

TRANSFER KALOR KONDUKSI PADA PELAT ALUMINIUM 2 DIMENSI DENGAN MENGGUNAKAN METODE *FORWARD TIME CENTRAL SPACE (FTCS)*

Efan Fajri Ramadhan Nonti¹, Mursalin², Muh. Fachrul Latief^{3*}

^{1,2,3}Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Gorontalo, Indonesia

*Corresponding Author: muh.fachrul@ung.ac.id

ABSTRAK

Perpindahan kalor adalah energi yang bergerak dari suatu tempat ke tempat lain akibat perubahan suhu dalam suatu sistem atau objek. Perpindahan kalor dapat terjadi melalui konduksi, konveksi, dan radiasi, dengan perpindahan secara konduksi terjadi karena suhu yang lebih tinggi pada suatu objek berpindah ke tempat dengan suhu lebih rendah. Penelitian ini bertujuan untuk mensimulasikan perpindahan kalor secara konduksi dua dimensi pada medium pelat aluminium menggunakan metode Forward Time Central Space (FTCS). Simulasi dilakukan melalui analisis numerik menggunakan software MATLAB, dengan perbandingan terhadap solusi analitik untuk mengevaluasi distribusi perpindahan kalor yang terjadi. Objek penelitian adalah pelat aluminium dengan dimensi panjang 2 meter dan lebar 1 meter, menggunakan kondisi batas tertentu, seperti massa jenis $\rho = 2.800 \text{ kg/m}^3$, konduktivitas kalor $235 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, dan grid dengan resolusi 50×10050 . Hasil simulasi menunjukkan distribusi perpindahan kalor yang divisualisasikan serta tingkat keakuratan metode numerik FTCS dibandingkan solusi analitik. Persentase keakuratan yang diperoleh sebesar 65.19%, menunjukkan bahwa metode FTCS kurang optimal untuk simulasi perpindahan panas dua dimensi pada pelat aluminium. Studi ini memberikan kontribusi dalam memahami keterbatasan metode FTCS dalam simulasi numerik perpindahan kalor dan mengusulkan potensi metode alternatif untuk akurasi yang lebih baik.

Kata Kunci: *Perpindahan Panas, Forward Time Central Space, Simulasi, Pemodelan, Matlab.*

ABSTRACT

Heat transfer is the movement of energy from one place to another due to temperature changes in a system or object. Heat transfer can occur through conduction, convection, and radiation, with conduction being the transfer caused by higher temperatures in one part of an object moving to areas with lower temperatures. This study aims to simulate two-dimensional heat transfer by conduction on an aluminum plate medium using the Forward Time Central Space (FTCS) method. The simulation is conducted through numerical analysis using MATLAB software and is compared with an analytical solution to evaluate the distribution of heat transfer. The object of this study is an aluminum plate with dimensions of 2 meters in length and 1 meter in width, utilizing specific boundary conditions such as a density of $\rho = 2,800 \text{ kg/m}^3$, thermal conductivity of $235 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, and a grid resolution of 50×10050 . The simulation results illustrate the distribution of heat transfer and the accuracy level of the FTCS numerical method compared to the analytical solution. An accuracy percentage of 65.19% was obtained,

indicating that the FTCS method is less suitable for simulating two-dimensional heat transfer on an aluminum plate. This study contributes to understanding the limitations of the FTCS method in numerical heat transfer simulation and proposes potential alternative methods for improved accuracy.

Keywords: *Heat Transfer, Forward Time Central Space, Simulation, Modeling, Matlab.*

PENDAHULUAN

Suhu dalam kehidupan sehari-hari sering digunakan untuk mengukur sejauh mana suatu benda bisa berubah menjadi panas atau dingin. Sebagai contoh, oven yang memanaskan memiliki suhu tinggi, sedangkan es yang membeku memiliki suhu rendah (Supu et al., 2016). Di balik fenomena ini, terdapat proses transfer energi yang disebut dengan panas atau kalor. Kalor adalah bentuk energi yang bergerak dari satu tempat ke tempat lain karena adanya perbedaan suhu (Septian et al., 2021). Proses transfer kalor ini terjadi, misalnya, ketika panas dari udara berpindah ke bahan yang sedang dikeringkan. Pada saat yang sama, transfer massa terjadi ketika material dalam proses pengeringan bergerak ke udara untuk mengeringkan bahan tersebut (Ristanto & Huda, 2016).

