# Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Sistem Panasbumi Danau Ranau Menggunakan Metode Gravitasi

Harriwanto Pasaribu [1]*, Ichy Lucya Resta[2]
[1] *Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi, Indonesia*
[2] *Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi, Indonesia*

**ABSTRAK**
Kawasan Danau Ranau di perbatasan Sumatera Selatan dan Lampung memiliki potensi panas bumi yang signifikan akibat aktivitas vulkanik dan tektonik. Penelitian ini bertujuan menganalisis kondisi bawah permukaan serta mengidentifikasi struktur geologi yang mengontrol sistem panas bumi menggunakan metode gravitasi berbasis data GGMPlus. Pengolahan data melalui koreksi gravitasi menghasilkan peta Complete Bouguer Anomaly (CBA), anomali regional, residual, serta Fault Fracture Density (FFD). Nilai CBA berkisar 1499–3774 mGal, dengan anomali tinggi di bagian tengah-selatan dan rendah di utara-barat laut. Anomali regional tercatat 1550–2815 mGal, anomali residual −187 hingga 355 mGal, serta gradien FFD antara −135,84 hingga 135,84. Zona gradien tinggi menunjukkan batas litologi, sesar, dan rekahan. Secara keseluruhan, kondisi bawah permukaan Danau Ranau dipengaruhi oleh variasi densitas batuan dan struktur geologi yang berfungsi mengontrol jalur migrasi fluida hidrotermal.

**ABSTRACT**
Indonesia has significant geothermal potential, including Lake Ranau on the border of South Sumatra and Lampung. This study aims to analyze subsurface conditions and geological structures controlling the geothermal system using the gravity method based on GGMPlus data. The methodology involves gravity corrections to generate Complete Bouguer Anomaly (CBA), regional and residual anomalies, and Fault Fracture Density (FFD) maps. CBA values range from 1499 to 3774 mGal, highlighting high anomalies in the central-southern regions and low anomalies in the north-northwest. Furthermore, regional anomalies range from 1550 to 2815 mGal, residual anomalies from −187 to 355 mGal, and FFD gradients from −135.84 to 135.84. These high-gradient zones indicate lithological boundaries, faults, or fractures. Ultimately, the results demonstrate that subsurface variations and geological structures heavily control fluid migration pathways within the Lake Ranau geothermal system.

**KONTAK**
ichylucya@unja.ac.id

**KATA KUNCI**
Danau Ranau,
Metode Gravitasi,
Panasbumi

## PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan potensi Panas bumi terbesar di dunia karena terletak pada jalur *Ring of Fire* yang ditandai dengan aktivitas tektonik dan vulkanik yang intensif. Kondisi geologi tersebut menyebabkan terbentuknya berbagai sistem Panasbumi yang berkaitan dengan aktivitas magmatik, struktur geologi, serta sistem rekahan yang memungkinkan terjadinya sirkulasi fluida hidrotermal di bawah permukaan (Omollo & Nishijima, 2023). Sistem Panasbumi umumnya berkembang pada daerah yang memiliki permeabilitas tinggi akibat aktivitas sesar dan rekahan sehingga memungkinkan fluida panas dari kedalaman bergerak menuju permukaan

(Carranza *et al.*, 2022).

Wilayah Danau Ranau yang berada di perbatasan Provinsi Sumatera Selatan dan Lampung merupakan salah satu daerah yang memiliki potensi panas bumi yang cukup besar. Wilayah ini berada pada jalur Pegunungan Bukit Barisan yang terbentuk akibat aktivitas tektonik regional serta aktivitas vulkanik yang kompleks. Kondisi tersebut menyebabkan terbentuknya berbagai struktur geologi seperti sesar dan rekahan yang berperan sebagai jalur migrasi fluida hidrotermal dalam sistem Panasbumi (Zhang *et al.*, 2023). Oleh karena itu, pemahaman mengenai kondisi bawah permukaan serta distribusi struktur geologi di wilayah ini sangat penting dalam upaya eksplorasi dan pengembangan sumber daya panas bumi.

