



Jurnal Graha Nusantara

Multi Disiplin Penelitian

<https://jurnal.ugn.ac.id/index.php/JGN>



Penerapan Metode Beda Hingga Dalam Estimasi Potensi Sebaran Panas Bumi Dalam Mendukung Transisi Energi Bersih

Jainal Abidin^{*1}, Aris Munandar², Andi Saputra Mandopa³

^{1,2}Ilmu Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Graha Nusantara

³Pendidikan Matematika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Graha Nusantara

Email : abdinjainal76@gmail.com

Abstract

Geothermal energy is generally found in areas with magmatic or volcanic activity, because these areas provide deep natural heat sources. As an alternative energy that is environmentally friendly and renewable, geothermal energy is a potential solution to overcome the limited supply of energy from fossil sources such as oil and gas. Geothermal energy can be used as a power plant, especially to meet the increasing need for electricity along with technological advances and population growth. Geothermal potential can be analyzed through a number of important parameters, such as reservoir depth, temperature, and pressure. In this study, the finite difference numerical method is used to map the heat distribution based on initial temperature data. The simulation was carried out in two-dimensional conditions under constant thermal conduction. By entering initial temperature data of 230°C, a visual depiction of the heat distribution pattern in the medium is obtained. This study provides a useful initial approach to estimating the geothermal energy potential at a location.

Keywords: *Finite Difference Method, Laplace, Geothermal*

Abstrak

Energi panas bumi umumnya ditemukan pada wilayah yang memiliki aktivitas magmatik atau vulkanik, karena area ini menyediakan sumber panas alami yang mendalam. Sebagai salah satu alternatif energi yang ramah lingkungan dan dapat diperbarui, panas bumi menjadi solusi potensial dalam mengatasi keterbatasan pasokan energi dari sumber fosil seperti minyak dan gas. Energi panas bumi dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik, khususnya untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang terus meningkat seiring dengan kemajuan teknologi dan pertumbuhan populasi. Potensi panas bumi dapat dianalisis melalui sejumlah parameter penting, seperti kedalaman reservoir, suhu, dan tekanan. Dalam penelitian ini, metode numerik beda hingga digunakan untuk memetakan distribusi panas berdasarkan data suhu awal. Simulasi dilakukan pada kondisi dua dimensi dalam keadaan konduksi termal tetap. Dengan memasukkan data suhu awal sebesar 230°C, diperoleh gambaran visual tentang pola penyebaran panas dalam media tersebut. Penelitian ini memberikan pendekatan awal yang bermanfaat untuk mengestimasi potensi energi panas bumi di suatu lokasi.

Kata kunci: Metode Beda Hingga, Laplace, Panas Bumi

PENDAHULUAN

Seiring dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, permintaan terhadap energi mengalami peningkatan yang sangat pesat. Hal ini mengakibatkan ketergantungan terhadap sumber energi fosil seperti minyak bumi dan gas alam menjadi tidak lagi mencukupi kebutuhan global. Untuk menjawab tantangan tersebut, energi alternatif yang bersifat terbarukan dan ramah lingkungan menjadi semakin penting, salah satunya adalah energi panas bumi. Kebutuhan energi di Indonesia semakin meningkat seiring dengan adanya kebijakan pemerintah yang berfokus pada pemenuhan kebutuhan energi nasional (Gusman, 2025). Di Indonesia, panas bumi yang dikenal juga sebagai geothermal energy merupakan salah satu sumber daya alam potensial yang dapat dikembangkan sebagai alternatif pembangkit tenaga listrik. Energi panas bumi tersimpan dalam bentuk uap atau air panas yang terdapat di dalam lapisan batuan bumi pada kedalaman tertentu. Mekanisme alami dalam sistem ini terjadi melalui proses transfer panas dari sumber panas di bawah permukaan (biasanya magma) ke permukaan yang lebih dingin. Bukti adanya potensi panas bumi di suatu lokasi seringkali ditandai dengan anomali suhu pada formasi batuan tertentu. Material panas yang terdapat di bawah permukaan bumi menyebabkan terjadinya aliran panas dari sumber panas tersebut ke permukaan dan terjadinya perubahan temperatur dari bawah hingga permukaan (Singarimbun, 2020).

