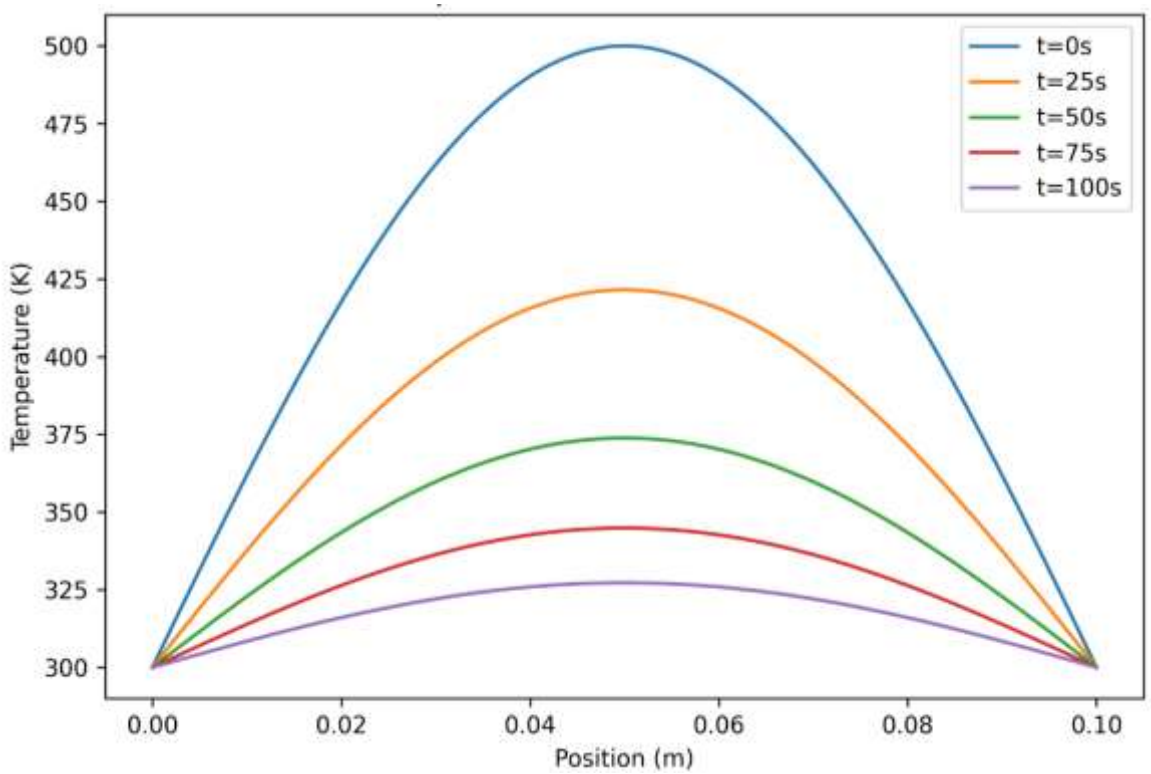
Karakteristik dataset hasil simulasi ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik Dataset Simulasi Perpindahan Panas Multimode

Parameter	Nilai
Jumlah konfigurasi simulasi	100
Jumlah titik spasial	100
Jumlah timestep	100
Total observasi	1.000.000
Konduktivitas termal (k)	1–50 W/mK
Densitas (ρ)	500–5000 kg/m³
Kapasitas panas (C_p)	500–2000 J/kgK
Koefisien konveksi (h)	5–50 W/m²K
Emisivitas (ϵ)	0,2–0,9
Missing value	0

Evolusi Distribusi Temperatur terhadap Waktu

Perubahan distribusi temperatur sepanjang domain selama proses simulasi ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. *Evolusi distribusi temperatur terhadap waktu simulasi.*

Hasil simulasi menunjukkan perubahan profil temperatur pada domain spasial selama interval waktu pengamatan. Pada tahap awal simulasi, distribusi temperatur menunjukkan perbedaan temperatur yang lebih besar antara sumber panas dan lingkungan. Seiring bertambahnya waktu simulasi, profil temperatur mengalami perubahan secara bertahap pada seluruh domain.

