

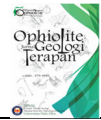


Vol. 08, No. 02, Tahun 2026: 11–21

OPHIOLITE: Jurnal Geologi Terapan

[e-ISSN 2715-4440]

Program Studi Teknik Geologi, Universitas Halu Oleo



|Research Article

Identifikasi Struktur sebagai Jalur Migrasi Sistem Panas Bumi Gunung Ciremai Berdasarkan Analisis dan Pemodelan Gaya Berat

Gloria Panggabean¹, Rizki Buana Agustian[✉], Chiko Hafizh Ardiansyah¹, Azizah Dea Putri¹, Karyanto¹, Nandi Haerudin¹, Rahmat Catur Wibowo², Rahmi Mulyasari²

¹ Program Studi Teknik Geofisika, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia² Program Studi Teknik Geologi, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received: April 10, 2026

Accepted: July 10, 2026

Published: August 21, 2026

Keywords:

anomali bouguer
gaya berat
GGMPlus
gunung ciremai
panasbumi

Corresponding author:

Rizki Buana Agustian

Email: rzkbagt@gmail.com

Read online:



Scan this QR code
with your smart
phone or mobile
device to read online.

Copyright © 2026 Authors



This work is licensed
under a Creative
Commons

Attribution-ShareAlike 4.0 International
License.

ABSTRAK

Daerah Gunung Ciremai merupakan gunung api Kuartar yang berkembang pada tatanan tektonik busur vulkanik Jawa dan dikontrol oleh aktivitas magmatisme serta struktur patahan regional, sehingga berpotensi membentuk sistem panas bumi. Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi struktur bawah permukaan dan mengidentifikasi jalur migrasi fluida panas bumi secara spesifik berdasarkan analisis data gaya berat satelit Global Gravity Model Plus (GGMPlus). Data gaya berat diolah menjadi Anomali Bouguer Lengkap (ABL), dipisahkan menjadi anomali regional dan residual, kemudian dianalisis menggunakan derivative medan gaya berat berupa First Horizontal Derivative (FHD) dan Second Vertical Derivative (SVD), serta dimodelkan melalui inversi gaya berat 3D. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ABL memiliki rentang $-45,4$ mGal hingga $+29,7$ mGal, dengan zona anomali rendah terfokus di bagian tengah daerah penelitian yang membentuk pola cekungan densitas rendah. Anomali regional mengindikasikan keberadaan struktur geologi dalam dan kemungkinan pengaruh sistem magmatisme, sedangkan anomali residual menampilkan kontras densitas dangkal-menengah yang diindikasikan berhubungan dengan zona rekahan dan alterasi panas bumi. Analisis FHD dan SVD secara konsisten mengidentifikasi kemungkinan sistem patahan yang berjenis patahan naik dan normal berarah dominan yang berkaitan dengan gradien anomali tajam. Pemodelan inversi 3D mengindikasikan keterkaitan spasial antara zona densitas rendah dan juga struktur patahan tersebut, yang diinterpretasikan sebagai jalur migrasi utama fluida panas bumi. Hasil ini menegaskan bahwa integrasi analisis derivative dan inversi 3D berbasis GGMPlus efektif untuk delineasi awal zona pengontrol pada sistem panas bumi di Gunung Ciremai.

ABSTRACT

The Mount Ciremai area is a Quaternary volcano that developed within the tectonic framework of the Java volcanic arc and is controlled by magmatic activity and regional fault structures, indicating significant geothermal potential. This study aims to characterize subsurface structures and specifically identify geothermal fluid migration pathways based on the analysis of satellite gravity data from the Global Gravity Model Plus (GGMPlus). The gravity data were processed to obtain the Complete Bouguer Anomaly (CBA), separated into regional and residual anomalies, and subsequently analyzed using gravity field derivatives, namely the First Horizontal Derivative (FHD) and the Second Vertical Derivative (SVD), and further modeled through three-dimensional gravity inversion. The results indicate that the CBA values range from -45.4 mGal to $+29.7$ mGal, with low-anomaly zones concentrated in the central part of the study area, forming a low-density basin-like pattern. The regional anomaly suggests the presence of deep geological structures and possible influences of magmatic systems, whereas the residual anomaly reveals shallow-to-intermediate density contrasts interpreted to be associated with fracture zones and geothermal alteration. The FHD and SVD analyses consistently identify possible fault systems, including reverse and normal faults with dominant orientations related to sharp gravity anomaly gradients. The 3D inversion modeling indicates a spatial correlation between low-density zones and these fault structures, which are interpreted as the main migration pathways for geothermal fluids. These findings confirm that the integration of derivative analysis and 3D inversion based on GGMPlus data is effective for the preliminary delineation of controlling zones within the geothermal system of Mount Ciremai.

How to cite: Panggabean, G., Agustian, R.B., Ardiansyah, C.H., Putri, A.D., Karyanto, Haerudin, N., Wibowo, R.C., dan Mulyasari, R. (2026). Identifikasi struktur sebagai jalur migrasi Sistem Panas Bumi Gunung Ciremai berdasarkan

1 Pendahuluan

Indonesia terletak pada jalur Ring of Fire yang dicirikan oleh aktivitas vulkanik, tektonik, dan magmatik yang intensif sehingga memiliki potensi panas bumi yang sangat besar (Gaffar dkk., 2007; Moechtar dkk., 2007). Keberadaan gunung api aktif, patahan regional, serta batuan vulkanik terubah menjadi indikator utama berkembangnya sistem panas bumi di Indonesia (Aulia dkk., 2022; Moechtar dkk., 2007). Sistem panas bumi umumnya tersusun atas sumber panas (heat source), reservoir, batuan penudung (seal), serta jalur fluida yang dikontrol oleh struktur geologi (Iswahyudi dkk., 2019; Moechtar dkk., 2007). Dalam berbagai sistem panas bumi vulkanik, struktur patahan dan zona rekahan berperan sebagai pengontrol utama permeabilitas batuan yang memungkinkan terjadinya sirkulasi fluida hidrotermal dari kedalaman menuju reservoir dan permukaan, serta berasosiasi dengan zona *upflow* dan distribusi manifestasi panas bumi (Liao dkk., 2025; Rosa dkk., 2025; Selçuk, 2022; Purnomo dan Pichler, 2014).