Perpindahan kalor dapat dijelaskan melalui tiga mekanisme utama: konduksi, konveksi, dan radiasi (Risamasu et al., 2023). Fokus dari penelitian ini adalah pada perpindahan kalor secara konduksi, yang mencirikan ketidakberubahannya suhu atau fluks kalor seiring waktu di semua titik dalam medium, meskipun nilainya dapat berbeda di berbagai titik (Jamilah et al., 2021). Perpindahan kalor konduksi terjadi ketika energi panas berpindah dari satu titik ke titik lain yang memiliki perbedaan suhu, dengan arah perpindahan dari tempat bersuhu lebih tinggi ke tempat bersuhu lebih rendah (Mauri, 2023).

Pada penelitian ini, proses energi yang relevan dipantau melalui volume kontrol. Ketika terdapat gradien suhu, perpindahan kalor konduksi akan melintasi volume kontrol tersebut (Safitri & Waluya, 2020). Proses ini dapat dimodelkan menggunakan persamaan kalor yang mampu menggambarkan fenomena fisik, seperti perambatan energi dan partikel (Puspawan & Suandi, 2020). Dalam konduksi, kalor dipindahkan melalui perambatan energi dari satu bagian benda padat ke bagian lain yang berada dalam kontak fisik tanpa adanya perpindahan materi (Shahab & Amna, 2023). Ini terjadi, misalnya, pada benda padat yang suhunya berbeda di berbagai bagiannya (Saputra et al., 2022).

Kemampuan material untuk menghantarkan kalor dinyatakan dengan konduktivitas termal (Donovan, 2018). Konduktivitas termal mengindikasikan seberapa cepat energi panas dapat merambat melalui material tersebut (Ledwon et al., 2022). Semakin tinggi nilai konduktivitas termal suatu material, semakin cepat pula kalor dapat berpindah melalui material itu (Astuti, 2015).

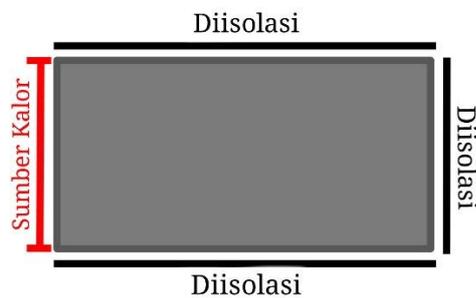
Penelitian ini mensimulasikan perpindahan kalor pada aluminium, yang merupakan konduktor kalor yang baik. Simulasi dilakukan menggunakan metode numerik Forward Time Central Space (FTCS), di mana skema FTCS memungkinkan penyelesaian permasalahan dengan resolusi ruang dan waktu yang akurat untuk menjaga stabilitas simulasi (Sari, 2016). FTCS menggabungkan skema beda maju dalam waktu dan skema beda pusat dalam ruang

untuk menghitung perubahan suhu seiring waktu di dalam pelat alumunium (Alebraheem, 2017)

Skema FTCS diperoleh dengan menggantikan turunan waktu menggunakan rumus beda maju (forward difference) dan menggantikan turunan ruang menggunakan rumus beda pusat (central difference) (Dubey, 2016). FTCS merupakan skema beda hingga eksplisit yang mampu menangani kondisi awal yang tajam dan kontinu (Alebraheem, 2017). Dengan demikian, metode ini cocok untuk simulasi perpindahan kalor secara numerik, dan hasil simulasi akan dihitung menggunakan software Matlab.

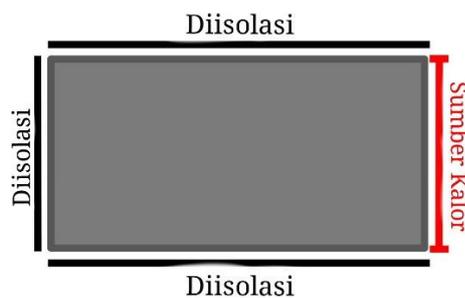
Adapun dalam melakukan simulasi ini pelat alumunium akan disimulasikan secara dua dimensi dengan batasan dan kondisi sebagai berikut.