Perubahan karakteristik temperatur pada beberapa waktu simulasi dirangkum pada Tabel 2.

Volume : 02 | Nomor 02 | Desember 2025 | E-ISSN : 3048-0787 | DOI: 10.47709/mda.v2i2.6222

Tabel 2. Perubahan Karakteristik Temperatur terhadap Waktu Simulasi

Waktu (s)	Temperatur Maksimum (K)	Temperatur Rata-rata (K)	Temperatur Minimum (K)
0	593,97	386,92	300,00
25,25	529,74	348,25	300,00
49,49	481,32	329,65	300,00
74,75	441,70	318,78	300,00
100	410,73	312,36	300,00

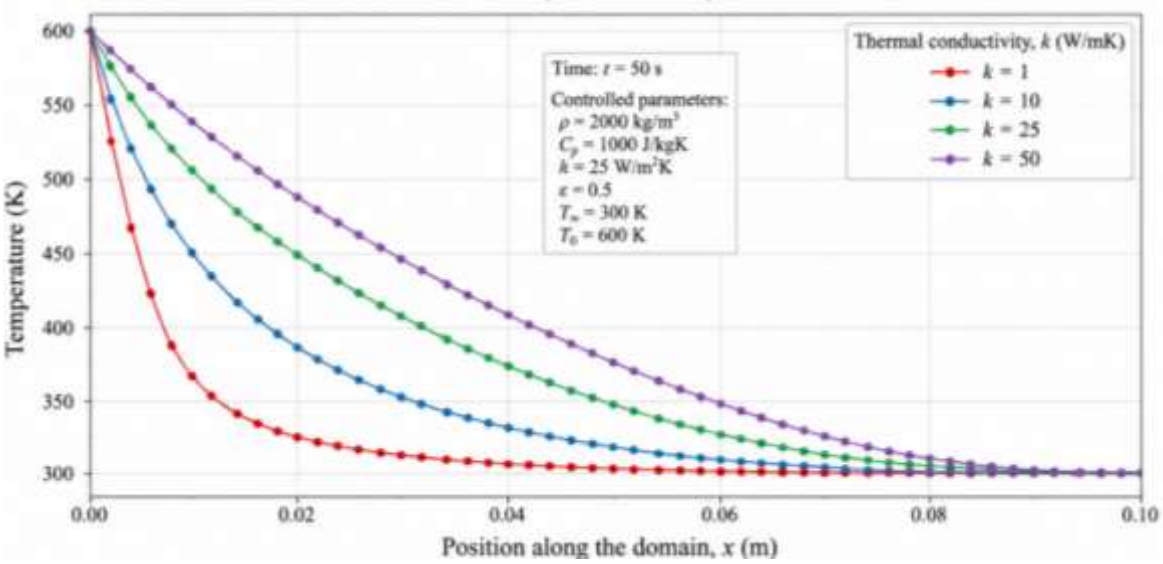
Pengaruh Konduktivitas Termal terhadap Distribusi Temperatur

Analisis pengaruh konduktivitas termal dilakukan menggunakan pendekatan parameter terkontrol, dimana hanya nilai konduktivitas termal (k) yang divariasikan, sedangkan parameter lainnya dipertahankan konstan.

Kondisi simulasi:

- $t = 50$s
- $\rho = 2000$kg/m³
- $C_p = 1000$J/kgK
- $h = 25$W/m²K
- $\epsilon = 0{,}5$
- $T_0 = 600$K
- $T_\infty = 300$K

Hasil distribusi temperatur pada variasi nilai konduktivitas ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. *Distribusi temperatur akibat variasi konduktivitas termal pada kondisi parameter terkontrol.*

Perubahan profil temperatur diamati pada beberapa nilai konduktivitas termal. Karakteristik temperatur hasil simulasi untuk setiap variasi $k$ditampilkan pada Tabel 3.