Gunung Ciremai merupakan jenis gunung api Kuartar di Jawa Barat yang berkembang sebagai bagian dari busur vulkanik Jawa (Samodra, 2008). Aktivitas magmatisme dan tektonik pada wilayah ini berpotensi membentuk sistem panas bumi yang dikontrol oleh sumber panas, struktur geologi, dan karakteristik batuan bawah permukaan (Mirwanda dkk., 2021). Secara regional, wilayah Jawa Barat dicirikan oleh keberadaan sesar-sesar aktif yang teridentifikasi melalui analisis seismotektonik dan relokasi hiposenter gempa, yang menunjukkan peran signifikan struktur aktif dalam deformasi kerak dangkal dan pengontrolan jalur migrasi fluida panas bumi (Sarkowi dkk., 2021; Purnomo dan Pichler, 2014). Informasi mengenai kondisi bawah permukaan menjadi penting dalam tahap awal kajian potensi panas bumi di daerah Gunung Ciremai.

Metode gaya berat merupakan metode geofisika pasif yang digunakan untuk mengidentifikasi variasi densitas batuan bawah permukaan berdasarkan respon medan gaya berat. Variasi densitas tersebut berkaitan dengan perbedaan litologi, struktur geologi, serta proses alterasi panas bumi (Reynolds, 2011). Pada sistem panas bumi, kontras densitas batuan umumnya berkaitan dengan keberadaan intrusi magmatik berdensitas tinggi, zona alterasi hidrotermal berdensitas rendah, serta relief basement yang dikontrol oleh struktur patahan, sehingga metode gaya berat efektif digunakan untuk mengkarakterisasi komponen utama sistem panas

bumi secara tidak langsung (Alqahtani dkk., 2022; Athens dan Caers, 2021; Mirwanda dkk., 2021).

Penggunaan data gaya berat satelit Global Gravity Model Plus (GGMPlus) memungkinkan analisis gaya berat dengan cakupan wilayah yang luas dan resolusi yang memadai, sehingga efektif digunakan untuk studi pendahuluan pada daerah yang memiliki keterbatasan data gaya berat terestris (Maimuna dkk., 2022). GGMPlus menyediakan data dengan resolusi 220 meter dalam bentuk grid sehingga efektif digunakan untuk pemetaan regional hingga semi detail (Hirt dkk., 2013). Pemanfaatan data gaya berat satelit telah terbukti mampu mengungkap konfigurasi struktur geologi dan sistem panas bumi melalui pemodelan tiga dimensi dan analisis derivative medan potensial pada berbagai lapangan panas bumi vulkanik (Gaber dkk., 2024; Essa dkk., 2021; Mirwanda dkk., 2021).

Dalam pengolahan data gaya berat, pemisahan anomali regional dan anomali residual dilakukan untuk membedakan pengaruh struktur geologi berskala regional dan dalam dari struktur geologi dangkal hingga menengah (Mulugeta dkk., 2021). Anomali regional mencerminkan respon gaya berat dari struktur besar seperti batuan dasar dan sistem magmatisme, sedangkan anomali residual merepresentasikan variasi densitas yang berkaitan dengan struktur geologi dangkal, termasuk patahan, zona rekahan, dan alterasi panas bumi yang berperan dalam sistem panas bumi (Agustian dkk., 2025; Karunianto dkk., 2017).

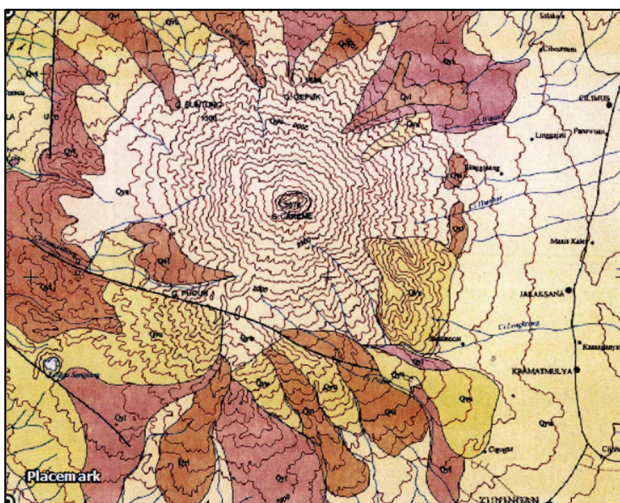
Untuk memperjelas batas lateral dan kontinuitas struktur patahan, analisis derivative medan gaya berat berupa *First Horizontal Derivative* (FHD) dan *Second Vertical Derivative* (SVD) digunakan karena mampu menonjolkan diskontinuitas densitas dan respon sumber anomali dangkal, yang telah diaplikasikan secara luas dalam identifikasi struktur pengontrol sistem panas bumi (Sihombing dkk., 2026; Rosa dkk., 2025; Alqahtani dkk., 2022; Essa dkk., 2021; Ismail dkk., 2020).