- Diberikan suhu 100°C dari kiri dan diisolasi pada bagian atas, bawah, dan kanan pelat.



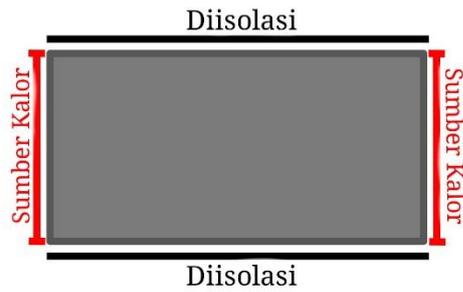
Gambar 1. Sumber kalor yang diberikan dari arah kiri dengan mengisolasi bagian atas, bawah, dan kanan pelat.

- Diberikan suhu 100°C dari kanan dan diisolasi pada bagian atas, bawah, dan kiri pelat.



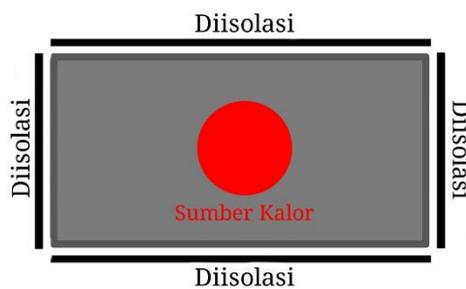
Gambar 2. Sumber kalor yang diberikan dari arah kanan dengan mengisolasi bagian atas, bawah, dan kiri pelat.

- Diberikan suhu 100°C dari kiri dan kanan serta diisolasi pada bagian atas dan bawah pelat.



Gambar 3. *Sumber kalor diberikan dari arah kiri dan kanan kemudian diisolasi pada bagian atas dan bawah pelat.*

- Diberikan suhu 100°C dari tengah dan diisolasi pada seluruh sisi pelat.



Gambar 4. *Sumber kalor diberikan dari bagian tengah pelat serta mengisolasi seluruh sisi dari pelat.*

Penelitian ini bertujuan untuk membuat program komputer dalam penyelesaian numerik menggunakan persamaan perpindahan kalor konduksi menggunakan metode *Forward Time Central Space*. Dalam istilah lain, nilai konduktivitas termal suatu material mengindikasikan seberapa cepat kalor dapat merambat melalui material tersebut (Astuti, 2015), mengetahui pengaruh dari variasi waktu terhadap distribusi perpindahan kalor pada pelat alumunium, dan mengetahui perbedaan perpindahan panas pada pelat alumunium menggunakan solusi numerik dan analitik. Hasilnya menunjukkan bahwa skema FTCS dapat memberikan solusi titik yang lebih baik dibandingkan dengan skema FTBSCS (Maitsa et al., 2021).

METODE

Tahap studi literatur

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan referensi untuk memperkuat teori dasar dan mendukung pemecahan masalah penelitian yang dilakukan. Metode beda hingga merupakan penggunaan deret Taylor untuk menghitung turunan suatu persamaan (Sari, 2017). Dalam praktiknya, terdapat tiga pendekatan yang dapat digunakan pada persamaan deret Taylor, yaitu pendekatan maju (FTCS), pendekatan pusat (CTCS), dan pendekatan mundur (BTCS) (Mubaroq et al., 2022). Pada tahap ini juga digunakan untuk memperkuat teori mengenai perpindahan kalor pada pelat alumunium dan penggunaan metode *Forward Time Central Space*. Skema FTCS adalah contoh dari skema beda hingga eksplisit yang memiliki kondisi awal yang kontinu dengan tajam (Febrianti, 2018).

Menentukan dimensi dan kondisi batas dari pelat

Dimensi dari pelat aluminium ditentukan dengan Panjang 2 meter dan lebar 1 meter. Kondisi batas dari pelat tersebut antara lain memiliki massa jenis $\rho = 2.800 \text{ kg/m}^3$, konduktivitas kalor $235 \text{ W/m} \cdot \text{K}$, waktu pengambilan data dilakukan pada 1 detik, 500 detik, 1000 detik, dan 1500 detik. Jumlah grid sebanyak 50×100 dimana tiap grid pada sumbu x berjarak 1:50 atau 2 cm dan grid pada sumbu y berjarak 2:100 atau 2 cm.

