

SKRIPSI

**PEMODELAN MATEMATIKA DAN ANALISIS DISTRIBUSI SUHU
PADA PROSES PEMBAKARAN KERAMIK DINDING**

*MATHEMATICAL MODELING AND ANALYSIS OF TEMPERATURE
DISTRIBUTION IN THE WALL CERAMIC FIRING PROCESS*

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh
derajat Sarjana Matematika (S.Mat.)



ARYA WICAKSANA

24010122140154

**DEPARTEMEN MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN MATEMATIKA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**

2026

HALAMAN PENGESAHAN

SKRIPSI

**PEMODELAN MATEMATIKA DAN ANALISIS DISTRIBUSI SUHU
PADA PROSES PEMBAKARAN KERAMIK DINDING**

Telah Disusun Oleh:
ARYA WICAKSANA
24010122140154

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji
pada tanggal 17 Juni 2026
Susunan Tim Penguji

Pembimbing II/Penguji,



Dr. Drs. Kartono, M.Si.
NIP. 196308251990031003

Penguji,



Handika Lintang Saputra, M.Mat.
NIP. 199508022024061001

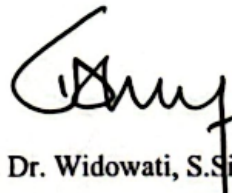
Mengetahui,

Ketua Departemen Matematika



Dr. Sutrisno, S.Si., M.Sc.
NIP. 198609012014041003

Pembimbing I/Penguji,



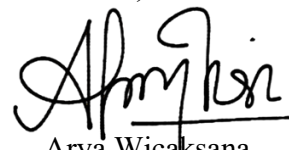
Prof. Dr. Widowati, S.Si., M.Si.
NIP. 196902141994032002

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa pada skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Semarang, 17 Juni 2026

Penulis,



Arya Wicaksana

HALAMAN PERSEMBAHAN

Karya ini kupersembahkan kepada :

Ibu, Ayah, dan Kakak

Sahabat terbaik saya (BI, BK, HD, dan BS)

*Teman-teman yang selalu mendukung saya
dan diri saya sendiri.*

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT yang telah memberikan limpahan rahmat, nikmat, serta ridho-Nya sehingga laporan tugas akhir yang berjudul “Pemodelan Matematika dan Analisis Distribusi Suhu pada Proses Pembakaran Keramik Dinding” dapat diselesaikan dengan baik. Penyusunan tugas akhir ini dilakukan untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam memperoleh gelar Sarjana Matematika (S.Mat.). Penulis menyadari bahwa terselesaikannya laporan ini tidak terlepas dari bantuan, dukungan, motivasi, dan bimbingan dari berbagai pihak yang telah membantu selama proses penyusunan tugas akhir berlangsung.

Tugas akhir ini membahas tentang industri keramik yang merupakan salah satu sektor manufaktur yang memiliki kontribusi penting terhadap pertumbuhan ekonomi nasional, khususnya pada produk keramik dinding dan *tableware*, selain itu berdasarkan data Badan Pusat Statistik nilai ekspor komoditas keramik Indonesia pada tahun 2023 mencapai sekitar 800 juta dolar Amerika Serikat sehingga industri ini menjadi salah satu komoditas unggulan yang memiliki daya saing tinggi di pasar domestik maupun internasional. Dalam proses produksinya, tahap pembakaran di dalam kiln menjadi proses yang sangat menentukan kualitas akhir produk karena berfungsi meningkatkan kekuatan mekanik, menurunkan porositas, namun distribusi panas yang tidak merata sering menyebabkan cacat produk seperti retak, deformasi, hingga kegagalan struktur akibat tegangan termal. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan matematis berbasis persamaan diferensial parsial dan metode numerik untuk menganalisis distribusi temperatur secara sistematis sehingga proses perpindahan panas di dalam kiln dapat dikendalikan dengan lebih optimal, kualitas produk tetap terjaga, efisiensi energi meningkat, serta jumlah produk *reject* dapat diminimalkan dalam proses produksi industri keramik.

Keramik dinding membutuhkan proses pembakaran yang terkontrol agar suhu merata, kualitas produk baik, dan cacat seperti retak, *warping*, atau perbedaan warna dapat dikurangi. Materi ini membahas efisiensi energi, uji kecukupan data,

perpindahan panas konduksi dan adveksi, persamaan panas, kondisi awal-batas, serta metode matematis seperti separasi variabel, Sturm-Liouville, fungsi hiperbolik, dan deret Fourier sinus. Semua konsep tersebut digunakan untuk memodelkan distribusi suhu keramik secara numerik sehingga proses pembakaran menjadi lebih optimal, hemat energi, dan menghasilkan produk yang lebih berkualitas.