Salah satu metode geofisika yang banyak digunakan untuk mempelajari kondisi bawah permukaan adalah metode gravitasi. Metode ini memanfaatkan variasi percepatan gravitasi bumi yang disebabkan oleh perbedaan densitas batuan di bawah permukaan. Perbedaan densitas tersebut menghasilkan variasi nilai anomali gravitasi yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi struktur geologi seperti sesar, intrusi batuan, serta batas litologi yang memiliki kontras densitas yang signifikan (Liu *et al.*, 2023). Metode gravitasi juga banyak digunakan dalam eksplorasi panas bumi karena mampu memberikan informasi mengenai distribusi densitas batuan yang berkaitan dengan keberadaan reservoir Panasbumi serta jalur aliran fluida hidrotermal (Wang *et al.*, 2022).

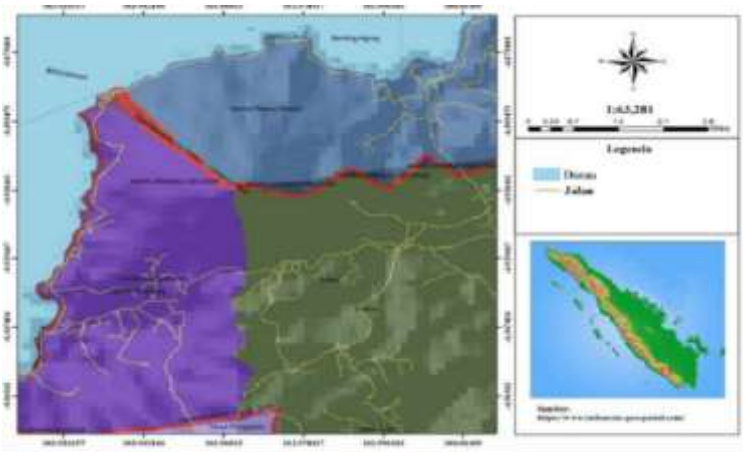
Dalam pengolahan data gravitasi, salah satu parameter penting yang digunakan adalah anomali Bouguer. Anomali Bouguer diperoleh setelah dilakukan berbagai koreksi terhadap data gravitasi pengamatan, seperti koreksi lintang, koreksi udara bebas, koreksi Bouguer, serta koreksi topografi. Proses koreksi tersebut bertujuan untuk menghilangkan pengaruh faktor non-geologi sehingga nilai anomali gravitasi yang dihasilkan dapat merepresentasikan variasi densitas batuan di bawah permukaan secara lebih akurat (Sari *et al.*, 2024). Peta *Complete Bouguer Anomaly* (CBA) kemudian digunakan untuk mengidentifikasi variasi densitas batuan pada skala regional yang berkaitan dengan struktur geologi maupun variasi litologi pada daerah penelitian.

Selain itu, analisis terhadap anomali Bouguer sering dilanjutkan dengan pemisahan anomali regional dan anomali residual. Anomali regional mencerminkan pengaruh struktur geologi yang lebih dalam dan berskala besar, sedangkan anomali residual menunjukkan pengaruh struktur geologi yang lebih dangkal dan bersifat lokal (Pratiwi *et al.*, 2025). Pemisahan kedua komponen anomali ini sangat penting dalam interpretasi data gravitasi karena dapat membantu dalam mengidentifikasi struktur geologi yang berkaitan langsung dengan sistem panas bumi.

Metode lain yang sering digunakan dalam interpretasi data gravitasi adalah *Fault Fracture Density* (*FFD*). Metode ini digunakan untuk menonjolkan perubahan gradien anomali gravitasi secara horizontal sehingga batas kontras densitas batuan dapat terlihat lebih jelas. Analisis *FFD* banyak digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan struktur geologi seperti sesar dan rekahan yang berperan dalam mengontrol sistem Panasbumi (Putra *et al.*, 2023). Zona dengan nilai gradien yang tinggi umumnya menunjukkan adanya batas litologi atau struktur geologi yang memiliki kontras densitas yang signifikan.

Beberapa penelitian terbaru menunjukkan bahwa integrasi metode gravitasi dengan analisis struktur geologi dapat memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai sistem Panasbumi pada suatu wilayah. Analisis anomali gravitasi dapat digunakan untuk mengidentifikasi zona densitas rendah yang berkaitan dengan zona alterasi hidrotermal serta zona densitas tinggi yang berkaitan dengan intrusi batuan atau basement yang lebih padat (Saputra *et al.*, 2023; Nugraha *et al.*, 2022). Informasi tersebut sangat penting dalam menentukan lokasi yang potensial untuk pengembangan panas bumi serta dalam memahami sistem geologi bawah permukaan pada daerah penelitian.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi bawah permukaan serta mengidentifikasi struktur geologi yang berpotensi mengontrol sistem Panasbumi di wilayah Danau Ranau menggunakan metode gravitasi. Analisis dilakukan melalui pengolahan data gravitasi untuk menghasilkan peta *Complete Bouguer Anomaly* (CBA), peta anomali regional, peta anomali residual, serta analisis *Fault Fracture Density* (*FFD*). Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai distribusi densitas batuan serta indikasi struktur geologi yang berperan dalam sistem Panasbumi di daerah penelitian.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