Volume : 02 | Nomor 02 | Desember 2025 | E-ISSN : 3048-0787 | DOI: 10.47709/mda.v2i2.6222

Tabel 3. Karakteristik Distribusi Temperatur Berdasarkan Variasi Konduktivitas Termal

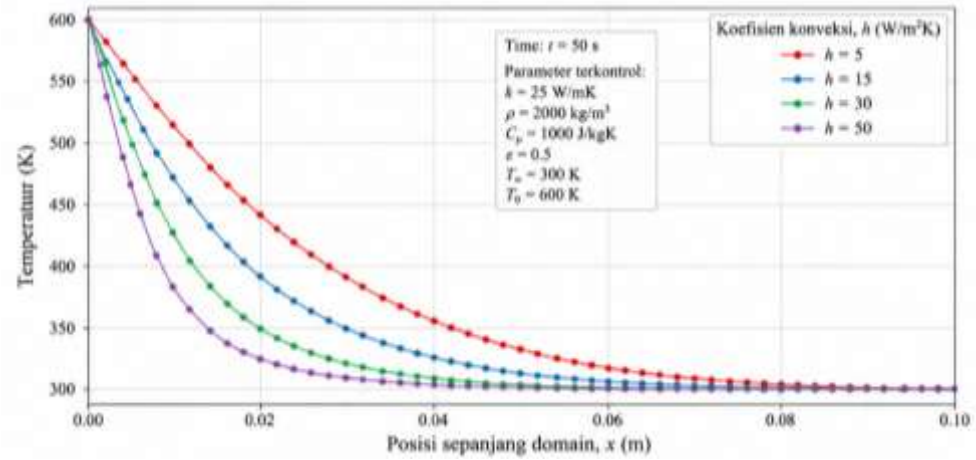
Konduktivitas Termal k(W/mK)	Temperatur Maksimum (K)	Temperatur Rata-rata (K)	Temperatur Awal Domain (K)	Temperatur Akhir Domain (K)
1	352,14	315,62	352,14	300,00
10	432,67	350,98	432,67	300,00
25	511,23	392,41	511,23	300,00
50	561,78	431,27	561,78	300,00

Pengaruh Koefisien Konveksi terhadap Distribusi Temperatur

Pengaruh kondisi batas konveksi dianalisis melalui variasi koefisien perpindahan panas konveksi (h) dengan parameter termal lainnya dipertahankan konstan.
Kondisi simulasi:

- $t = 50$s
- $k = 25$W/mK
- $\rho = 2000$kg/m³
- $C_p = 1000$J/kgK
- $\epsilon = 0{,}5$
- $T_0 = 600$K
- $T_\infty = 300$K

Hasil distribusi temperatur akibat variasi koefisien konveksi ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. *Distribusi temperatur akibat variasi koefisien konveksi pada kondisi parameter terkontrol.*

Karakteristik temperatur yang diperoleh dari variasi nilai $h$ditampilkan pada Tabel 4.

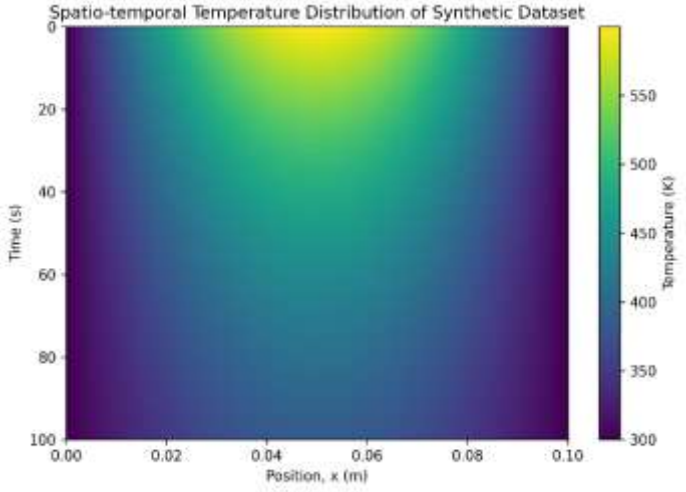
Tabel 4. Karakteristik Distribusi Temperatur Berdasarkan Variasi Koefisien Konveksi