Pemetaan daerah panas bumi sangat diperlukan untuk dapat mengeksplorasi sumber dayanya dengan cara mengetahui pola aliran fluida panas (Bahri, 2022). Fluida panas bumi

umumnya berasal dari air permukaan yang menyusup ke dalam lapisan batuan melalui celah-celah atau retakan, lalu dipanaskan oleh batuan yang bersuhu tinggi dan kembali naik ke permukaan dalam bentuk uap panas, mata air panas, atau geyser. Struktur batuan berpori dan permeabel sangat mendukung terjadinya proses ini, karena memungkinkan pergerakan fluida secara efisien. Hingga saat ini, pemanfaatan panas bumi sebagai sumber energi di Indonesia masih belum optimal, padahal ketersediaannya sangat melimpah. Di tengah meningkatnya harga minyak dunia, negara-negara mulai mengalihkan perhatian ke energi panas bumi sebagai solusi jangka panjang yang lebih berkelanjutan. Berdasarkan laporan International Energy Agency (IEA), energi panas bumi memiliki potensi menyumbang hingga 1.400 TWh per tahun pada 2050, atau sekitar 3,5% dari konsumsi listrik dunia. Di antara semua sumber daya terbarukan, panas bumi adalah yang paling dapat diandalkan dan energi stabil yang terus tersedia terlepas dari cuaca dan perubahan iklim (Perdana, 2022).

Salah satu pendekatan ilmiah yang digunakan untuk menganalisis dan memperkirakan potensi panas bumi adalah melalui pemodelan numerik. Metode ini memungkinkan peneliti untuk mempelajari perilaku reservoir panas bumi dengan biaya yang lebih terjangkau dan akurasi yang cukup tinggi. Dalam konteks ini, metode beda hingga menjadi salah satu teknik numerik yang efektif untuk memodelkan sebaran panas secara konduktif dalam sistem dua dimensi.

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam konteks geologi, sumber energi panas bumi berasal dari keberadaan magma di bawah permukaan bumi yang berfungsi sebagai “kompor” alami. Magma tersebut memanaskan batuan sekitarnya melalui proses konduksi, yang kemudian menyebabkan perpindahan panas ke permukaan. Proses ini terjadi karena adanya perbedaan suhu antara bagian bawah yang panas dan permukaan yang lebih dingin, dan bergantung pada konduktivitas termal batuan yang dilalui oleh panas tersebut. Besar aliran panas (heat flux) yang dapat diukur pada permukaan bumi biasanya ditentukan dengan melakukan pengeboran dan pengukuran suhu di kedalaman tertentu, dikombinasikan dengan data konduktivitas termal dari batuan. Fenomena ini dijelaskan melalui hukum Fourier, yang menyatakan bahwa panas akan mengalir dari wilayah bersuhu tinggi menuju wilayah bersuhu rendah, dan laju perpindahannya sebanding dengan gradien suhu dan konduktivitas batuan.

Dalam bentuk matematis, model konduksi panas dua dimensi pada keadaan

tunak dijelaskan melalui persamaan diferensial parsial orde dua. Solusi dari persamaan ini diperoleh dengan memperhitungkan kondisi batas (boundary conditions) yang berlaku. Salah satu pendekatan untuk menyelesaikan persamaan ini secara numerik adalah dengan menggunakan metode beda hingga. Konduksi pada keadaan tetap digunakan pada persamaan differensial orde dua yang solusinya memenuhi persamaan differensialnya dan kondisi batasnya dan metode pemisahan variabel digunakan untuk membangun solusi. Konduksi pada keadaan tetap dua dimensi ini bertujuan untuk memprediksi suhu dan tingkat panas dalam medium dan pada batas-batasnya secara numerik dengan menggunakan metode beda hingga (Incropera, 2007). Untuk perpindahan panas secara konduksi merupakan hubungan dasar dari perpindahan panas yang dikemukakan oleh ilmuwan Prancis J.B.J Fourier. Selanjutnya berdasarkan dari hukum kedua Termodinamika yang menyatakan bahwa konduktivitas panas akan mengalir dari suhu yang tinggi ke suhu yang lebih rendah (Naterer, 2021).