## METODE

Penelitian menggunakan data gravitasi GGMPlus wilayah Danau Ranau sebagai data utama, didukung oleh data topografi atau elevasi serta peta geologi regional. Pengolahan data dilakukan menggunakan komputer dan perangkat lunak *MATLAB*, *Oasis montaj*, *Surfer*, *Microsoft Excel*, *Geomatica*, *RockWorks*, *Google Earth*, dan *Arc*GIS untuk menghasilkan serta menginterpretasikan peta anomali gravitasi.

Metode gravitasi memanfaatkan variasi percepatan gravitasi bumi yang disebabkan oleh perbedaan densitas batuan di bawah permukaan. Batuan dengan densitas lebih besar cenderung menghasilkan nilai gravitasi lebih tinggi daripada batuan dengan densitas lebih kecil. Hubungan gaya gravitasi dengan massa dinyatakan melalui hukum gravitasi Newton pada Persamaan (1).

$$F = G\left(\frac{m1m2}{r2}\right) \quad (1)$$

dengan F adalah gaya gravitasi, G adalah konstanta gravitasi universal, $m_1$ dan $m_2$ adalah massa benda pertama dan kedua, serta r adalah jarak antara kedua massa.

Dalam pengolahan data gravitasi, anomali Bouguer dihitung untuk menggambarkan variasi densitas batuan bawah permukaan. Bentuk persamaan yang digunakan dinyatakan pada Persamaan (2).

$$\Delta gB = gobs - gt + CFA - CB \quad (2)$$

dengan ΔgB adalah anomali Bouguer, gobs adalah gravitasi hasil pengukuran, gt adalah gravitasi teoretis, CFA adalah koreksi udara bebas, dan CB adalah koreksi Bouguer.

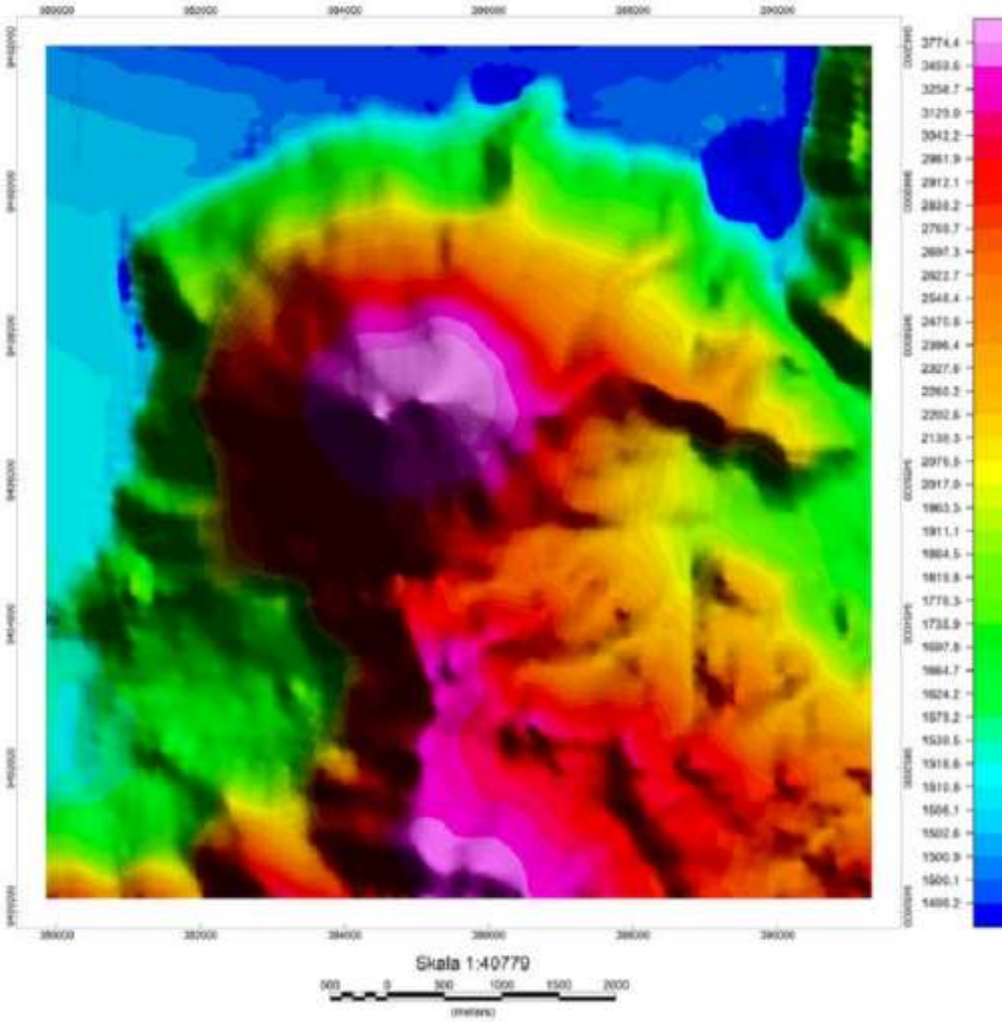
Tahapan pengolahan dimulai dengan koreksi lintang, koreksi udara bebas, koreksi Bouguer, dan koreksi topografi untuk memperoleh *Complete Bouguer Anomaly* (CBA). Peta CBA kemudian dipisahkan menjadi anomali regional dan anomali residual. Anomali regional digunakan untuk menggambarkan pengaruh sumber yang lebih dalam dan berskala besar, sedangkan anomali residual digunakan untuk menonjolkan sumber yang lebih dangkal dan bersifat lokal.