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi struktur bawah permukaan dan mengidentifikasi jalur migrasi fluida panas bumi secara spesifik berdasarkan analisis data gaya berat satelit Global Gravity Model Plus (GGMPlus) di daerah panas bumi Gunung Ciremai. Penelitian ini mengintegrasikan analisis derivative medan gaya berat berupa *First Horizontal Derivative* (FHD) dan *Second Vertical Derivative* (SVD) dengan pemodelan inversi 3D untuk mengidentifikasi jalur migrasi fluida panas bumi. Selain itu, penelitian ini tidak hanya

meninjau distribusi anomali densitas, tetapi juga mengevaluasi keterkaitan antara zona densitas rendah dan sistem patahan sebagai pengontrol sistem panas bumi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menunjukkan gambaran awal terkait konfigurasi struktur geologi dan potensi sistem panas bumi Gunung Ciremai sebagai dasar pengembangan eksplorasi panas bumi selanjutnya.

2 Geologi Regional Daerah Penelitian

Daerah Gunung Ciremai merupakan gunung api strato aktif yang berada pada jalur vulkanik Kuartar Jawa Barat dan tersusun oleh produk vulkanik berupa lava, breksi, tuf, serta endapan piroklastik. Berdasarkan peta geologi (Gambar 1), satuan batuan vulkanik Kuartar mendominasi area penelitian dan dipotong oleh beberapa struktur sesar berarah relatif barat-laut–tenggara dan timurlaut–baratdaya yang berperan sebagai jalur permeabilitas fluida. Pola morfologi radial menunjukkan pusat erupsi Gunung Ciremai sebagai sumber panas utama sistem panas bumi. Manifestasi panas bumi berkembang di sekitar zona rekahan dan kontak litologi, ditandai oleh kemunculan mata air panas, alterasi hidrotermal, dan rembesan gas yang berasosiasi dengan aktivitas magmatik bawah permukaan (Djuri, 2011).



Gambar 1 Peta Geologi Regional Daerah Penelitian (Djuri, 2011).

3 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode gaya berat dengan pendekatan analisis derivative untuk mengetahui model struktur bawah permukaan di daerah Gunung Ciremai dengan cakupan wilayah pada UTM X 204000 – 224000 E dan UTM Y 9242000 – 9228000 S. Data yang digunakan yaitu data sekunder bersumber dari Global Gravity Model Plus (GGMplus), berupa anomali gaya berat hasil dari penginderaan satelit dengan spasi ± 200 meter. Data

ini memiliki resolusi tinggi dan banyak dimanfaatkan dalam kajian struktur geologi regional hingga lokal, khususnya pada daerah panas bumi di Indonesia (Septian dkk., 2025; Mazzaluna dkk., 2024).

3.1 Pengolahan awal

Anomali Bouguer Lengkap

Tahapan pengolahan data pada penelitian ini diawali dengan perhitungan Anomali Bouguer Lengkap (ABL) yang bertujuan untuk memperoleh respon gaya berat bawah permukaan yang telah terbebas dari pengaruh topografi dan variasi massa permukaan. Untuk memperoleh nilai ABL, dilakukan Koreksi Bouguer menggunakan Persamaan (1).

$$BC = 0,04193 \rho h \quad (1)$$

Dengan BC merupakan Koreksi Bouguer dalam satuan mGal, h adalah elevasi topografi (m), dan ρ adalah densitas batuan rata-rata (g/cc) yang diperoleh menggunakan perhitungan parafinis (Martha, 2011). Selisih antara nilai Koreksi Bouguer dan nilai *Free Air Anomaly* (FAA) untuk mendapatkan Anomali Bouguer Sederhana (ABS) menggunakan Persamaan (2).

$$ABS = FAA - BC \quad (2)$$

Namun pada kondisi permukaan bumi yang tidak sepenuhnya datar menyebabkan nilai ABS masih dipengaruhi oleh efek topografi. Sehingga dilakukan *terrain correction* (TC) menggunakan *software* Oasis Montaj dan Global Mapper 18. Nilai koreksi medan yang diperoleh dijumlahkan dengan ABS untuk mendapatkan ABL (Anomali Bouguer Lengkap) (Karimah dkk., 2020) yang menggunakan Persamaan (3).

$$ABL = ABS + TC \quad (3)$$

Pemisahan anomali regional dan residual

Analisis spektrum dilakukan untuk mengidentifikasi karakteristik frekuensi dominan yang berkaitan dengan kedalaman sumber anomali gaya berat. Analisis ini berperan untuk menentukan lebar jendela (*window width*) yang dapat memengaruhi resolusi kedalaman dan juga kemampuan untuk memisahkan antara anomali regional dan residual (Septian dkk., 2025; Lumbantoruan dkk., 2023). Resolusi frekuensi yang lebih tinggi dicapai dengan ukuran jendela yang lebih kecil, sedangkan ukuran jendela yang lebih besar memiliki resolusi yang lebih rendah, tetapi mencakup rentang frekuensi yang lebih luas. Selain itu, metode *moving average* digunakan untuk mendapatkan anomali regional, yang dirumuskan pada Persamaan (4) di mana Δg_r adalah anomali regional, i adalah indeks stasiun pengamatan, dan N adalah ukuran jendela yang digunakan (Purnomo dkk., 2013).

$$\Delta g_r = \frac{[\Delta g(i-n) + \dots + \Delta g(i) + \dots + \Delta g(i+n)]}{N} \quad (4)$$

