PHYDAGOGIC : Jurnal Fisika dan Pembelajarannya **Volume 7, Issue 2, April 2025**
ISSN 2654-2641 (online) DOI: 10.31605/phy.v7i1.4255
http://ojs.unsulbar.ac.id/index.php/phy

SIMULASI NUMERIK DISTRIBUSI PANAS PADA BUDAYA BAKAR BATU DENGAN PENDEKATAN PERPINDAHAN PANAS BANYAK LAPIS DAN SUMBER PANAS SECARA KONDUKSI

Rahman[1*], Hardi Hamzah[2], Tatang Sutarman[3], Khaeriah Dahlan[4], Daniel Napitupulu[5]
[1,2,4]Program Studi Fisika, Universitas Cenderawasih, Indonesia
[3,5]Program Studi Teknik Geofisika, Universitas Cenderawasih, Indonesia
e-mail: rasgyatrav@gmail.com

Abstrak

Metode komputasi digunakan untuk menganalisis fenomena budaya seperti tradisi bakar batu di Papua, yang memanfaatkan pemanasan batu dan isolasi panas. Penelitian tentang perpindahan panas dalam berbagai proses, termasuk bakar batu, membantu memahami dan mengoptimalkan teknik memasak tradisional ini. Tradisi bakar batu dilakukan dalam upacara adat dengan memanaskan batu tahan panas untuk memasak makanan dalam lubang tanah berlapis rumput basah sebagai isolasi. Teknik ini memungkinkan makanan matang merata berkat perpindahan panas yang terisolasi. Penelitian ini menggunakan metode numerik beda hingga untuk menganalisis perpindahan panas dan lapisan bakar batu. Sebaran suhu pada bakar batu dipengaruhi oleh konduktivitas panas bahan makanan, dengan tiap lapisan bersifat independen dan hanya dipengaruhi oleh suhu di batas lapisan.

Kata kunci: Bakar Batu, Sebaran Panas, Banyak Lapis, Konduksi.

NUMERICAL SIMULATION OF HEAT DISTRIBUTION IN STONE KILN CULTURE WITH MULTI-LAYER HEAT TRANSFER APPROACH AND HEAT SOURCE BY CONDUCTION

Abstract

Computational methods are used to analyze cultural phenomena such as the tradition of stone roasting in Papua, which utilizes stone heating and heat insulation. Research on heat transfer in various processes, including stone burning, helps to understand and optimize this traditional cooking technique. The bakar batu tradition is performed in traditional ceremonies by heating heat-resistant stones to cook food in an earthen pit lined with wet grass as insulation. This technique allows food to cook evenly thanks to the isolated heat transfer. This research uses a finite difference numerical method to analyze the heat transfer and layering of the stone burner.The temperature distribution of the stone burn is affected by the heat conductivity of the food, with each layer being independent and only affected by the temperature at the layer boundary.

Keywords: *Stone Burning, Heat Spread, Multi-Layer.*

PENDAHULUAN

Metode komputasi telah menjadi alat penting dalam memahami fenomena fisik dan menyelesaikan masalah matematis kompleks. Salah satu penerapannya adalah pada tradisi "bakar batu" di Papua, sebuah metode memasak tradisional yang melibatkan pemanasan batu untuk memasak makanan dalam jumlah besar. Tradisi ini tidak hanya memiliki nilai budaya, tetapi juga menjadi objek kajian ilmiah untuk memahami proses perpindahan panas yang terjadi.

Beberapa penelitian terkait perpindahan panas pada berbagai proses menunjukkan hasil signifikan, seperti pada destilasi daun serai wangi untuk menghemat bahan bakar [1], pemodelan numerik pengolahan kelapa sawit menggunakan boiler [2], analisi laju perpindahan panas pada pengeringan ikan asin dengan tray dryer tenaga surya [3], serta analisis perpindahana panas pada rekayasa dandang untuk UKM yang