Analisis *Fault Fracture Density* (*FFD*) diterapkan pada anomali residual untuk menegaskan perubahan gradien horizontal dan batas kontras densitas. Tahap akhir dilakukan melalui interpretasi terpadu terhadap peta CBA, anomali regional, anomali residual, dan *FFD*. Anomali tinggi diinterpretasikan sebagai indikasi batuan berdensitas relatif tinggi, sedangkan anomali rendah dikaitkan dengan batuan berdensitas relatif rendah atau zona alterasi. Pola gradien yang tajam digunakan untuk mengidentifikasi indikasi sesar, rekahan, atau batas litologi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan data gravitasi pada Wilayah Kerja panas bumi Danau Ranau menghasilkan beberapa peta anomali yang digunakan untuk menggambarkan kondisi geologi bawah permukaan daerah penelitian. Hasil pengolahan tersebut meliputi peta *Complete Bouguer Anomaly* (CBA), peta anomali regional, peta anomali residual, dan peta *Fault Fracture Density* (*FFD*). Setiap peta memberikan informasi yang berbeda mengenai distribusi densitas batuan, kedalaman sumber anomali, serta indikasi keberadaan struktur geologi. Peta CBA digunakan untuk menggambarkan variasi anomali gravitasi secara keseluruhan, sedangkan pemisahan anomali regional dan residual dilakukan untuk membedakan pengaruh sumber anomali dalam dan dangkal. Selanjutnya, analisis *FFD* digunakan

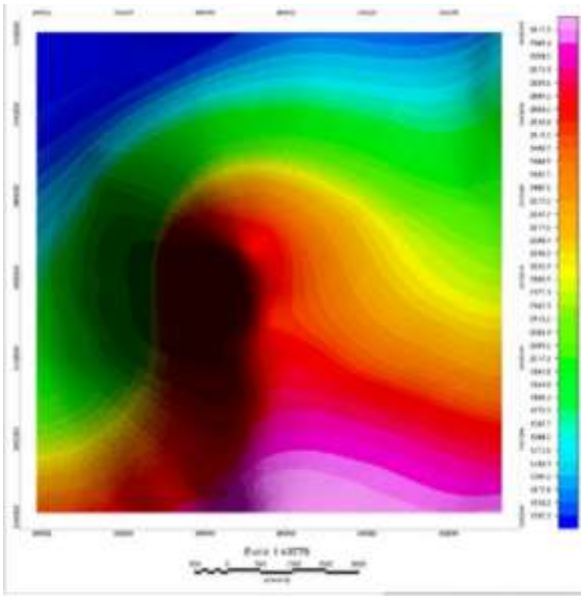
untuk memperjelas batas kontras densitas yang berpotensi berkaitan dengan sesar, rekahan, kontak litologi, atau struktur geologi lainnya.