Selain digunakan dalam pemisahan anomali regional dan residual, analisis spektrum digunakan untuk memperkirakan kedalaman rata-rata sumber anomali gaya berat (h) berdasarkan kemiringan spektrum daya hasil analisis (rad/m) dan konstanta (π) yang dinyatakan dalam Persamaan (5) oleh [Leni dkk. \(2023\)](#).

$$h = \frac{s}{4\pi} \quad (5)$$

Anomali regional mencerminkan respon struktur geologi berskala besar dan dalam, sedangkan anomali residual menggambarkan variasi densitas batuan dangkal yang umumnya berasosiasi dengan struktur lokal seperti patahan ([Zaenudin dkk., 2021](#)), anomali residual dihitung menggunakan Persamaan (6) ([Purnomo dkk., 2013](#)).

$$g_{\text{residual}} = g_{\text{bouguer}} - g_{\text{regional}} \quad (6)$$

3.2 Pemodelan Inversi

Untuk memperoleh pemahaman yang lebih rinci mengenai konfigurasi struktur bawah permukaan, data anomali gaya berat selanjutnya dimodelkan menggunakan metode inversi gaya berat tiga dimensi (3D) melalui *software* grav3D. Metode ini dinilai efektif dalam menggambarkan distribusi densitas batuan serta delineasi batas-batas struktur geologi pada sistem panas bumi vulkanik ([Soekarno dkk., 2025](#)). Hasil pemodelan kemudian diinterpretasikan dengan mengintegrasikan pola anomali gaya berat, informasi geologi regional, serta temuan penelitian sebelumnya di kawasan Gunung Ciremai, sehingga memungkinkan identifikasi elemen struktural utama, termasuk patahan, indikasi keberadaan dapur magma, dan sistem panas bumi yang berpotensi berasosiasi dengan sumber daya panas bumi ([Lumbantoruan dkk., 2023](#)).

3.3 Analisis Derivative

Analisis derivative dilakukan untuk mengidentifikasi batas-batas struktur geologi, khususnya patahan bawah permukaan, dengan memanfaatkan metode *First Horizontal Derivative* (FHD) dan *Second Vertical Derivative* (SVD) ([Soekarno dkk., 2025](#)). Metode FHD digunakan untuk mendeteksi perubahan lateral nilai anomali gaya berat, di mana nilai maksimum FHD (*peak*) menunjukkan adanya batas struktur geologi yang signifikan. Persamaan FHD dapat dinyatakan Persamaan (7).

$$\text{FHD} = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)^2} \quad (7)$$

Di mana g adalah nilai anomali gaya berat (mGal) dan Δx merupakan jarak antar titik pengamatan (m). Metode Second Vertical Derivative (SVD) digunakan untuk memperjelas pengaruh struktur dangkal yang tidak terlihat jelas pada peta anomali Bouguer. SVD berfungsi sebagai *high-pass* filter yang menekankan respon anomali residual dan sangat efektif dalam membedakan pengaruh struktur dangkal dan dalam. Keberadaan batas patahan ditandai oleh nilai SVD yang bernilai mendekati nol. Persamaan SVD diperoleh dari Persamaan Laplace untuk medan gaya berat (Persamaan (8) hingga (12)) ([Soekarno dkk., 2025](#)).

$$\nabla^2 g = 0 \quad (8)$$

$$\frac{\partial^2 g}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 g}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 g}{\partial z^2} = 0 \quad (9)$$

Dalam analisis penampang dua dimensi, derivative pada arah y dianggap konstan sehingga interpretasi difokuskan pada perubahan medan gaya berat pada arah horizontal (x) dan vertikal (z).

$$\frac{\partial^2 g}{\partial z^2} = -\frac{\partial^2 g}{\partial x^2} \quad (10)$$

$$\frac{\partial^2 g}{\partial z^2} = \frac{g(i+1) - g(i)}{\Delta x} \cdot \left(\frac{g(i) - g(i-1)}{\Delta x} \right) \quad (11)$$

$$\text{SVD} = \frac{g(i+1) + g(i-1) - 2g_i}{\Delta x} \quad (12)$$

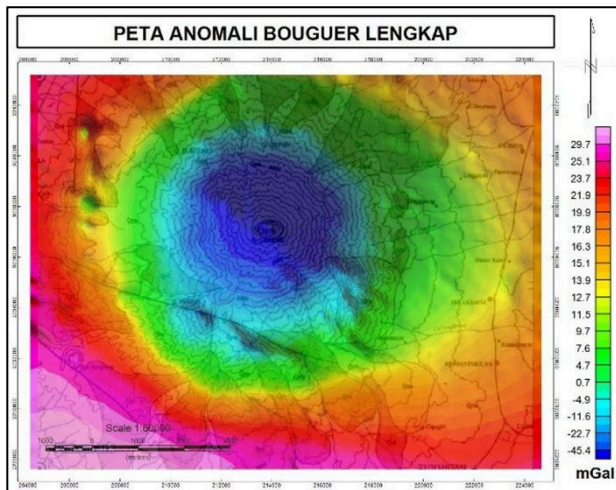
Dimana SVD adalah Second Vertical Derivative, g adalah nilai anomali (mGal), dan Δx merupakan jarak antar titik pengamatan (m). Berikut adalah klasifikasi patahan berdasarkan nilai SVD ([Elkins, 1951](#)):

$|SVD|_{\min} < |SVD|_{\max} \rightarrow$ Patahan turun
 $|SVD|_{\min} > |SVD|_{\max} \rightarrow$ Patahan naik
 $|SVD|_{\min} = |SVD|_{\max} \rightarrow$ Patahan geser