Perhitungan numerik

Perhitungan numerik dilakukan dengan penyelesaian persamaan perpindahan kalor pada pelat aluminium dengan menggunakan metode *Forward Time Central Space*. Persamaan untuk penyelesaian perhitungan secara numerik ini dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\frac{T_{i,j}^{n+1} - T_{i,j}^n}{\Delta t} = \alpha \left(\frac{T_{i+1,j}^n - 2T_{i,j}^n + T_{i-1,j}^n}{\Delta x^2} + \frac{T_{i,j+1}^n - 2T_{i,j}^n + T_{i,j-1}^n}{\Delta y^2} \right) \quad (1)$$

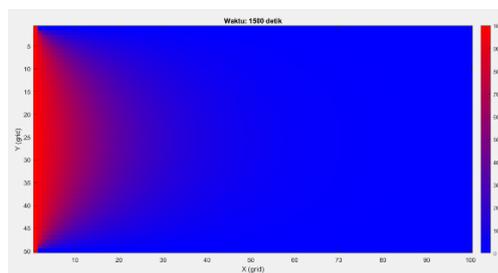
Persamaan diatas merupakan persamaan perpindahan panas yang disubstitusikan menggunakan persamaan dari metode *Forward Time Central Space*, dan digunakan untuk mensimulasikan perpindahan kalor pada *software matlab*. Dalam skema ini, domain fungsi $f(x)$ dibagi menjadi sejumlah titik dan rumus aproksimasi untuk turunan diperoleh dari ekspansi deret Taylor.

Simulasi dan pemodelan

Pada tahap ini dilakuka pemograman pada *software matlab* menggunakan persamaan 1. solusi analitik adalah penyelesaian yang memenuhi persamaan semula secara tepat, sementara solusi numerik adalah pendekatan yang memberikan hasil perkiraan (Sinopa et al., 2020). Hasil dari perhitungan numerik tersebut dimasukkan ke program atau algoritma yang dibuat di *software matlab* yang kemudian dilakukan simulasi sehingga mendapatkan hasil yang akan dianalisis.

HASIL PENELITIAN

Posisi suhu diberikan dari arah kiri

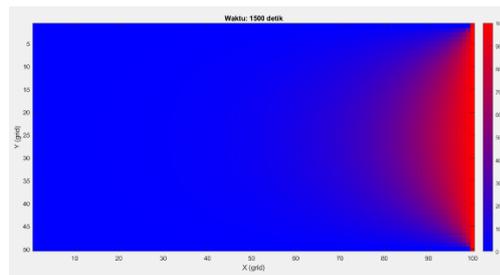


Gambar 5. Grafik perpindahan kalor dengan sumber kalor diberikan dari arah kiri.

Pada gambar 1 terlihat bahwa pada waktu 1500 detik distribusi perpindahan kalor dari pelat aluminium ini terlihat lebih menuju kearah tengah ini diakibatkan oleh adanya isolasi yang diberikan pada sisi pelat yang tidak diberikan kalor. Isolasi tersebut menyebabkan kalor

mencari sumber suhu yang lebih dingin ke arah tengah terlebih dahulu dan perlahan-lahan mulai naik ke posisi mendekati bagian yang diisolasi.

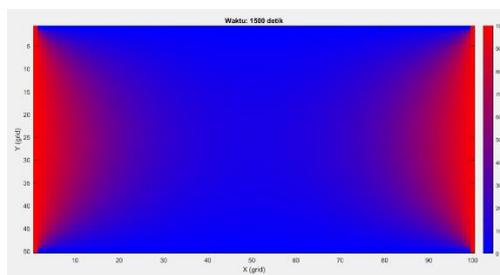
Posisi suhu diberikan dari arah kanan



Gambar 6. Grafik perpindahan kalor dengan sumber kalor diberikan dari arah kanan.