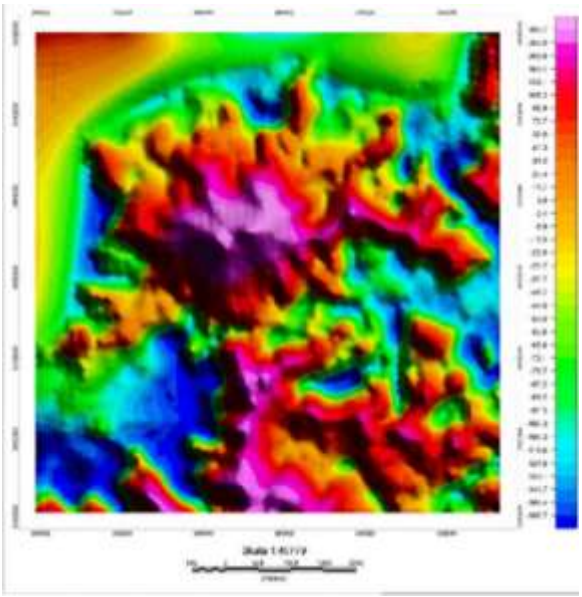

Gambar 2. Peta *Complete Bouguer Anomaly*

Hasil pengolahan data gravitasi ditampilkan dalam **Gambar 2**, yaitu peta *Complete Bouguer Anomaly* (CBA). Peta ini menunjukkan distribusi nilai anomali gravitasi yang telah melalui serangkaian koreksi, yaitu koreksi lintang, koreksi udara bebas, koreksi Bouguer, dan koreksi topografi. Proses koreksi tersebut bertujuan untuk menghilangkan pengaruh faktor non-geologi sehingga nilai anomali yang diperoleh lebih merepresentasikan variasi densitas batuan di bawah permukaan.

Berdasarkan **Gambar 2**, nilai anomali Bouguer di daerah penelitian berkisar antara 1499 mGal hingga 3774 mGal. Distribusi anomali menunjukkan pola yang cukup kontras antara bagian utara, tengah, dan selatan wilayah penelitian. Zona anomali tinggi yang ditunjukkan oleh warna merah hingga ungu teridentifikasi dominan pada bagian tengah hingga selatan daerah penelitian. Nilai anomali yang tinggi tersebut menunjukkan adanya indikasi keberadaan batuan dengan densitas relatif lebih besar dibandingkan dengan daerah sekitarnya. Sebaliknya, zona anomali rendah yang ditunjukkan oleh warna biru hingga hijau dominan pada bagian utara dan barat laut daerah penelitian. Nilai anomali yang rendah mengindikasikan adanya batuan dengan densitas relatif lebih kecil, yang umumnya berkaitan dengan batuan sedimen atau zona yang mengalami pelapukan. Pola kontur anomali pada peta CBA juga menunjukkan perubahan gradien yang cukup tajam pada beberapa bagian wilayah penelitian. Gradien anomali yang tajam tersebut mengindikasikan kemungkinan adanya batas litologi atau struktur geologi, seperti sesar atau kontak antar batuan dengan kontras densitas yang signifikan.