4 Hasil dan Analisis

4.1 Peta Anomali Bouguer Lengkap (ABL)

Peta Anomali Bouguer Lengkap daerah Gunung Ciremai (Gambar 2) memperlihatkan distribusi anomali gaya berat yang merefleksikan variasi densitas batuan secara menyeluruh dari kedalaman dangkal hingga dalam. Nilai anomali Bouguer pada wilayah penelitian berada di sekitar $-45,4 \text{ mGal}$ hingga $+29,7 \text{ mGal}$, yang menunjukkan kontras densitas yang signifikan akibat perbedaan litologi dan struktur geologi regional. Zona anomali rendah yang berkembang dominan di bagian tengah wilayah penelitian diinterpretasikan sebagai keberadaan batuan berdensitas rendah yang berasosiasi dengan aktivitas vulkanik Gunung Ciremai, seperti endapan piroklastik, lava teralterasi, serta kemungkinan keberadaan tubuh magma dangkal yang berperan sebagai sumber panas pada sistem panas bumi.



Gambar 2 Peta Anomali Bouguer Lengkap (ABL)

Sebaliknya, anomali Bouguer tinggi yang berkembang di bagian tepi wilayah penelitian mencerminkan keberadaan batuan dengan densitas lebih tinggi, seperti batuan dasar (*basement*) atau satuan batuan beku masif yang relatif belum mengalami alterasi panas bumi secara intensif. Distribusi anomali tinggi ini membentuk pola yang mengelilingi zona anomali rendah di bagian tengah, yang mengindikasikan adanya konfigurasi struktural berupa cekungan densitas rendah yang dibatasi oleh batuan berdensitas tinggi. Pola gradien anomali yang tajam antara zona anomali rendah dan tinggi menunjukkan keberadaan batas struktural yang signifikan, seperti patahan regional atau batas litologi utama, yang berperan dalam mengontrol evolusi sistem vulkanik dan panas bumi di daerah Gunung Ciremai.

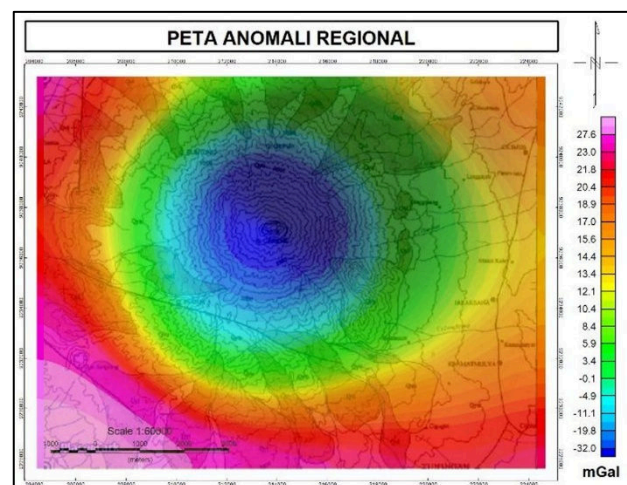
Pola kontur anomali Bouguer yang relatif melingkar dan tidak simetris menunjukkan bahwa sistem bawah permukaan Gunung Ciremai dikontrol oleh kombinasi proses magmatis dan tektonik yang kompleks. Variasi lateral nilai anomali mengindikasikan heterogenitas densitas yang tinggi, yang kemungkinan berkaitan dengan intrusi magma, zona rekahan, dan variasi ketebalan endapan vulkanik. Kondisi ini mendukung interpretasi bahwa sistem panas bumi di daerah penelitian tidak hanya dikontrol oleh sumber panas, tetapi juga oleh arsitektur struktur geologi yang memfasilitasi migrasi fluida panas bumi. Peta Anomali Bouguer Lengkap juga memberikan gambaran mengenai kondisi densitas bawah permukaan dan menjadi dasar utama dalam pemisahan anomali regional dan residual.

4.2 Peta Anomali Regional

Peta anomali regional gaya berat hasil pengolahan data GGMPlus pada daerah Gunung Ciremai (Gambar 3) menunjukkan variasi nilai anomali yang bersifat panjang gelombang besar (*long*

wavelength anomaly), yang merepresentasikan pengaruh struktur geologi berskala regional hingga kedalaman menengah–dalam. Anomali regional ini didapatkan dari filer *moving average* dengan lebar jendela sebesar 41. Nilai lebar jendela tersebut dipilih karena mampu menghasilkan proses perataan (*smoothing*) yang cukup kuat untuk menghilangkan fluktuasi anomali berfrekuensi tinggi yang berasal dari sumber dangkal, namun tetap mempertahankan tren anomali regional yang berkaitan dengan struktur geologi lebih dalam.

Nilai anomali regional pada wilayah penelitian berkisar antara sekitar -32 mGal hingga $+27,6$ mGal. Pola distribusi anomali memperlihatkan zona anomali rendah yang dominan di bagian tengah area penelitian, dikelilingi oleh anomali yang relatif lebih tinggi di bagian baratdaya, selatan, dan timurlaut. Keberadaan anomali regional rendah yang membentuk pola menyerupai cekungan elips di pusat wilayah penelitian diinterpretasikan sebagai indikasi adanya zona batuan berdensitas rendah pada kedalaman, yang kemungkinan berkaitan dengan sistem magma dangkal hingga menengah atau zona alterasi panas bumi yang luas. Anomali rendah semacam ini sering diasosiasikan dengan keberadaan batuan teralterasi, rekahan intensif, serta kemungkinan dapur magma atau *heat source* yang menjadi penggerak utama sistem panas bumi. Hal ini sejalan dengan karakteristik gunung api Kuartir seperti Gunung Ciremai, yang secara regional dikontrol oleh aktivitas magmatisme dan tektonik busur vulkanik Jawa.