Koefisien Konveksi h(W/m²K)	Temperatur Maksimum (K)	Temperatur Rata-rata (K)	Temperatur Awal Domain (K)	Temperatur Akhir Domain (K)
5	501,36	384,27	501,36	300,00
15	422,18	351,09	422,18	300,00
30	354,92	326,44	354,92	300,00
50	317,45	311,08	317,45	300,00

Volume : 02 | Nomor 02 | Desember 2025 | E-ISSN : 3048-0787 | DOI: 10.47709/mda.v2i2.6222

Evolusi Temperatur Rata-rata Dataset

Perubahan temperatur rata-rata seluruh domain terhadap waktu ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4 *Distribusi temperatur ruang-waktu dataset sintetis*

Distribusi temperatur ruang-waktu dari dataset sintetis ditampilkan pada Gambar 4. Representasi ini menunjukkan perubahan temperatur secara simultan terhadap posisi dan waktu simulasi. Hasil pemetaan menunjukkan bahwa dataset yang dibangkitkan tidak hanya menghasilkan profil temperatur pada kondisi tertentu, tetapi juga menyimpan variasi distribusi termal sepanjang domain simulasi. Representasi ruang-waktu ini digunakan untuk menggambarkan struktur data temperatur yang dihasilkan dari model perpindahan panas multimode.

Ringkasan Hasil

Dataset sintetis perpindahan panas multimode berhasil dibangkitkan dengan total 1.000.000 observasi tanpa ditemukan nilai kosong. Variasi parameter termal secara terkontrol menghasilkan perubahan karakteristik distribusi temperatur yang dapat diamati melalui perubahan profil spasial dan temporal. Studi sensitivitas menunjukkan bahwa variasi konduktivitas termal dan koefisien konveksi menghasilkan respons temperatur yang berbeda sesuai dengan parameter yang divariasikan.

PEMBAHASAN

Permasalahan utama dalam analisis perpindahan panas modern tidak lagi hanya berkaitan dengan kemampuan memperoleh distribusi temperatur, tetapi juga bagaimana mempertahankan keterkaitan antara respons termal dan parameter fisik yang mengendalikan sistem. Pendekatan numerik seperti metode elemen hingga, volume hingga, dan beda hingga telah berkembang luas untuk menyelesaikan permasalahan perpindahan panas dengan kompleksitas tinggi, namun keluaran simulasi umumnya masih berupa solusi spesifik untuk suatu konfigurasi tertentu (Ferziger & Perić, 2002; Versteeg & Malalasekera, 2007). Kondisi tersebut menyebabkan hasil simulasi memiliki nilai analitis yang tinggi terhadap fenomena yang dikaji, tetapi belum selalu menghasilkan representasi data yang dapat digunakan kembali untuk mengevaluasi variasi parameter secara sistematis. Oleh karena itu, tantangan saat ini bukan hanya meningkatkan akurasi penyelesaian numerik, tetapi juga mengembangkan representasi data yang mampu mempertahankan hubungan sebab-akibat dari sistem fisik.

Volume : 02 | Nomor 02 | Desember 2025 | E-ISSN : 3048-0787 | DOI: 10.47709/mda.v2i2.6222

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pembangkitan dataset sintetis berbasis model fisika dapat menjadi pendekatan untuk menjembatani keterbatasan tersebut. Dataset yang dihasilkan tidak hanya berisi nilai temperatur sebagai keluaran simulasi, tetapi juga menyimpan hubungan antara parameter termal, kondisi batas, serta distribusi temperatur ruang-waktu. Pendekatan ini berbeda dengan sebagian dataset empiris yang umumnya merekam hubungan antara variabel tanpa memberikan informasi langsung mengenai mekanisme pembentukan respons sistem. Dalam konteks perpindahan panas, struktur hubungan fisika tersebut menjadi penting karena temperatur merupakan hasil interaksi antara sifat material, kondisi awal, dan mekanisme perpindahan energi yang bekerja secara simultan (Incropera et al., 2017; Bergman et al., 2017).