$$q = -k \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (1)$$

Untuk perpindahan laju konduksi panas dalam arah x (pada elemen) yaitu q_x dapat ditulis:

$$q_x = \left(-k \frac{\partial T}{\partial x} \right) dz \quad (2)$$

sedangkan konduksi panas pada elemen dikurang dengan laju aliran yang keluar dari elemen sehingga di peroleh:

$$q_x - q_{x+dx} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) dx dz \quad (3)$$

dan untuk arah z laju konduksinya (q_z) dapat dicari seperti yang dilakukan pada laju konduksi arah x (q_x), sehingga akan diperoleh:

$$q_z - q_z = \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) dx dz \quad (4)$$

untuk langkah selanjutnya pada persamaan (3) dan (4) dibagi dengan $dx dz$ dan kemudian dilakukan substitusi ke dalam persamaan kesetimbangan energi akan diperoleh:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + q = c \rho \frac{\partial T}{\partial \theta} \quad (5)$$

selanjutnya dilakukan penyederhanaan pada persamaan tersebut, sehingga menjadi:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\rho}{k} = \frac{1}{A} \frac{\partial T}{\partial \theta} \quad (6)$$

dalam dua dimensi konduksi pada keadaan tetap yang mengasumsikan keadaan yang homogen, panas jenis (c) dan kepadatan massanya tidak tergantung suhu dan dianggap seragam, sehingga diperoleh:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0 \quad (7)$$

METODE PENELITIAN

Metode Beda Hingga (*Finite Difference Method*) adalah suatu pendekatan numerik yang digunakan untuk menyelesaikan persamaan diferensial baik biasa maupun parsial dengan menggantikan turunan-turunan dalam persamaan tersebut menjadi bentuk diskret (hingga) menggunakan operasi aritmetika sederhana. Metode beda hingga (*finite difference*) merupakan metode numerik yang digunakan untuk menghitung hampiran turunan dari suatu fungsi (Syafwan, 2018). Metode beda hingga secara umum adalah metode yang digunakan dalam menyelesaikan

permasalahan fisis yang mempunyai bentuk yang teratur, seperti interval dalam satu dimensi, domain kotak dalam dua dimensi dan domain kubik dalam tiga dimensi. Metode beda hingga merupakan pendekatan numerik untuk memecahkan persamaan diferensial (Edwards, 2014). Metode ini dilakukan dengan menggunakan deret Taylor yang diputus pada orde tertentu sesuai dengan masalah yang diselesaikan. Berikut ekspansi dari persamaan deret Taylor (Recktenwald, 2011).

$$f(x + \Delta x) = f(x) + \frac{\partial f}{\partial x} \frac{\Delta x}{1!} + \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \frac{\Delta x^2}{2!} + \frac{\partial^3 f}{\partial x^3} \frac{\Delta x^3}{3!} + \dots + \frac{\partial^n f}{\partial x^n} \frac{\Delta x^n}{n!} \quad (8)$$

$$f(x - \Delta x) = f(x) - \frac{\partial f}{\partial x} \frac{\Delta x}{1!} + \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \frac{\Delta x^2}{2!} - \frac{\partial^3 f}{\partial x^3} \frac{\Delta x^3}{3!} + \dots - \frac{\partial^n f}{\partial x^n} \frac{\Delta x^n}{n!} \quad (9)$$

Dari ekspansi dari persamaan deret Taylor diatas akan didapat tiga persamaan beda hingga yaitu

Beda maju

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{f(x + \Delta x) - f(x)}{\Delta x} \quad (10)$$

Beda mundur

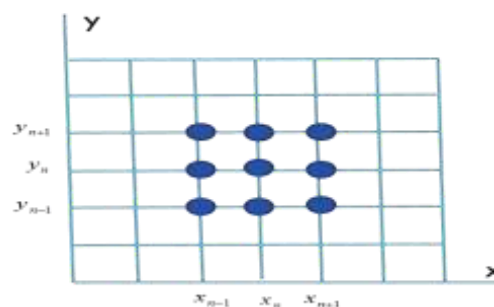
$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{f(x) - f(x + \Delta x)}{\Delta x} \quad (11)$$

Beda pusat

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{f(x + \Delta x) - f(x - \Delta x)}{2\Delta x} \quad (12)$$

Sedangkan untuk turunan keduanya akan didapat:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \\ &= \frac{f(x + \Delta x) - 2f(x) + f(x - \Delta x))}{\Delta x^2} \end{aligned} \quad (13)$$



Gambar 1. Grid Sistem

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, analisis konduksi panas dua dimensi dilakukan dengan mendiskretisasi persamaan Laplace menggunakan metode beda hingga. Proses ini mencakup penggantian turunan parsial

dengan bentuk diskrit melalui pendekatan turunan pusat (*central difference*), sehingga menghasilkan sistem persamaan linier yang dapat diselesaikan secara numerik. Karena metode analitik tidak

selalu memberikan hasil, maka merupakan metode yang paling banyak diandalkan didalam penyelesaian masalah-masalah persamaan differensial (Chasanah, 2021). Berdasarkan konduksi panas pada dalam dua dimensi sehingga didapat persamaan Laplace dan

metode numerik diselesaikan dengan menggunakan metode beda hingga. Pada tahap ini dilakukan substitusi dari turunan kedua dari ekspansi deret Taylor ke dalam persamaan Laplace dan kemudian dilakukan distritisasi untuk menyederhakan persamaan tersebut.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} =$$