Gambar 3 Peta anomali regional

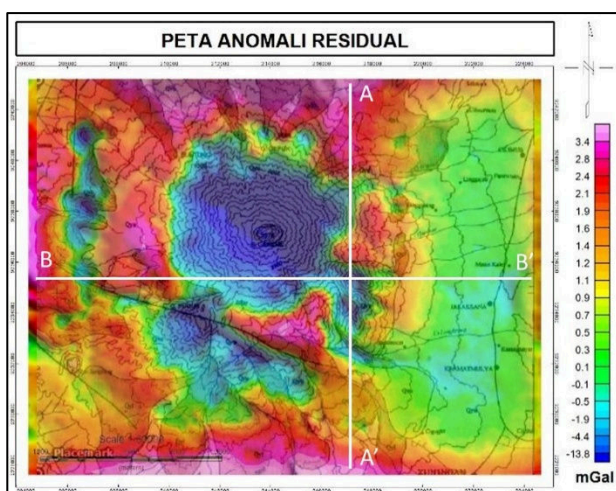
Sebaliknya, zona anomali regional tinggi yang berkembang di bagian tepi wilayah penelitian mengindikasikan keberadaan batuan dengan densitas lebih tinggi, yang dapat diinterpretasikan sebagai batuan dasar (*basement*) atau satuan batuan beku masif yang relatif lebih kompak. Anomali tinggi ini

berperan sebagai batas struktural regional yang mengontrol konfigurasi cekungan densitas rendah di bagian tengah. Gradien anomali yang cukup tajam antara zona anomali rendah dan anomali tinggi menunjukkan keberadaan struktur geologi utama, seperti patahan regional atau zona diskontinuitas densitas, yang berpotensi menjadi jalur migrasi fluida panas bumi.

Pola anomali regional yang relatif halus dan kontinu menegaskan bahwa data GGMPlus efektif dalam menangkap respon gaya berat dari struktur berskala besar, meskipun detail anomali dangkal belum sepenuhnya terdefiniskan. Oleh karena itu, interpretasi anomali regional gaya berat daerah Gunung Ciremai mengindikasikan adanya kontrol struktural dan magmatisme yang kuat terhadap potensi panas bumi wilayah ini. Zona anomali rendah regional di bagian tengah penelitian diperkirakan berasosiasi dengan sistem panas bumi utama, sementara anomali tinggi di sekitarnya berfungsi sebagai batas geologi yang mengontrol sirkulasi fluida panas bumi.

4.3 Peta Anomali Residual

Peta anomali residual gaya berat yang diperoleh dari pemisahan anomali regional (Gambar 4) menunjukkan variasi anomali dengan panjang gelombang pendek (*short-wavelength anomaly*), yang merepresentasikan pengaruh struktur geologi dangkal hingga menengah di bawah daerah Gunung Ciremai. Nilai anomali residual pada wilayah penelitian berkisar antara sekitar -13,8 mGal hingga +3,4 mGal. Rentang nilai ini mencerminkan kontras densitas yang signifikan akibat variasi litologi, zona rekahan, serta keberadaan struktur geologi lokal yang berperan penting dalam sistem panas bumi.



Gambar 4 Peta anomali residual

Zona anomali residual rendah yang dominan di bagian tengah wilayah penelitian diinterpretasikan

sebagai indikasi keberadaan batuan berdensitas rendah pada kedalaman dangkal. Kondisi ini umumnya berkaitan dengan batuan vulkanik yang teralterasi panas bumi, zona breksiasi, serta rekahan intensif yang terisi fluida panas. Dalam sistem panas bumi, anomali residual rendah sering diasosiasikan dengan zona reservoir atau jalur aliran fluida, karena proses alterasi dan rekahan menyebabkan penurunan densitas batuan secara signifikan.

Sebaliknya, anomali residual tinggi yang berkembang di sekitar zona anomali rendah membentuk pola kontras yang tajam, terutama pada bagian barat, selatan, dan sebagian timur wilayah penelitian. Anomali tinggi tersebut diidentifikasi sebagai respon dari batuan yang relatif lebih kompak dan berdensitas tinggi, seperti lava masif atau intrusi dangkal yang belum teralterasi secara intensif. Pola gradien anomali yang tajam antara anomali rendah dan tinggi mengindikasikan keberadaan struktur geologi dangkal berupa patahan, rekahan utama, atau batas litologi, yang berfungsi sebagai kontrol struktural terhadap sirkulasi fluida panas bumi.

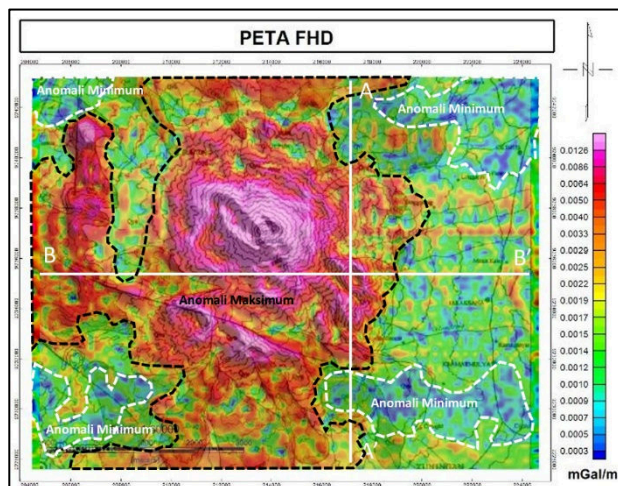
Pola anomali residual yang kompleks dan tidak simetris menunjukkan bahwa sistem geologi dangkal di daerah Gunung Ciremai dikontrol oleh interaksi antara aktivitas vulkanik dan tektonik. Keberadaan anomali rendah yang memanjang dan tersegmentasi mengindikasikan kemungkinan sistem patahan berarah tertentu yang berperan sebagai jalur naiknya fluida panas dari sumber panas ke zona yang lebih dangkal. Struktur semacam ini sangat penting dalam sistem panas bumi karena menentukan lokasi manifestasi permukaan dan potensi pengembangan reservoir.