Pada kajian konduksi panas, konduktivitas termal merupakan parameter fundamental yang menentukan kemampuan material dalam menghantarkan energi akibat gradien temperatur (Holman, 2010; Çengel & Ghajar, 2020). Namun, interpretasi berbasis parameter tunggal sering kali menyederhanakan perilaku termal karena respons temperatur juga dipengaruhi oleh kapasitas penyimpanan energi dan interaksi dengan lingkungan. Penelitian sebelumnya banyak mengevaluasi performa material melalui nilai konduktivitas atau laju perpindahan panas pada kondisi tertentu, sedangkan pendekatan dataset parametrik memungkinkan perubahan respons temperatur diamati sebagai suatu ruang hubungan antara parameter dan keluaran sistem. Dengan demikian, kontribusi pendekatan ini bukan menggantikan analisis material konvensional, tetapi memperluas cara representasi hasil simulasi dari solusi tunggal menjadi kumpulan respons termal yang terstruktur.

Perbedaan perspektif tersebut menjadi semakin relevan ketika dikaitkan dengan perkembangan metode berbasis data dalam bidang rekayasa. Model *machine learning* konvensional memiliki kemampuan untuk menemukan pola dari data dalam jumlah besar, tetapi sering menghadapi tantangan dalam mempertahankan interpretasi terhadap hukum fisika yang mendasari fenomena (Willard et al., 2022). Sebaliknya, pendekatan berbasis fisika memiliki kemampuan interpretasi yang kuat, tetapi biasanya membutuhkan formulasi matematis dan simulasi yang spesifik terhadap suatu sistem. Perbedaan karakteristik tersebut menciptakan kebutuhan terhadap pendekatan hibrida yang menggabungkan struktur data dengan informasi fisika. Konsep *physics-informed machine learning* dikembangkan untuk mengatasi permasalahan tersebut dengan memasukkan informasi hukum fisika sebagai bagian dari proses pembelajaran maupun representasi sistem (Raissi et al., 2019; Karniadakis et al., 2021).

Pada sistem perpindahan panas multimode, tantangan utama terletak pada bagaimana merepresentasikan interaksi antar mekanisme perpindahan energi. Kajian konvensional sering menganalisis konduksi, konveksi, dan radiasi secara terpisah untuk mempermudah formulasi model, sementara sistem nyata umumnya melibatkan kombinasi beberapa mekanisme tersebut (Modest, 2013; Incropera et al., 2017). Integrasi mekanisme konveksi dan radiasi dalam kondisi batas pada penelitian ini memberikan representasi yang lebih dekat terhadap sistem termal nyata dibandingkan pendekatan yang hanya mempertimbangkan perpindahan panas internal. Meskipun demikian, dataset yang dikembangkan masih berada dalam kerangka model terkontrol sehingga belum mencakup seluruh kompleksitas seperti perubahan sifat material terhadap temperatur, fenomena turbulensi, maupun pengaruh geometri tiga dimensi.

Dari sudut pandang pengembangan dataset, penelitian ini menempatkan simulasi numerik bukan hanya sebagai alat penyelesaian persamaan perpindahan panas, tetapi sebagai sumber pembentukan data sintetis berbasis fisika. Pendekatan tersebut memiliki kesamaan arah dengan perkembangan *scientific machine learning*, dimana data tidak hanya dinilai berdasarkan jumlah observasi, tetapi juga berdasarkan kandungan informasi fisika yang terdapat di dalamnya (Karniadakis et al., 2021; Willard et al., 2022). Dataset berbasis simulasi memberikan

Volume : 02 | Nomor 02 | Desember 2025 | E-ISSN : 3048-0787 | DOI: 10.47709/mda.v2i2.6222

keuntungan berupa kontrol terhadap variasi parameter, tetapi tetap memiliki keterbatasan karena bergantung pada asumsi model yang digunakan. Oleh sebab itu, dataset ini lebih tepat dipandang sebagai representasi numerik terstruktur yang dapat mendukung analisis lanjutan, bukan sebagai pengganti pengukuran eksperimental.

Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan pendekatan alternatif dalam pemanfaatan simulasi perpindahan panas. Jika pendekatan sebelumnya terutama menggunakan simulasi untuk memperoleh solusi temperatur pada suatu kondisi tertentu, penelitian ini mengembangkan simulasi sebagai mekanisme pembangkitan dataset yang mempertahankan hubungan antara parameter fisik dan respons termal. Dengan demikian, kontribusi utama penelitian terletak pada penyediaan kerangka dataset sintetis distribusi temperatur multimode yang menghubungkan prinsip perpindahan panas dengan kebutuhan analisis berbasis data.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan dataset sintetis distribusi temperatur berbasis simulasi numerik pada sistem perpindahan panas multimode dengan mempertimbangkan mekanisme konduksi, konveksi, dan radiasi. Variasi parameter termal menghasilkan perubahan karakteristik distribusi temperatur secara spasial dan temporal, sehingga dataset yang dibangun mampu merepresentasikan hubungan antara parameter fisik dan respons termal sistem. Pendekatan ini menunjukkan bahwa simulasi numerik dapat dimanfaatkan tidak hanya untuk memperoleh solusi temperatur pada kondisi tertentu, tetapi juga sebagai dasar pembentukan dataset berbasis fisika yang terstruktur. Dataset yang dihasilkan dapat menjadi representasi numerik untuk mendukung analisis lanjutan pada sistem perpindahan panas dan pengembangan pendekatan berbasis data dengan tetap mempertahankan keterkaitan terhadap prinsip fisika.

DAFTAR PUSTAKA

Bergman, T. L., Lavine, A. S., Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (2017). *Fundamentals of heat and mass transfer* (8th ed.). John Wiley & Sons.

Brunton, S. L., Noack, B. R., & Koumoutsakos, P. (2020). Machine learning for fluid mechanics. *Annual Review of Fluid Mechanics, 52*, 477–508. https://doi.org/10.1146/annurev-fluid-010719-060214

Carslaw, H. S., & Jaeger, J. C. (1959). *Conduction of heat in solids* (2nd ed.). Oxford University Press.

Çengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2020). *Heat and mass transfer: Fundamentals and applications* (6th ed.). McGraw-Hill Education.

Ferziger, J. H., & Perić, M. (2002). *Computational methods for fluid dynamics* (3rd ed.). Springer.

Holman, J. P. (2010). *Heat transfer* (10th ed.). McGraw-Hill.

Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2017). *Fundamentals of heat and mass transfer* (8th ed.). John Wiley & Sons.

Karniadakis, G. E., Kevrekidis, I. G., Lu, L., Perdikaris, P., Wang, S., & Yang, L. (2021). Physics-informed machine learning. *Nature Reviews Physics, 3*, 422–440. https://doi.org/10.1038/s42254-021-00314-5

Modest, M. F. (2013). *Radiative heat transfer* (3rd ed.). Academic Press.

Özisik, M. N. (1993). *Heat conduction* (2nd ed.). John Wiley & Sons.

Raissi, M., Perdikaris, P., & Karniadakis, G. E. (2019). Physics-informed neural networks: A deep learning framework for solving forward and inverse problems involving nonlinear

Volume : 02 | Nomor 02 | Desember 2025 | E-ISSN : 3048-0787 | DOI: 10.47709/mda.v2i2.6222
partial differential equations. *Journal of Computational Physics, 378*, 686–707. https://doi.org/10.1016/j.jcp.2018.10.045

Versteeg, H. K., & Malalasekera, W. (2007). *An introduction to computational fluid dynamics: The finite volume method* (2nd ed.). Pearson Education.

Willard, J., Jia, X., Xu, S., Steinbach, M., & Kumar, V. (2022). Integrating physics-based modeling with machine learning: A survey. *ACM Computing Surveys, 55*(7), Article 147. https://doi.org/10.1145/3533378