Pada gambar 2 dapat dilihat bahwa distribusi perpindahan kalor kurang lebih sama dengan sumber kalor yang diberikan dari arah kiri, dimana perpindahan kalornya lebih menuju ke arah tengah akibat dari isolasi di sisi pelat yang tidak diberikan sumber kalor. Perpindahan yang menuju ke arah tengah ini menunjukkan bahwa distribusi kalor yang disimulasikan mendapatkan hasil yang sesuai dengan prinsip konduksi dimana panas bergerak dari arah kanan ke tengah yaitu tempat yang lebih dingin dan tidak menyebar ke atas, bawah, dan samping yang diisolasi karena tidak terjadi pertukaran panas dibagian tersebut.

Posisi suhu diberikan dari arah kiri dan kanan

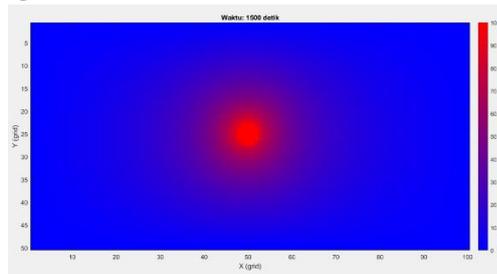


Gambar 7. Grafik perpindahan kalor dengan sumber kalor diberikan dari arah kiri dan kanan

Dari gambar 3 dapat dilihat bahwa saat disimulasikan dengan diberikan kalor secara bersamaan dari sisi kiri dan kanan, suhu pada pelat menjadi lebih panas dibandingkan dengan hanya disimulasikan pada satu sisi. Saat disimulasikan bersamaan juga distribusi perpindahan panasnya semakin cepat menuju ke bagian tengah karena adanya 2 sumber kalor yang

mendistribusikan panas secara langsung. Dengan ini dapat terlihat pula bahwa bagian kanan dari pelat menjadi lebih panas dibandingkan dengan bagian kiri pelat, ini terjadi karena dua sumber suhu yang saling bertemu satu sama lain menyebabkan salah satu bagian pelat menjadi lebih panas dibandingkan dengan bagian lainnya.

Posisi suhu diberikan dari tengah



Gambar 8. Grafik perpindahan kalor dengan sumber kalor diberikan dari tengah.

Dari gambar 8 dapat terlihat bahwa isolasi yang diberikan pada semua sisi pelat menyebabkan sumber kalor yang terdistribusi dari arah tengah bergerak sangat lambat dibandingkan dengan sumber kalor yang diberikan dari sisi pelat. Ini terjadi karena isolasi tersebut menyebabkan tidak ada sama sekali pertukaran panas yang terjadi pada sisi lain dari pelat selain dari bagian tengah pelat. Ini juga menyebabkan bagian tengah dari pelat menjadi sangat panas dibandingkan dengan bagian yang lain dari pelat akibat perpindahan yang berlangsung lama pada bagian tengah pelat tersebut.

PEMBAHASAN

Tabel 1. Perbandingan solusi analitik dan numerik

No	Grid	Analitik	Numerik	Akurat
1	1,1	0,03139	0	0%
2	2,2	0,12537	0,1984	41,7%
3	3,3	0,28128	0,3961	59,1%
4	4,4	0,58046	0,5922	97,9%
5	5,5	0,77417	0,7859	98,4%
6	6,6	1,10777	0,9764	88,1%
7	7,7	1,49656	1,1030	77,7%
8	8,8	1,93788	1,3448	69,4%
9	9,9	2,42874	1,5211	62,6%
10	10,10	2,96582	1,6911	57%
Rata-rata				65,19%

Dari hasil perbandingan solusi analitik dan solusi numerik kita dapat melihat bahwa solusi numerik mendekati nilai dari solusi analitik tetapi tidak terlalu dekat untuk mendapatkan hasil distribusi suhu yang stabil. Dari tabel 1 terlihat bahwa metode yang digunakan yaitu *Forward Time Central Space* menunjukkan perhitungan numerik ini terjadi trunkasi atau