OPEN ACCESS CC BY NC

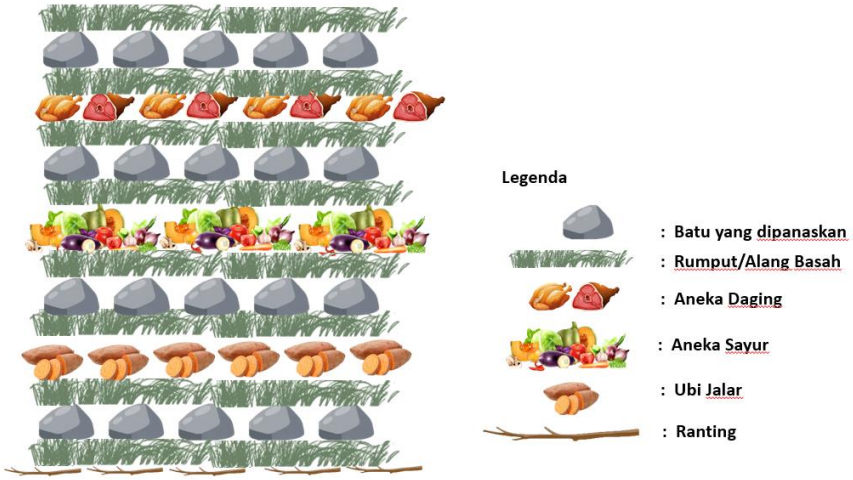
mempercepat proses pemasakan [4]. Penelitian juga mencakup analisis jarak optimal antara tungku briket dan panci [5] serta model matematis untuk pemasakan kentang [6]. Khusus untuk tradisi bakar batu, analisis eksperimental telah dilakukan untuk memahami laju perpindahan panas pada proses bakar batu [7].

Tradisi bakar batu dikenal dengan berbagai nama di Papua, seperti Lago Lakwi, Kit Abo Isogo, Kerep Kan, Hupon, Barapen, dan Mogo Gapil, tergantung pada daerahnya [8]. Tradisi ini merupakan bagian dari upacara adat, ungkapan syukur, atau peringatan peristiwa penting. Prosesnya melibatkan seluruh warga kampung yang bekerja sama dalam memasak makanan sebagai simbol kebersamaan dan solidaritas [9].

Proses memasak dimulai dengan memanaskan batu khusus yang tahan panas selama 45-60 menit. Batu-batu panas ini kemudian digunakan untuk memasak makanan di dalam lubang tanah berdiameter sekitar 140 cm dan kedalaman 54 cm. Lubang tersebut dilapisi dengan rumput basah sebagai material isolasi, diikuti oleh lapisan batu panas, bahan makanan seperti daging, ubi jalar, dan sayuran, yang kemudian ditutup kembali dengan rumput dan tanah untuk menjaga panas tetap terperangkap. Sistem ini memungkinkan makanan matang secara merata dalam lingkungan tertutup [7].

Bentuk lapisan dari proses bakar batu dinerian pada gambar berikut .

.



Gambar 1. Susunan Lapisan pada Lubang Bakar Batu [10] (yang telah direproduksi penulis)

Penelitian mengenai perpindahan panas dalam tradisi bakar batu bertujuan untuk memahami dan mengoptimalkan proses memasak tradisional ini. Proses ini melibatkan perpindahan panas melalui konduksi pada sistem berlapis, di mana setiap lapisan memiliki koefisien konduktivitas termal yang berbeda. Kajian mendalam diperlukan untuk menganalisis distribusi panas secara numerik dan mengevaluasi efisiensi termal dari metode ini.

Salah satu pendekatan yang digunakan adalah metode beda hingga (finite difference method) dua dimensi. Metode ini memungkinkan simulasi numerik untuk mempelajari distribusi panas dalam sistem berlapis, termasuk pengaruh variasi material isolasi dan batu panas terhadap efisiensi memasak. Dengan pendekatan ini, para peneliti dapat mengidentifikasi parameter optimal untuk meningkatkan efisiensi energi tanpa mengurangi nilai tradisional dari proses tersebut.