Subbab yang terlibat dalam penelitian ini meliputi uji kecukupan data, penerapan teori perpindahan panas, adveksi, konduksi, difusivitas termal, hubungan laju perpindahan panas dengan difusivitas termal, aplikasi persamaan diferensial parsial, persamaan panas tiga dimensi, kondisi tunak, syarat batas, serta metode separasi variabel. Seluruh subbab tersebut saling berkaitan karena uji kecukupan data digunakan untuk memastikan data penelitian layak dianalisis, teori perpindahan panas digunakan untuk menjelaskan proses masuk dan merambatnya panas pada keramik, sedangkan persamaan diferensial parsial dan metode separasi variabel digunakan untuk membangun model matematika distribusi suhu pada keramik selama proses pembakaran.

Penelitian ini menunjukkan bahwa distribusi suhu tunak pada keramik dinding ($15 \times 15 \times 2$) cm^3 sangat dipengaruhi oleh kontras termal antara permukaan panas dan bagian dalam keramik, kontras termal yang besar menyebabkan gradien suhu tajam sehingga suhu belum merata dan belum memenuhi target pembakaran, sedangkan pengurangan kontras termal membuat distribusi suhu lebih seragam. Nilai difusivitas termal dan bilangan Fourier menunjukkan bahwa kondisi tunak telah tercapai, sehingga pemerataan suhu lebih efektif dilakukan melalui pola pembakaran bertahap, penahanan suhu, dan pengendalian pendinginan. Oleh karena itu, PT. Gyan Kreatif Indonesia disarankan menerapkan pemanasan serta pendinginan bertahap dan memvalidasi model dengan pengukuran suhu aktual agar risiko retak, lengkung, dan ketidakseragaman glasir dapat dikurangi.

Dalam proses pelaksanaan dan penyusunan laporan tugas akhir ini, penulis mendapatkan banyak bantuan, dukungan, serta motivasi dari berbagai pihak

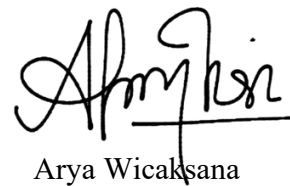
sehingga seluruh rangkaian kegiatan penelitian dapat diselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang tulus kepada:

1. Bapak Dr. Sutrisno, S.Si., M.Sc. selaku Ketua Departemen Matematika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro.
2. Ibu Prof. Dr. Widowati, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan arahan, masukan, serta motivasi kepada penulis selama penyusunan laporan tugas akhir.
3. Bapak Dr. Drs. Kartono, M.Si. selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktu dan memberikan bimbingan serta saran yang bermanfaat bagi penulis.
4. Bapak Handika Lintang Saputra, M.Mat. selaku dosen penguji yang telah memberikan bimbingan dan arahan untuk penyempurnaan skripsi.
5. Mitra PT. Gyan Kreatif Indonesia yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melakukan penelitian serta pengambilan data dan sampel produk.
6. Bapak dan Ibu Dosen Departemen Matematika Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro yang telah memberikan ilmu pengetahuan serta pengalaman akademik kepada penulis selama masa studi.
7. Ibu, Ayah, dan Kakak yang selalu menghadirkan doa, semangat, dan dukungan di setiap proses perjuangan penulis, sehingga laporan tugas akhir ini dapat terselesaikan.
8. Sahabat dan teman-teman, khususnya Caca, Aishya, Raena, Josua, Khayla, Jacinda, Faiza, Devino, Feroland, dan Aurelly yang selalu memberikan dukungan, bantuan, serta semangat kepada penulis dalam setiap proses penyusunan tugas akhir ini hingga dapat terselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir ini masih memiliki keterbatasan dan jauh dari kata sempurna. Oleh sebab itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun guna perbaikan pada penelitian selanjutnya. Penulis juga berharap agar laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan menambah wawasan bagi para pembaca serta pihak-pihak yang membutuhkan.

Semarang, 17 Juni 2026

Penulis

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Arya Wicaksana', written over a horizontal line.

Arya Wicaksana

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	i
PERNYATAAN.....	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
ABSTRAK	xii
ABSTRACT	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan.....	4
1.3 Pembatasan Masalah	4
1.4 Tujuan dan Manfaat.....	5
1.4.1 Tujuan	5
1.4.2 Manfaat	5
1.5 Metodologi Penelitian.....	6
1.6 Sistematika Penulisan.....	9
BAB II LANDASAN TEORI	8
2.1 Keramik Dinding.....	8
2.2 Efisiensi Energi	10
2.3 Uji Kecukupan Data.....	11
2.4 Teori Perpindahan Panas.....	12
2.4.1 Adveksi.....	12
2.4.2 Konduksi.....	13
2.5 Persamaan Diferensial Parsial.....	14
2.5.1 Klasifikasi Persamaan Diferensial Parsial	15
2.5.2 Persamaan Panas.....	15
2.5.3 Kondisi Awal dan Kondisi Batas.....	17