Dan untuk turunan keduanya:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0$$

(14)

$$\begin{aligned} & \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \\ & \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \\ & = \frac{T_{i+1,j} - 2T_{i,j} + T_{i-1,j}}{\Delta x^2} \\ & = \frac{T_{i,j+1} - 2T_{i,j} + T_{i,j-1}}{\Delta z^2} \end{aligned}$$

(15)

(16)

sehingga dari persamaan diatas (15) dan (16) disubstitusikan ke dalam persamaan Laplace (14) sehingga diperoleh:

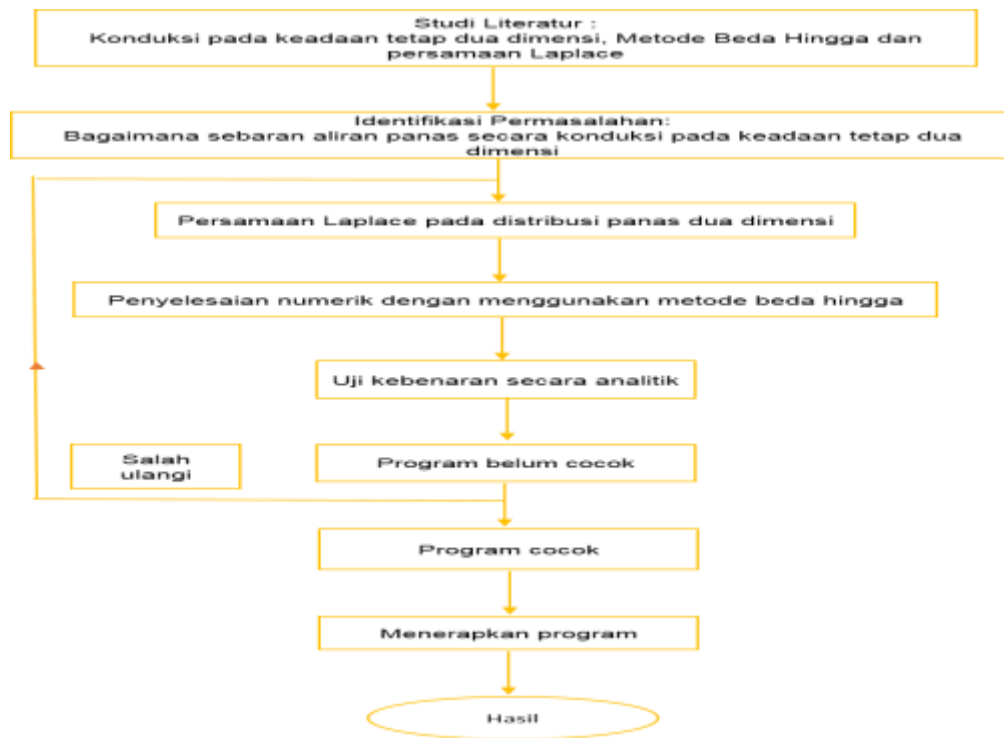
$$\frac{f(x_{i+1}, y_j) - 2f(x_i, y_j) + f(x_{i-1}, y_j)}{h^2} + \frac{f(x_i, y_{j+1}) - 2f(x_i, y_j) + f(x_i, y_{j-1}))}{k^2} = 0$$

(17)

selanjutnya dilakukan distritisasi persamaan (16) sehingga akan didapat persamaan yang lebih sederhana yaitu:

$$4T_{i,j} - T_{i+1,j} - T_{i-1,j} - T_{i,j+1} - T_{i,j-1} = 0 \quad (18)$$

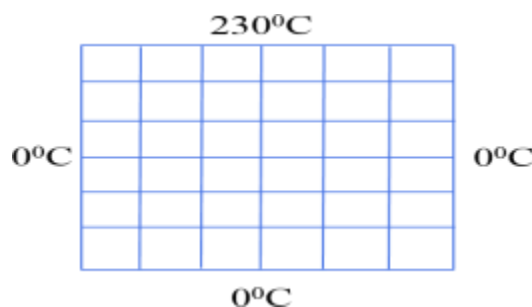
Langkah selanjutnya yaitu dengan menyelesaikannya secara numerik yang dibantu oleh penggunaan komputer. Berikut gambar dari diagram alir dari metode penelitian.