Penelitian ini bertujuan mensimulasikan secara numerik perpindahan dan distribusi panas pada proses bakar batu menggunakan metode beda hingga dua dimensi, dengan pendekatan konduksi pada sistem berlapis dan variasi koefisien konduktivitas termal bahan

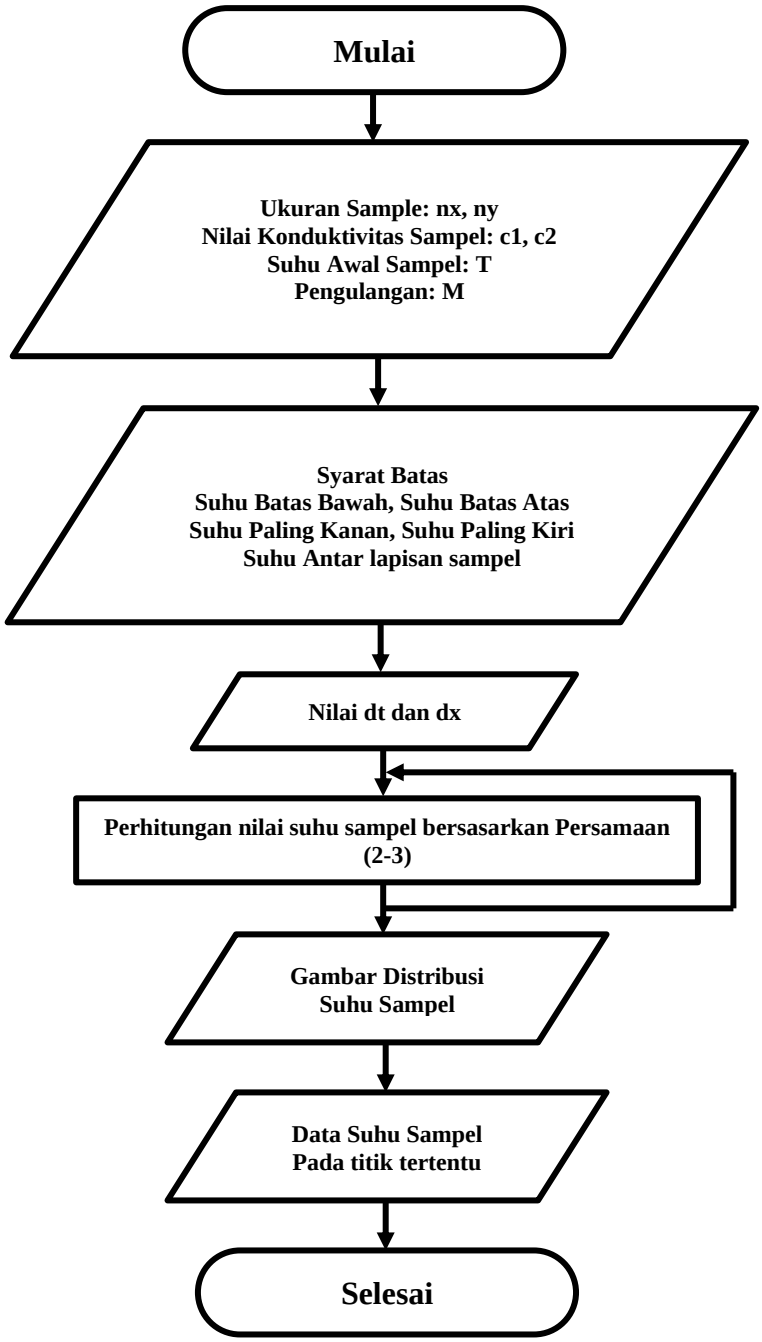
METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode komputasi dengan perangkat lunak Matlab berdasarkan persamaan diferensial orde 2 yang dimodifikasi untuk menganalisis perpindahan panas dan bentuk lapisan proses bakar batu. Penelitian berlangsung selama enam bulan yakni Mei hingga November 2024, di Laboratorium Fisika Komputasi, Jurusan Fisika FMIPA Universitas Cenderawasih.