2.6	Metode Sparasi Variabel.....	21
2.7	Teorema Nilai Eigen Strum-Liouville	23
2.8	Fungsi Hiperbolik	25
2.9	Teorema Koefisien Deret Fourier Sinus	27
2.10	Relevansi Penyelesaian Numerik terhadap Optimalisasi Industri Keramik	29
BAB III PEMBAHASAN		31
3.1	Uji Kecukupan Data.....	31
3.2	Penerapan Teori Perpindahan Panas	32
3.2.1	Adveksi	32
3.2.2	Konduksi.....	34
3.3	Aplikasi pada Persamaan Diferensial Parsial	39
3.3.1	Persamaan Panas Tiga Dimensi	40
3.4	Metode Sparasi Variabel.....	42
3.5	Aplikasi Teorema Nilai Eigen Strum-Liouville.....	49
3.6	Aplikasi Fungsi Hiperbolik.....	67
3.7	Aplikasi Teorema Koefisien Fourier Deret Sinus.....	68
3.8	Pengembangan Model.....	81
3.9	Interpretasi Solusi Numerik	97
3.10	Analisis Pengaruh Distribusi Suhu	98
3.11	Pembahasan.....	99
BAB IV PENUTUTP		101
4.1	Kesimpulan	101
4.2	Saran	101
DAFTAR PUSTAKA		103
LAMPIRAN		107

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Parameter Perhitungan Keramik	51
Tabel 3. 2 Nilai λ_{mn} untuk $m, n = 1, 2, 3$	71
Tabel 3. 3 Koordinat Node Grid 3×3 terhadap Sumbu x, y , dan z	75
Tabel 3. 4 Hasil Distribusi Model Awal	80
Tabel 3. 5 Rekap Distribusi Suhu Hasil Pemodelan	94

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Diagram Alir Penelitian	8
Gambar 3. 1 Visualisasi Keramik	41
Gambar 3. 2 Persebaran Suhu Keramik Awal	81
Gambar 3. 3 Persebaran Suhu Keramik setelah Pemodelan	95

ABSTRAK

PEMODELAN MATEMATIKA DAN ANALISIS DISTRIBUSI SUHU PADA PROSES PEMBAKARAN KERAMIK DINDING

Oleh

Arya Wicaksana

24010122140154

Penelitian ini mengonstruksi model distribusi suhu tunak pada keramik dinding, dengan mengaplikasikan solusi deret Fourier ganda dari persamaan Laplace tiga dimensi. Objek utama dari pemodelan analitik ini, untuk mengevaluasi tingkat homogenitas suhu di dalam struktur internal keramik. Evaluasi tersebut dikaji secara komprehensif, selama fase pembakaran dengan kondisi batas suhu permukaan yang diasumsikan konstan pada $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Hasil analisis mengindikasikan bahwa perbedaan termal yang signifikan memicu terbentuknya gradien suhu yang tajam, sehingga zona tengah material belum mencapai rentang optimal, yakni $1050\text{-}1100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pascamodifikasi parameter pemodelan, ekuilibrium suhu yang memenuhi kriteria target pada akhirnya berhasil direalisasikan melalui implementasi mekanisme pembakaran bertahap. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa homogenisasi suhu di dalam keramik terbukti lebih efektif dicapai melalui regulasi laju pemanasan dan pendinginan secara bertahap.

Kata kunci : Perpindahan panas, Difusivitas termal, Fourier, Konvergensi numerik, Efisiensi energi

ABSTRACT

MATHEMATICAL MODELING AND ANALYSIS OF TEMPERATURE DISTRIBUTION IN THE WALL CERAMIC FIRING PROCESS

By

Arya Wicaksana

24010122140154

This study constructs a steady-state temperature distribution model for wall ceramics by applying a double Fourier series solution to the three-dimensional Laplace equation. The primary objective of this analytical modeling is to evaluate the degree of temperature homogeneity within the internal structure of the ceramic. This evaluation is comprehensively examined during the firing phase, with the surface temperature boundary condition assumed to be constant at 1100 °C.

The analytical results indicate that significant thermal disparity triggers the formation of a sharp temperature gradient, resulting in the central zone of the material failing to reach the optimal range of 1050-1100 °C. Following the modification of the modeling parameters, a temperature equilibrium meeting the target criteria is ultimately realized through the implementation of a stepwise firing mechanism. Therefore, it can be concluded that temperature homogenization within the ceramic is more effectively achieved through the regulation of stepwise heating and cooling rates.

Keywords : Heat transfer, Thermal diffusivity, Fourier, Numerical convergence, Energy efficiency