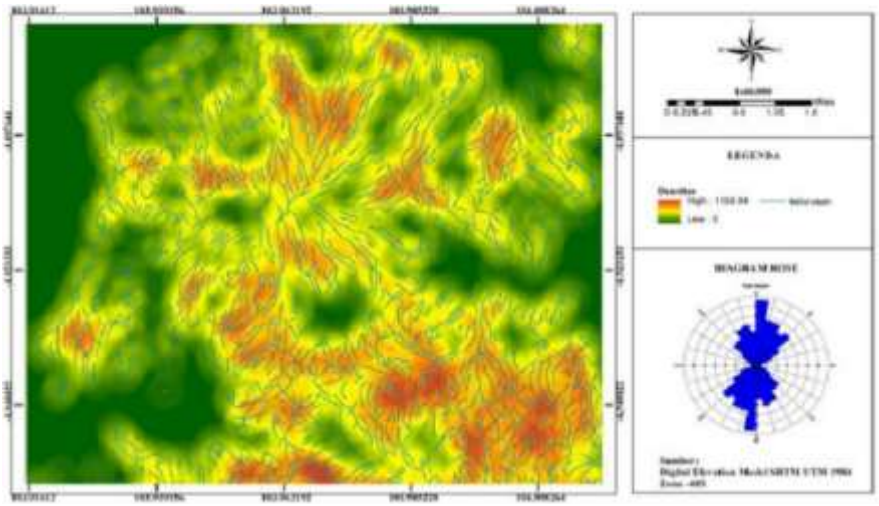


Gambar 3. Peta Anomali Regional



Gambar 4. Peta Anomali Residual

Berdasarkan **Gambar 3** dan **Gambar 4**, ditampilkan peta anomali regional dan peta anomali residual yang diperoleh dari proses pemisahan anomali Bouguer. Pemisahan ini bertujuan untuk memisahkan pengaruh anomali yang berasal dari sumber dalam (regional) dan sumber dangkal (residual). Pada **Gambar 3**, peta anomali regional menunjukkan pola anomali yang relatif halus dan memiliki perubahan nilai yang gradual. Nilai anomali regional berkisar antara 1550 mGal hingga 2815 mGal. Zona anomali tinggi berkembang pada bagian selatan hingga tenggara wilayah penelitian, sedangkan zona anomali rendah berada pada bagian utara hingga barat laut. Pola ini menunjukkan adanya pengaruh struktur geologi regional atau variasi kedalaman batuan dasar pada daerah penelitian. Sementara itu, **Gambar 4** menunjukkan peta anomali residual yang merepresentasikan pengaruh sumber anomali yang relatif dangkal. Nilai anomali residual berkisar antara −187 mGal hingga 355 mGal. Distribusi anomali pada peta ini terlihat lebih kompleks dan kontras dibandingkan dengan peta regional. Zona anomali tinggi dominan pada bagian tengah hingga selatan wilayah penelitian, sedangkan anomali rendah tersebar pada beberapa bagian lainnya. Pola tersebut mengindikasikan adanya variasi densitas batuan dangkal yang kemungkinan berkaitan dengan struktur geologi lokal atau perbedaan litologi di daerah penelitian.



Gambar 5. Peta *Fault Fracture Density (FFD)*

**Gambar 5**, menampilkan peta *Fault Fracture Density (FFD)* (*FFD*) yang digunakan untuk menegaskan batas anomali serta mengidentifikasi indikasi struktur geologi pada daerah penelitian. Metode *FFD* menonjolkan perubahan gradien anomali gravitasi secara horizontal sehingga batas kontras densitas batuan dapat terlihat lebih jelas. **Gambar 5** menunjukkan nilai turunan horizontal yang berkisar antara −135,84 hingga 135,84. Zona dengan nilai gradien tinggi yang ditunjukkan oleh warna merah hingga oranye terdistribusi pada beberapa bagian wilayah penelitian, terutama pada bagian tengah hingga tenggara. Nilai gradien yang tinggi tersebut mengindikasikan adanya perubahan densitas batuan yang signifikan, yang umumnya berkaitan dengan batas litologi atau struktur geologi seperti sesar. Sebaliknya, zona dengan nilai gradien rendah yang ditunjukkan oleh warna hijau mencerminkan daerah dengan perubahan densitas yang relatif kecil. Pola *lineament* yang muncul pada peta juga menunjukkan kecenderungan arah struktur yang relatif dominan, yang mengindikasikan kemungkinan perkembangan sistem rekahan atau sesar yang mengontrol kondisi geologi bawah permukaan di daerah penelitian.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan dan interpretasi data gravitasi, peta *Complete Bouguer Anomaly* (CBA) menunjukkan adanya variasi nilai anomali yang mencerminkan perbedaan densitas batuan di daerah penelitian. Distribusi anomali tinggi umumnya berkembang pada bagian tengah hingga selatan wilayah penelitian, sedangkan anomali rendah dominan pada bagian utara hingga barat laut. Pola tersebut mengindikasikan adanya perbedaan karakteristik litologi atau variasi densitas batuan bawah permukaan yang berpotensi berkaitan dengan kondisi geologi regional pada daerah penelitian.