Perancangan program komputer dalam bahasa pemograman Matlab didasarkan pada persamaan-

$$\boldsymbol{Q = -kA\nabla T = -kA\left(\hat{\imath}\frac{\partial T}{\partial x} + \hat{\jmath}\frac{\partial T}{\partial y} + \hat{k}\frac{\partial T}{\partial z}\right)}$$

Yang dituangkan dalam diagram alir yang disajikan pada gambar berikut



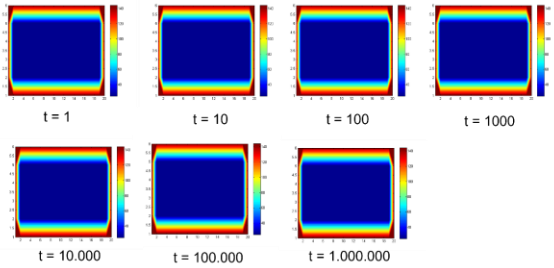
Gambar 2. Diagram Alir Program

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sampel sistem bakar batu terdiri dari lapisan dengan ketebalan 5 ukuran universal dan panjang 20 ukuran universal. Suhu batu dalam simulasi adalah 200°C, suhu awal bahan makanan 25°C, dan nilai konduktivitas bahan bervariasi dari 0 hingga 0,5.

Kasus 1 Lapis Bakar Batu

Hasil simulasi menunjukkan distribusi panas pada sampel untuk berbagai nilai konduktivitas termal, dimulai dari bahan insulator murni dengan konduktivitas nol. Sebaran panasnya ditampilkan seperti pada gambar 3.

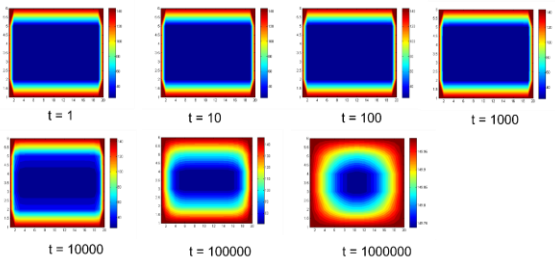


Gambar 3. Sebaran panas untuk tetapan konduktivitas bernilai 0.

Dari gambar sebaran panas, terlihat bahwa tidak ada perubahan meskipun jumlah iterasi bertambah. Meskipun terdapat perbedaan suhu yang besar antara batu (150°C) dan bahan makanan (25°C), karena nilai konduktivitas bahan makanan adalah nol, bahan makanan bertindak sebagai insulator panas, sehingga tidak terjadi perpindahan panas secara konduksi dalam sistem bakar batu.

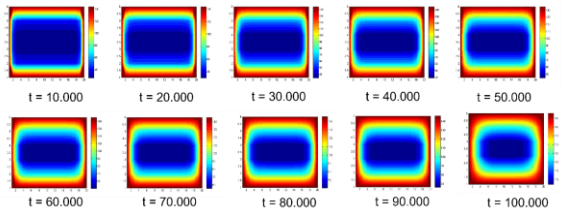
Untuk nilai tetapan konduktivitas panas bahan makanan dipilih bernilai 0,1, hasil simulasi disajikan pada gambar 4.

Dari gambar 4, terlihat bahwa hingga iterasi ke t = 10.000, distribusi suhu belum menunjukkan perbedaan signifikan dibandingkan dengan iterasi ke t = 1. Namun, setelah iterasi ke t=100.000, suhu terendah sistem mencapai sekitar 60°C, dan pada iterasi ke t=1.000.000, suhu sistem hampir seragam dengan nilai mendekati 150°C.



Gambar 4. Sebaran panas untuk tetapan konduktivitas bernilai 0.1.

Untuk melihat secara detail perubahan distribusi panas atau temperatur pada sistem bakar batu, dilakukan simulasi dari iterasi t=10.000 hingga t=200.000.

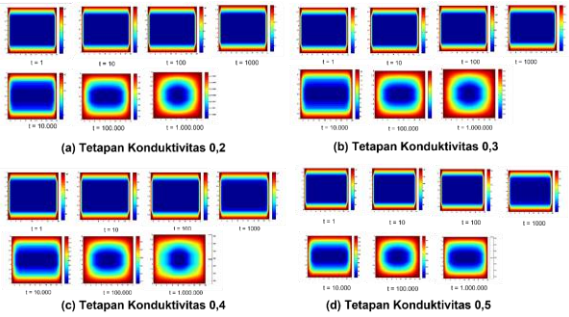


Gambar 5. Sebaran panas untuk tetapan konduktivitas bernilai 0.1. pada iterasi 10.000 sampai 200.000

Pola yang terbentuk pada gambar 5, terlihat bahwa pola sebaran suhu hampir serupa untuk setiap iterasi. Namun, nilai suhu terendah yang ditandai dengan warna biru berubah pada setiap iterasi. Pada iterasi ke-10.000, suhu terendah tercatat sekitar 30°C, pada iterasi ke-50.000 suhu terendah sekitar 45°C, dan pada iterasi ke-200.000, suhu terendah tercatat sekitar 100°C.