Gambar 2. Diagram alir metode penelitian

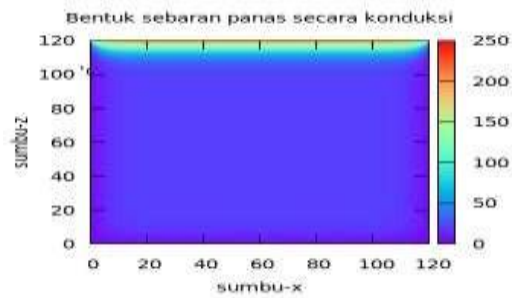
Model dihitung menggunakan pemrograman komputer, khususnya dengan bahasa C, untuk mengestimasi distribusi suhu dalam sistem konduksi termal. Grid atau *mesh* domain dibentuk dalam berbagai resolusi, yaitu: 10×10 , 20×20 , 50×50 , 100×100 , dan 120×120 . Semakin tinggi resolusi grid, maka semakin halus representasi penyebaran panas yang diperoleh. Input awal yang

digunakan adalah suhu sebesar 230°C , yang kemudian diterapkan ke dalam model sebagai kondisi batas pada sisi tertentu dari domain. Asumsi keadaan konduksi tetap diadopsi, artinya tidak ada perubahan suhu terhadap waktu. Suhu ditetapkan secara tetap pada sisi-sisi tertentu domain untuk mensimulasikan kondisi stabil alami dari reservoir panas bumi.



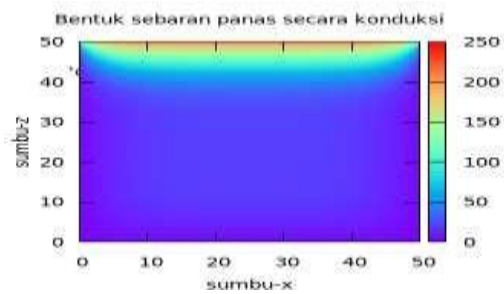
Gambar 3. Syarat batas temperatur Akan didapatkan bentuk sebaran panas yaitu:

Untuk grid 120 x 120



Gambar 5. Grid 120 x 120

Untuk grid 100 x 100



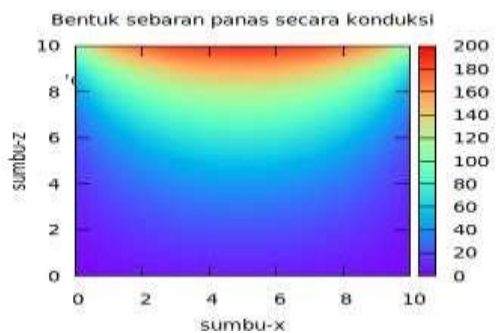
Gambar 6. Grid 100 x 100

Untuk grid 50 x 50



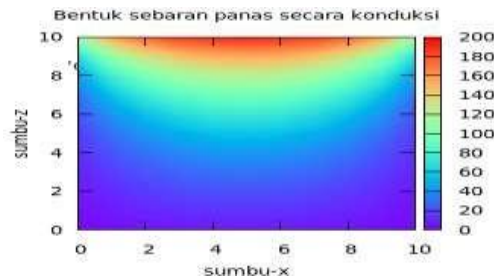
Gambar 7. Grid 50 x 50

Untuk grid 20 x 20



Gamabr 8. Grid 20 x 20

Untuk grid 10 x 10



Gambar 9 Grid 10 x 10

Dari hasil panas di atas dapat dilihat sebaran panas yang didapat secara konduksi pada keadaan tetap dua dimensi, pada grid 120 x 120 sampai 10 x 10 dilakukan untuk memperjelaskan sebaran panas yang terjadi. Distribusi panas yang dihasilkan menunjukkan pola gradien suhu dari pusat panas menuju ke arah batas domain yang lebih dingin. Hal ini sesuai dengan prinsip dasar konduksi panas di mana energi termal berpindah dari area bersuhu tinggi ke area bersuhu rendah. Hasil simulasi menunjukkan bahwa metode beda hingga cukup efektif untuk memberikan visualisasi awal terhadap potensi energi panas bumi dalam suatu sistem geotermal. Melalui pendekatan ini, informasi seperti letak zona panas maksimum, distribusi suhu antar titik, dan potensi arah aliran panas bawah permukaan dapat diperoleh. Temuan ini menjadi dasar yang berguna untuk merancang eksplorasi lapangan yang lebih lanjut atau digunakan sebagai input awal dalam simulasi reservoir 3D yang lebih kompleks.