Truncation Error. Dimana terjadi proses pemotongan untuk menyederhanakan perhitungan matematis yang seharusnya dilakukan dalam bentuk kontinu. Inilah yang menjadi penyebab keakuratan dari metode ini hanya mencapai 65,19% dimana ini tergolong rendah. Persamaan solusi analitik ini dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$u = \frac{100}{\pi} \sum_{\text{odd } n} \frac{1}{n} e^{-(n\pi\alpha/200)^2 t} \sin \frac{n\pi x}{l} \times \sin \frac{n\pi y}{l} \quad (2)$$

Persentase keakuratan yang bervariasi ditunjukkan dari tabel 1 menunjukkan bahwa solusi numerik semakin mendekati solusi analitik dengan beberapa simulasi dan parameter tertentu. Perbedaan antara metode numerik dan solusi analitik ini diakibatkan solusi numerik yang seringkali menggunakan metode aproksimasi untuk menyelesaikan masalah matematis yang kompleks atau tidak dapat diekspresikan secara analitik. Perbedaan solusi analitik dan numerik biasanya mencerminkan *trade-off* antara ketepatan dan kompleksitas komputasi. Dari tabel 1 juga dapat dilihat bahwa nilai-nilai tinggi menunjukkan bahwa solusi numerik mendekati solusi analitik dengan sangat baik dan nilai-nilai rendah menunjukkan perbedaan signifikan antara solusi numerik dan solusi analitik. Persentase keakuratan yang bervariasi menunjukkan bahwa simulasi ini sangat dipengaruhi oleh parameter yang digunakan.

Dari parameter yang digunakan yaitu metode *Forward Time Central Space* menunjukkan bahwa terjadi kesalahan aproksimasi dari simulasi atau yang disebut *truncation error*. *Truncation error* merupakan kesalahan yang terjadi ketika solusi numerik mendekati solusi kontinu dari masalah matematis dengan menggunakan aproksimasi diskrit. Sederhananya ini terjadi karena proses pemotongan (*truncation*) yang dilakukan untuk menyederhanakan perhitungan matematis yang seharusnya dilakukan dalam bentuk kontinu.

SIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa metode *Forward Time Central Space* dapat menghasilkan hasil simulasi yang sesuai dengan prinsip perpindahan kalor secara konduksi tetapi memiliki kekurangan dalam distribusi suhunya yang dimana solusi numerik perpindahan kalor menggunakan metode ini hanya memiliki rata-rata keakuratan 65,19% dibandingkan dengan solusi analitik. Ini menunjukkan bahwa metode *Forward Time Central Space* tidak begitu cocok jika digunakan untuk melakukan pemodelan dan simulasi perpindahan panas secara dua dimensi karena menyebabkan terjadinya trunkasi pada solusi numerik yang akhirnya berujung pada terjadinya pemotongan-pemotongan untuk menyederhanakan perhitungan matematis yang seharusnya dilakukan dalam bentuk yang kontinu.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Gorontalo, atas dukungan dan fasilitas yang diberikan selama proses penelitian ini. Bantuan dan bimbingan yang diberikan sangat berarti bagi kami dalam menyelesaikan penelitian ini. Semoga kerja sama dan dukungan ini dapat terus terjalin demi kemajuan ilmu pengetahuan dan pendidikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alebraheem, J. (2017). Forward time centered space scheme for the solution of transport equation. *International Annals of Science*, 2(1), 1–5. <https://doi.org/10.21467/ias.2.1.1-5>
- Astuti, I. A. D. (2015). Penentuan konduktivitas termal logam tembaga, kuningan, dan besi dengan metode gandengan. *Prosiding Seminar Nasional Fisika Dan Pendidikan Fisika (SNFPF) Ke-6*.
- Donovan, R. (2018). *Studi sifat termal batuan daerah lapangan panas bumi way ratai berdasarkan pengukuran metode konduktivitas termal*. Universitas Lampung.
- Dubey, R. K. (2016). Data dependent stability of Forward in Time and Centred in Space (FTCS) scheme for scalar hyperbolic equations. *International Journal of Numerical Analysis & Modeling*, 13(5), 689–704.
- Jamilah, J. J., Oktavia, F. R., & Nafita, S. W. (2021). Pengaruh material yang berbeda terhadap laju perpindahan panas. *Jurnal Penelitian Fisika Dan Terapannya (JUPITER)*, 3(1), 1. <https://doi.org/10.31851/jupiter.v3i1.5979>
- Ledwon, D., Sage, A., Juszczyk, J., Rudzki, M., & Badura, P. (2022). Tomographic reconstruction from planar thermal imaging using convolutional neural network. *Scientific Reports*, 12(1), 2347. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06076-z>
- Maitsa, T. R., Haffiyan, Q., Adityawan, M. B., Magdalena, I., Kuntoro, A. A., & Kardhana, H. (2021). Development of a 2D numerical model for pollutant transport using FTCS scheme and numerical filter. *Makara Journal of Technology*, 25(3). <https://doi.org/10.7454/mst.v25i3.3966>
- Mauri, R. (2023). *Free convection* (pp. 315–331). https://doi.org/10.1007/978-3-031-28920-0_19
- Mubarok, Rizki, M., & Saefan, J. (2022). Analisis error pada jawaban numerik metode FTCS pada persamaan aliran kalor. *Prosiding Seminar Nasional Lontar Physics Forum VI 2022*, 43–48.
- Puspawan, A., & Suandi, A. (2020). The heat transfer flow analysis of standard plate stell of JIS G3106 Grade SM20B on pre-heating joint web plate I-Girder process case study in PT. Bukaka Teknik Utama, Bogor Regency, West Java Province. *Jurnal Rekayasa Mekanik*, 4(1), 1–8.
- Risamasu, P. V. M., Pieter, J., & Gunada, I. W. (2023). Pengembangan bahan ajar IPA SMP tema perpindahan kalor berkonteks etnosains Jayapura Papua. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, 8(1b), 948–958. <https://doi.org/10.29303/jipp.v8i1b.1322>
- Ristante, S., & Huda, C. (2016). Pemodelan transfer panas dan massa pada proses pengeringan biji-bijian sistem rak beserta solusi numeriknya. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-BiRuNi*, 5(2), 153–159.
- Safitri, V., & Waluya, St. B. (2020). Solusi persamaan panas pada heat exchanger menggunakan transformasi fourier. *Unnes Journal of Mathematics*, 9(1), 77–86.
- Saputra, A., Samhuddin, S., & Hasanudin, L. (2022). Perancangan dan analisis pengujian konduktivitas panas pada tipe material padat. *Enthalpy: Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin*, 7(1), 22. <https://doi.org/10.55679/enthalpy.v7i1.24502>
- Sari, K. D. (2017). Pembuktian rumus bentuk tutup beda pusat berdasarkan deret Taylor. *Jurnal Matematika UNAND*, 6(3), 55. <https://doi.org/10.25077/jmu.6.3.55-62.2017>
- Sari, M. P. (2016). *Solusi numerik persamaan boussinesq menggunakan metode beda hingga implisit* [Thesis (Undergraduate)]. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Septian, B., Rey, P. D., & Aziz, A. (2021). Desain dan rancang bangun alat penukar kalor (heat exchanger) jenis shell dan tube. *Jurnal Baut Dan Manufaktur: Jurnal Keilmuan Teknik Mesin Dan Teknik Industri*, 3(01), 52–60.
- Shahab, A., & Amna, S. (2023). Efficiency analysis of fire tube boiler type at refinery utility unit center for oil and gas human resources developme. *Jurnal Cakrawala Ilmiah*, 2(7), 3109–3118. <https://doi.org/10.53625/jcijurnalcakrawalailmiah.v2i7.5401>

- Sinopa, L. C. K., Noviani, E., & Rizki, S. W. (2020). Hampiran solusi persamaan panas dimensi satu dengan metode beda hingga crank-nicolson. *Bimaster: Buletin Ilmiah Matematika, Statistika Dan Terapannya*, 9(1). <https://doi.org/10.26418/bbimst.v9i1.38819>
- Supu, I., Usman, B., Basti, S., & Sunarmi. (2016). Pengaruh suhu terhadap perpindahan panas pada material yang berbeda. *Jurnal Dinamika*, 7(1), 62–73.