Simulasi menunjukkan bahwa perpindahan panas dimulai dari pinggiran sistem sebagai sumber panas dengan suhu tetap, dan bergerak menuju pusat sistem bakar batu, dengan suhu maksimum mencapai sekitar 150°C pada iterasi ke-1.000.000.

Simulasi penyebaran panas juga dilakukan pada nilai tetapan kondiktuvitas 0,2, 0,3, 0,4 dan 0,5, yang hasilnya disajikan pada gambaar-gambar berikut.

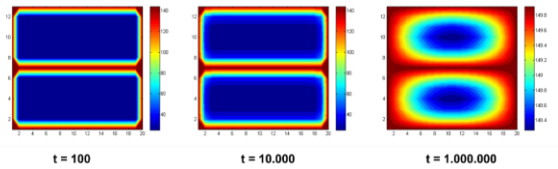


Gambar 6. Sebaran panas untuk berbagai tetapan konduktivitas

Dari gambar 6 terlihat bahwa pola sebaran panas memiliki kesamaan pada setiap nilai, namun suhu terendah berbeda pada setiap iterasi.

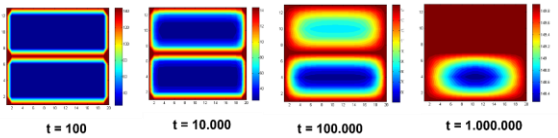
Kasus 2 Lapis Bakar Batu

Untuk nilai tetapan konduktivitas yang sama yaitu bernilai 0,1, distribusi panas pada setiap lapisan terlihat pada gambar 7.



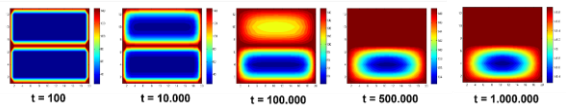
Gambar 7. Sebaran panas untuk 2 lapis dengan konduktivitas yang sama

Gambar 7, memperlihatkan bahwa setiap lapisan menunjukkan distribusi panas yang sama karena memiliki syarat batas, suhu awal, dan konduktivitas yang identik. Pada iterasi ke-10.000, suhu terendah sekitar 30°C, sementara pada iterasi ke-1.000.000, seluruh bahan makanan mencapai sekitar 150°C.



Gambar 8. Sebaran panas untuk 2 lapis dengan konduktivitas berbeda yaitu 0,1 dan 0,2.

Untuk kasus dua lapis dengan nilai konduktivitas berbeda, yaitu lapisan 1 bernilai 0,1, dan lapisan 2 bernilai 0,2, disajikan pada gambar 8. Pada awal iterasi, kedua lapisan memiliki pola distribusi suhu yang mirip. Namun, pada iterasi ke-100.000, perbedaannya mulai terlihat, dengan suhu terendah sekitar 50°C di lapisan 1 dan 80°C di lapisan 2. Pada iterasi ke-1.000.000, suhu lapisan 1 mendekati 149°C, sementara lapisan 2 mencapai suhu seragam 150°C.

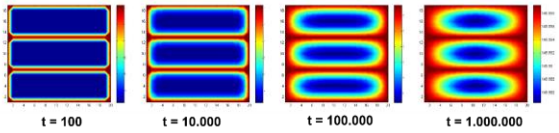


Gambar 9. Sebaran panas untuk 2 lapis dengan konduktivitas berbeda yaitu 0,1 dan 0,3.