SIMPULAN

Energi panas bumi merupakan salah satu sumber daya terbarukan yang sangat potensial dalam mendukung kebutuhan energi jangka panjang, terutama di tengah upaya global menuju energi bersih. Penelitian ini membuktikan bahwa metode beda hingga dapat digunakan secara efisien

untuk memodelkan distribusi panas bawah permukaan dalam kondisi konduksi tetap dua dimensi. Dengan dukungan pemrograman sederhana dan variasi ukuran grid, pendekatan ini mampu memberikan gambaran distribusi suhu yang mencerminkan kondisi geotermal sesungguhnya. Hasilnya memberikan dasar kuat untuk memperkirakan potensi panas bumi yang tersimpan di bawah permukaan. Untuk pengembangan selanjutnya, pemodelan ini dapat ditingkatkan dengan mempertimbangkan parameter fisik tambahan seperti tekanan, kedalaman, dan konduktivitas batuan. Integrasi dengan teknologi terkini seperti *machine learning* dan pemodelan berbasis data geospasial juga dapat memperluas cakupan dan akurasi analisis. Dengan meningkatnya kebutuhan energi yang bersih dan stabil, serta tekanan global terhadap pengurangan emisi karbon, pemanfaatan energi panas bumi semakin relevan. Metode numerik seperti beda hingga terbukti efisien untuk estimasi awal potensi panas bumi secara cepat dan terstruktur. Penelitian lanjutan dapat diarahkan pada integrasi pemodelan ini dengan data geospasial dan machine

learning untuk meningkatkan akurasi prediksi serta mempercepat proses eksplorasi. Dalam jangka panjang, penguatan basis ilmiah dan teknologi seperti ini akan mempercepat akselerasi transisi energi Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

Bahri, S., & Ramadhan, A. (2022). Pemodelan Pola Aliran Fluida 2D di Area Panas Bumi Menggunakan

- Metode Elemen Hingga
Pendekatan Galerkin. *CGANT JOURNAL OF MATHEMATICS AND APPLICATIONS*, 3(2), 109-117.
- Chasamah, A. N., Jamhuri, M., & Alisah, E. (2021). Solusi Numerik Persamaan Gelombang Dua Dimensi Dengan Metode Beda Hingga Skema Eksplisit CTCS. *Jurnal Riset Mahasiswa Matematika*, 1(1), 14-22.
- Edwards, R., & Lobaugh, M. (2014, June). Using Excel to Implement the Finite Difference Method for 2-D Heat Transfer in a Mechanical Engineering Technology Course. In *2014 ASEE Annual Conference & Exposition* (pp. 24-1328).
- Gusman, E., Virgo, F., Khakim, M. Y. N., & Elake, A. Y. (2025). Permodelan Rekahan Di Sekitar Manifestasi Panas Bumi Desa Penindaian Kecamatan Semendo Darat Laut Kabupaten Muara Enim Dengan Metode Self Potential menggunakan perangkat lunak Google Collab. *Jurnal Penelitian Sains*, 27(1), 1-7.
- Incropera, F. P. (2007). Fundamentals of heat and mass transfer. *John Willy*. Naterer, G. F. (2021). *Advanced heat transfer*. CRC Press.
- Perdana, R. S., & Akhriyanto, N. (2022, December). Analisis Efisiensi Thermal dan Eksergi pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Tipe Single Flash. In *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi dan Mineral* (Vol. 2, No. 1, pp. 1340-1352).
- Recktenwald, G. W. (2011). Finite-Difference Approximations to the Heat Equation. Singarimbun, A., & Nurlela, F. (2020). Simulasi Aliran Konveksi Fluida Di Daerah Reservoir Panas Bumi. *Jurnal FisTa: Fisika dan Terapannya*, 1(1), 20-27.
- Syafwan, H., Syafwan, M., Ramdhan, W., & Yusda, R. A. (2018, September). Pemrograman Komputasi Rumus Eksplisit Metode Beda Hingga Untuk Turunan Pertama Dengan Menggunakan Matlab. In *Seminar Nasional Royal (SENAR)* (Vol. 1, No. 1, pp. 61- 66).