Hasil pemisahan anomali menjadi komponen regional dan residual menunjukkan bahwa anomali regional merepresentasikan pengaruh struktur geologi yang lebih dalam dengan pola anomali yang relatif halus, sedangkan anomali residual memperlihatkan pola yang lebih kompleks yang berkaitan dengan sumber anomali dangkal. Selain itu, analisis *Fault Fracture Density (FFD)* (*FFD*) menunjukkan adanya zona gradien tinggi yang mengindikasikan keberadaan batas kontras densitas batuan yang kemungkinan berkaitan dengan struktur geologi seperti sesar atau batas litologi. Secara umum, integrasi hasil interpretasi tersebut menunjukkan bahwa kondisi bawah permukaan daerah penelitian dipengaruhi oleh variasi litologi serta kemungkinan keberadaan struktur geologi yang mengontrol distribusi densitas batuan.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan, penyediaan data, fasilitas, arahan, dan bantuan teknis selama pelaksanaan penelitian serta penyusunan artikel ini

## REFERENSI

Aris, M., Nugraha, A., & Saputra, D. (2023). Geophysical methods for geothermal reservoir identification in volcanic regions. *Energies*, 16(3), 1234–1245. https://doi.org/10.3390/en16031234

Carranza, E. J. M., Hale, M., & Faulds, J. (2022). Geothermal exploration using geophysical data and geological analysis. *Geothermal Energy*, 10(1), 1–18. https://doi.org/10.1186/s40517-022-00224-8

Liu, H., Zhang, Y., & Li, X. (2023). Application of gravity anomaly data for geothermal resource exploration. *Frontiers in Earth Science*, 11, 1098765. https://doi.org/10.3389/feart.2023.1098765

Nugraha, A., Prasetyo, R., & Putra, D. (2022). Interpretation of gravity anomaly for geothermal systems in volcanic environments. *Indonesian Journal of Geoscience*, 9(2), 123–135. https://doi.org/10.17014/ijog.9.2.123-135

Nugroho, H., Rahman, A., & Putri, S. (2022). Identification of geothermal systems using gravity anomaly analysis. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia*, 73, 45–54.

Omollo, P., & Nishijima, J. (2023). Gravity analysis for geothermal reservoir structure identification. *Geothermal Energy*, 11(1), 1–17. https://doi.org/10.1186/s40517-023-00249-6

Pratiwi, R. N., Rahman, F., & Yusuf, M. (2025). Identification of subsurface geological structures using gravity anomaly separation techniques. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 21(1), 89–101. https://doi.org/10.11113/mjfas.v21n1.4573

Putra, R., Nugraha, A., & Santoso, D. (2023). Identification of geothermal structures using gravity anomaly analysis. *Journal of Geoscience, Engineering, Environment and Technology*, 8(3), 205–214. https://doi.org/10.25299/jgeet.2023.8.3.425

Rahmawati, D., Saputra, A., & Yusuf, M. (2024). Interpretation of gravity anomaly data for geothermal system identification. *Journal of Geoscience, Engineering, Environment and Technology*, 9(1), 34–43. https://doi.org/10.25299/jgeet.2024.9.1.458

Saputra, A., Nugroho, H., & Aris, M. (2023). Application of gravity method for geothermal exploration in volcanic regions. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1200, 012045. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1200/1/012045

Sari, N., Putra, D., & Rahman, A. (2024). Gravity anomaly interpretation for geothermal exploration in volcanic terrains. *Geosciences*, 14(2), 85–97. https://doi.org/10.3390/geosciences14020085

Sutrisno, Rahman, F., & Nugraha, A. (2024). Gravity anomaly analysis in geothermal prospect areas in Indonesia. *Indonesian Journal of Geoscience*, 11(1), 56–67. https://doi.org/10.17014/ijog.11.1.56-67

Wang, Y., Liu, H., & Zhang, X. (2022). Gravity data processing and interpretation for geothermal exploration. *Frontiers in Earth Science*, 10, 1052367. https://doi.org/10.3389/feart.2022.1052367

Yusuf, M., Putra, R., & Rahman, F. (2021). Gravity anomaly analysis for subsurface geological structure identification. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 873, 012021. https://doi.org/10.1088/1755-1315/873/1/012021

Zhang, Y., Liu, H., & Wang, Y. (2023). Gravity anomaly analysis for geothermal reservoir characterization. *Frontiers in Earth Science*, 11, 1183456. https://doi.org/10.3389/feart.2023.1183456