Untuk kasus dua lapis dengan nilai konduktivitas berbeda, yaitu lapisan 1 bernilai 0,1, dan lapisan 2 bernilai 0,3, disajikan pada gambar 9. Pada awal iterasi, kedua lapisan memiliki pola distribusi suhu yang serupa. Namun, pada iterasi ke-100.000, perbedaannya menjadi signifikan, dengan suhu terendah sekitar 50°C di lapisan 1 dan 80°C di lapisan 2. Pada iterasi ke-1.000.000, suhu lapisan 1 mendekati 149°C, sementara lapisan 2 mencapai suhu seragam 150°C.

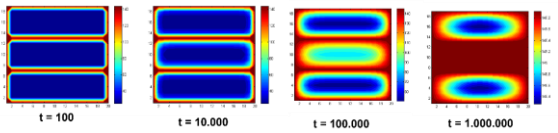
Kasus 3 Lapis Bakar Batu

Untuk kasus tiga lapisan dengan tetapan konduktivitas yang sama sebesar 0,2 pada setiap lapisan, distribusi panas yang dihasilkan ditampilkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Sebaran panas untuk 3 lapis dengan konduktivitas yang sama sebesar 0,2.

Pada Gambar 10, distribusi suhu dalam sistem menunjukkan pola dan nilai yang sama di setiap lapisan. Hal ini menunjukkan bahwa penyebaran panas di setiap lapisan hanya dipengaruhi oleh syarat batas masing-masing dan tidak dipengaruhi oleh lapisan lainnya.



Gambar 11. Sebaran panas untuk 3 lapis dengan variasi konduktivitas.

Untuk kasus tiga lapisan dengan nilai konduktivitas panas yang bervariasi, seperti yang ditampilkan pada Gambar 11, lapisan 1 dan lapisan 3 memiliki nilai konduktivitas 0,1, sedangkan lapisan 2 yang berada di tengah memiliki nilai konduktivitas 0,2. Pada Gambar 11, hingga iterasi ke-10.000, pola distribusi suhu masih serupa di setiap lapisan. Pada iterasi ke-100.000, mulai terlihat perbedaan pola, dan pada iterasi ke-1.000.000, lapisan 2 telah mencapai suhu seragam, sementara lapisan 1 dan 3 masih menunjukkan sebaran suhu. Namun, semua lapisan telah mencapai suhu di atas 148°C, menandakan sistem hampir mencapai suhu sumber panasnya.

Kasus Konduktivitas Nol (Insulator Murni)

Pada kasus ini, bahan makanan bertindak sebagai insulator sempurna, sehingga tidak ada perpindahan panas meskipun terdapat perbedaan suhu yang besar antara batu panas (200°C) dan bahan makanan (25°C). Hal ini sesuai dengan prinsip dasar perpindahan panas, di mana konduktivitas nol menghambat aliran energi panas melalui bahan.

Kasus Konduktivitas Rendah (0,1)

Distribusi panas mulai terlihat pada iterasi tinggi (t > 10.000), dengan suhu sistem secara bertahap mendekati suhu batu panas. Pada iterasi ke-1.000.000, suhu hampir seragam di seluruh sistem, menunjukkan bahwa bahan makanan dengan konduktivitas rendah membutuhkan waktu lebih lama untuk mencapai kesetimbangan termal.

Kasus Konduktivitas Lebih Tinggi (0,2 hingga 0,5)

Dengan meningkatnya nilai konduktivitas, distribusi panas menjadi lebih cepat dan efisien. Pada iterasi yang sama, suhu sistem lebih cepat mendekati suhu batu panas dibandingkan dengan bahan berkonduktivitas rendah. Hal ini menunjukkan bahwa bahan dengan konduktivitas tinggi lebih efektif dalam menghantarkan panas.

Kasus Multilayer (Lapisan Ganda dan Tiga Lapisan)

Pada lapisan dengan konduktivitas yang sama, distribusi panas seragam di seluruh lapisan, menunjukkan bahwa sistem hanya dipengaruhi oleh syarat batas dan suhu awal.

Pada lapisan dengan konduktivitas berbeda, lapisan dengan konduktivitas lebih tinggi mencapai suhu seragam lebih cepat dibandingkan lapisan dengan konduktivitas lebih rendah. Hal ini menunjukkan bahwa variasi konduktivitas memengaruhi pola distribusi panas antar lapisan.