4.4 Peta *First Horizontal Derivative* (FHD)

Peta *First Horizontal Derivative* (FHD) gaya berat daerah Gunung Ciremai (Gambar 5) merepresentasikan respon gradien horizontal medan gaya berat yang sensitif terhadap perubahan densitas lateral pada kedalaman dangkal hingga menengah. Nilai FHD pada wilayah penelitian berkisar antara 0,0003 hingga 0,0126 mGal/m, yang menunjukkan variasi intensitas kontras densitas yang signifikan. Zona dengan nilai FHD tinggi berkembang secara dominan di bagian tengah wilayah penelitian dan membentuk pola memanjang serta tersegmentasi, yang mengindikasikan keberadaan batas litologi atau struktur geologi berupa patahan dan zona rekahan yang tajam. Pola ini menunjukkan bahwa sistem struktur bawah permukaan di daerah Gunung Ciremai bersifat kompleks dan dikontrol oleh interaksi antara proses tektonik dan vulkanik.

Distribusi anomali FHD tinggi yang mengelilingi dan memotong zona anomali rendah gaya berat memperkuat interpretasi adanya diskontinuitas

densitas lateral yang berperan sebagai kontrol utama sistem panas bumi. Struktur-struktur yang teridentifikasi pada peta FHD diinterpretasikan sebagai patahan aktif atau zona lemah (*weak zone*) yang memungkinkan terjadinya pergerakan fluida panas bumi dari sumber panas menuju zona yang lebih dangkal. Keberadaan struktur ini sangat penting dalam sistem panas bumi karena berfungsi sebagai jalur migrasi fluida serta mempengaruhi distribusi manifestasi panas bumi di permukaan.



Gambar 5 Peta *First Horizontal Derivative* (FHD)

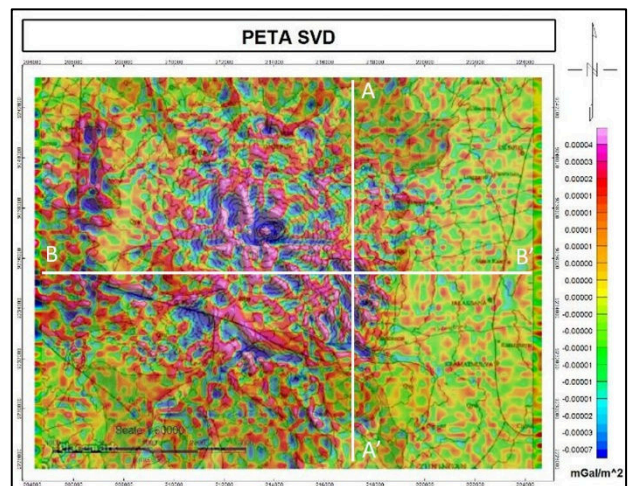
Sebaliknya, zona dengan nilai FHD rendah yang relatif homogen menunjukkan area dengan kontras densitas lateral yang kecil, yang diasosiasikan dengan batuan masif atau satuan litologi yang relatif seragam dan minim rekahan. Kondisi ini mengindikasikan area yang kurang prospektif dalam konteks sirkulasi fluida panas bumi karena keterbatasan jalur permeabilitas. Perbedaan yang kontras antara zona FHD tinggi dan rendah memperlihatkan batas struktural yang jelas, sehingga peta FHD sangat efektif dalam menegaskan delineasi zona prospek panas bumi.

Peta FHD memberikan kontribusi penting dalam interpretasi struktur bawah permukaan dangkal yang tidak sepenuhnya terdefinisi pada peta anomali Bouguer Lengkap maupun anomali regional. Integrasi peta FHD dengan peta anomali residual dan *Second Vertical Derivative* (SVD) dapat mengidentifikasi lebih presisi terhadap orientasi, kontinuitas, dan peran struktur geologi dalam mengontrol sistem panas bumi Gunung Ciremai. Dengan demikian, analisis FHD berperan penting dalam memperkuat pemodelan konseptual sistem panas bumi dan penentuan zona target eksplorasi lanjutan.

4.5 Peta *Second Vertical Derivative* (SVD)

Peta *Second Vertical Derivative* (SVD) gaya berat daerah Gunung Ciremai (Gambar 6) menunjukkan respon medan gaya berat yang sangat sensitif

terhadap variasi densitas pada kedalaman dangkal serta keberadaan struktur geologi yang bersifat diskontinu. Nilai SVD yang terdistribusi secara kontras memperlihatkan zona anomali positif dan negatif yang tajam, yang mengindikasikan perubahan densitas vertikal yang signifikan.