Penelitian tentang Konduktivitas Termal Kayu sebagai Isolator

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa bahan dengan konduktivitas rendah, seperti kayu, efektif sebagai isolator panas [11]. Hal ini sejalan dengan hasil simulasi pada kasus konduktivitas nol, di mana bahan makanan bertindak sebagai insulator sempurna, menghambat perpindahan panas [12].

Kajian Perpindahan Panas pada Sistem Berlapis

Studi tentang konduktivitas termal logam menunjukkan bahwa bahan dengan konduktivitas tinggi mempercepat distribusi panas [13,14]. Hasil ini mendukung temuan simulasi pada kasus konduktivitas tinggi (0,5), di mana suhu sistem lebih cepat mencapai kesetimbangan termal [15].

Penelitian tentang Efisiensi Energi pada Sistem Tradisional

Penelitian lain tentang efisiensi energi pada sistem tradisional, seperti tungku briket, menunjukkan bahwa jarak dan material memengaruhi efisiensi perpindahan panas [16]. Hal ini relevan dengan simulasi multilayer, di mana variasi konduktivitas antar lapisan memengaruhi pola distribusi panas [17,18].

Pemodelan Numerik pada Sistem Termal

Studi pemodelan numerik pada boiler menunjukkan bahwa pendekatan numerik, seperti metode beda hingga, efektif untuk menganalisis distribusi panas dalam sistem kompleks [19]. Pendekatan ini juga digunakan dalam simulasi sistem bakar batu untuk memahami pola distribusi panas secara detail [20].

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Suhu pada sistem bakar batu sangat dipengaruhi oleh nilai konduktivitas panas dari bahan makanan yang digunakan dalam acara bakar batu. Pola sebaran suhu atau panas pada setiap lapisan saling bebas, yaitu tidak saling mempengaruhi antar lapisan tetapi hanya dipengaruhi oleh suhu pada syarat batas antara lapisan dan pinggir lapisan.

Suhu sistem akan mendekati nilai suhu syarat batas pada iterasi yang cukup lama yaitu sekitar iterasi ke 1.000.000 dengan persyaratan sistem terisolasi dari lingkungan.

Saran

Untuk melihat secara utuh faktor-faktor yang mempengaruhi penyebaran panas dalam budaya bakar batu perlu diperhitungkan faktor dari ketebalan lapisan sehingga diperlukan penelitian lanjutan mengenai pengaruh ketebalan lapisan secara komputasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh hibah penelitian dari Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Cenderawasih Tahun 2024 dengan nomor kontrak 287/UN20.2.1/PG/2024. Kami sangat berterima kasih atas dukungan yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Karo Karo SF, Darianto D, Idris M. Analisis Efektivitas Perpindahan Panas Kondensor pada Proses Destilasi Daun Serai Wangi. J Ilm Tek Mesin Ind 2023;2:31–40. https://doi.org/10.31289/jitmi.v2i1.1951.

[2] Hasibuan JD, Jufrizal J. Pemodelan Numerik Perpindahan Panas Pada Dinding Ruang Bakar Boiler Menggunakan Software Engineering. IRA J Tek Mesin Dan Apl 2023;2:81–90.

[3] Santi D, Yuliati S, Meidinariasty A. Analisis laju perpindahan panas pada alat tray dryer tenaga surya dalam proses pengeringan ikan asin. J Pendidik Tambusai 2023;7:21537–21543. https://doi.org/https://doi.org/10.31004/jptam.v7i3.9918.

[4] Muchlisinalahuddin, Pernandes P, Muharni R. Analisis Perpindahan Panas Dandang Pengukus Saus Tomat Usaha Bersama Kelompok Mandiri Di Nagari Batu Palano Kabupaten Agam Sumatera Barat. Technologica 2022;1:8–16.

[5] Irwan, Karim A La. Analisa Perhitungan Laju Perpindahan PanasAntara Jarak Tungku Briket Dengan Panci 2021;5:39–44.

[6] Winarto BR, Suharno. Pengembangan model matematika perpindahan panas pada kentang selama proses pemasakan. J Sains Mater Indones 2002;4:31–40. https://doi.org/https://doi.org/10.17146/jusami.2002.4.1.4892.

[7] Budiarti IS, Bonefasius YB. Analysis of heat transfer rate on bakar batu as Papua cultural practice. AIP Conf Proc 2022. https://doi.org/https://doi.org/10.1063/1.5054537.

[8] Tabuni AN. Nilai dan Fungsi Budaya Bakar Batu Dalam Relasi Lintas Suku di Pegunungan Tengah Papua. Ganaya J Ilmu Sos Dan Hum 2023;6:171–85. https://doi.org/10.37329/ganaya.v6i1.2210.

[9] Herningsih. Kebijakan Pemerintah Papua dalam Pelestarian Tradisi Bakar Batu. Millatī, J Islam Stud Humanit 2018;3:209–26. https://doi.org/10.18326/millati.v3i1.209-225.

[10] Muslim A. The harmony taste of bakar batu tradition on Papua. Herit Nusant Int J Relig Lit Herit 2019;8. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.31291/hn.v8i1.545.

[11] Yulian Hanif, Agus Riyanto. Studi Eksperimental Sekam Padi sebagai Zat Campuran pada Komposit Termoplastik untuk Meningkatkan Sifat Isolator. J Asiimetrik J Ilm Rekayasa Inov 2022;4:117–24. https://doi.org/10.35814/asiimetrik.v4i1.3382.

[12] Rohana GL, Laksmitasari DD, Anggraini SD. Pengaruh Asetazolamid dan Arginin Hidroklorida pada Alkalosis Metabolik (The Effect of Acetazolamide and Arginine Hydrochloride on Metabolic Alkalosis). Welcome Speech from Comm Head Chem n.d.;9.

[13] Aricky A Al, Setyarini PH, Mesin T, Teknik F, Brawijaya U. Pengaruh jenis material perunggu terhadap distribusi temperatur pada sirip peredam panas senjata mag 58 menggunakan software autodesk fusion 2024;1:6–12.

[14] Jauziyah MI Al, Sumawiharja C, Nugraha AZ, Hasmoro IS, Parapat RY. PENGEMBANGAN REFRIGERANT NANO FLUIDA UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI PERPINDAHAN PANAS SISTEM PENDINGIN. Sci J Ilm Sain Dan Teknol 2025;3:121–35.

[15] Studi C, Lapangan K, Pramudiohadi EW, Nandiwardhana D, Lukmana AH, Baiti AN, et al. Efisiensi Teknologi Geothermal Binary Cycle dengan Dispersi Cuo-Al 2 O 3 pada Heat Exchanger Combined Cooling Heating and Power (CCHP) n.d.;8:11–23.

[16] Elisa E, Wiratmaja IG, Vidiantara AP. Analisis Simulasi Pengaruh Variasi Jarak Dan Material Sirip Kondensor Ac Split Terhadap Laju Perpindahan Panas. J Rekayasa Mesin 2022;13:297–304. https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2022.013.01.30.

[17] Sabam J, Siregar C, Fajar B, Kiono T, Rozi K, Jurusan M, et al. STUDI NUMERIK PERPINDAHAN PANAS DAN TEGANGAN GESER DINDING UNTUK SILINDER TUNGGAL DENGAN ALIRAN CROSSFLOW PADA VARIASI 2023;11:69–78.

[18] Putra TWL, Kunarso K. Distribusi Suhu,

Salinitas Dan Densitas Di Lapisan Homogen Dan Termoklin Perairan Selat Makassar. Indones J Oceanogr 2020;2:188–98.

[19] Sugandi WK, Saukat M, Yusuf A, Lababan MF. Analisis Pindah Panas Mesin Hot Press Extruder pada Proses Pembuatan Bio Briket dengan Pendekatan Numerik 2024:842–52.

[20] Sa'adah AF, Fauzi A, Juanda B. Peramalan Penyediaan dan Konsumsi Bahan Bakar Minyak Indonesia dengan Model Sistem Dinamik. J Ekon Dan Pembang Indones 2017;17:118–37. https://doi.org/10.21002/jepi.v17i2.02.