Gambar 6 Peta *Second Vertical Derivative* (SVD)

Anomali SVD positif diinterpretasikan sebagai keberadaan tubuh batuan berdensitas relatif tinggi atau tepi struktur yang mengalami pengangkatan, sedangkan anomali SVD negatif merepresentasikan batuan berdensitas lebih rendah, seperti zona alterasi panas bumi atau endapan vulkanik yang telah mengalami pelapukan intensif. Pola ini mencerminkan kompleksitas struktur bawah permukaan dangkal di sekitar sistem vulkanik Gunung Ciremai.

Distribusi anomali SVD yang membentuk pola linier, tersegmentasi, dan saling berpotongan mengindikasikan keberadaan sistem patahan dan zona rekahan yang berkembang secara intensif. Struktur-struktur ini berperan penting dalam mengontrol jalur migrasi fluida panas bumi (fluid pathway) dari sumber panas menuju reservoir dan manifestasi di permukaan. Zona dengan amplitudo SVD tinggi yang berasosiasi dengan gradien anomali gaya berat yang tajam ditafsirkan sebagai batas litologi atau zona patahan aktif yang menjadi kontrol utama permeabilitas sistem panas bumi. Keberadaan struktur ini sangat krusial dalam sistem panas bumi karena menentukan efisiensi sirkulasi fluida panas serta distribusi temperatur bawah permukaan.

Selain itu, kontras anomali SVD yang tinggi pada area tertentu mengindikasikan kemungkinan keberadaan intrusi magma dangkal atau tubuh batuan beku masif yang belum teralterasi secara signifikan. Intrusi ini berpotensi sebagai sumber panas (heat source) yang mempertahankan sistem panas bumi Gunung Ciremai. Sebaliknya, zona dengan respon SVD

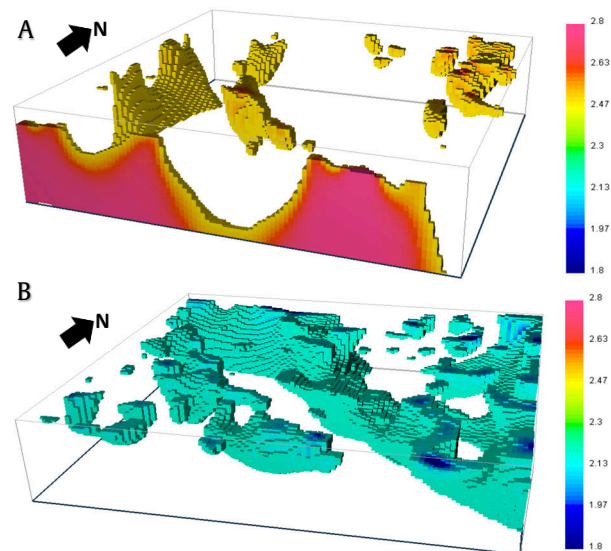
rendah dan relatif homogen diinterpretasikan sebagai area dengan kondisi geologi yang lebih stabil dan minim diskontinuitas, sehingga memiliki potensi yang lebih rendah dalam konteks pengembangan panas bumi.

Peta SVD memberikan resolusi tinggi terhadap struktur bawah permukaan dangkal yang tidak sepenuhnya teridentifikasi pada peta Anomali Bouguer Lengkap (ABL) maupun anomali regional. Integrasi peta SVD dengan peta FHD dan anomali residual gaya berat memungkinkan delineasi yang lebih presisi terhadap orientasi, kontinuitas, dan karakter struktur geologi pengontrol sistem panas bumi. Dengan demikian, analisis SVD menjadi komponen penting dalam interpretasi struktur bawah permukaan dan pengembangan model konseptual potensi panas bumi daerah Gunung Ciremai.

4.6 Pemodelan Inversi 3D

Berdasarkan hasil pemodelan inversi gaya berat tiga dimensi (3D) menggunakan mesh 200, yang mana hasilnya menunjukkan distribusi anomali densitas bawah permukaan yang merepresentasikan kontras sifat fisik batuan di daerah Gunung Ciremai. Rentang densitas yang digunakan adalah 1,8 – 2,8 g/cc. Gambar 7a menunjukkan persebaran anomali densitas tinggi (2,47 – 2,8 g/cc), yang diinterpretasikan sebagai keberadaan batuan berdensitas besar seperti batuan beku masif, basement, atau intrusi magma yang relatif kompak dan belum mengalami alterasi intensif. Anomali densitas tinggi ini umumnya berkembang pada bagian tepi dan kedalaman tertentu, membentuk kerangka struktural regional yang berperan sebagai batas geologi utama. Keberadaan densitas tinggi tersebut menunjukkan zona batuan yang lebih stabil secara mekanik dan relatif kurang permeabel, sehingga cenderung berfungsi sebagai pembatas sistem panas bumi.

Sedangkan, Gambar 7b menunjukkan persebaran anomali densitas rendah (1,8 – 2,13 g/cc) yang dominan pada bagian tengah model dan pada kedalaman dangkal hingga menengah. Zona densitas rendah ini diinterpretasikan sebagai batuan vulkanik yang telah mengalami alterasi panas bumi, rekahan intensif, serta kemungkinan keberadaan fluida panas bumi, yang secara keseluruhan menyebabkan penurunan densitas batuan. Pola anomali densitas rendah yang memanjang dan tidak homogen menunjukkan kontrol struktur geologi berupa patahan dan zona lemah yang berperan sebagai jalur migrasi fluida panas bumi. Integrasi kedua model ini menunjukkan bahwa sistem panas bumi Gunung Ciremai dikontrol oleh interaksi antara tubuh berdensitas tinggi sebagai sumber panas atau batas struktural serta zona berdensitas rendah sebagai media sirkulasi fluida.

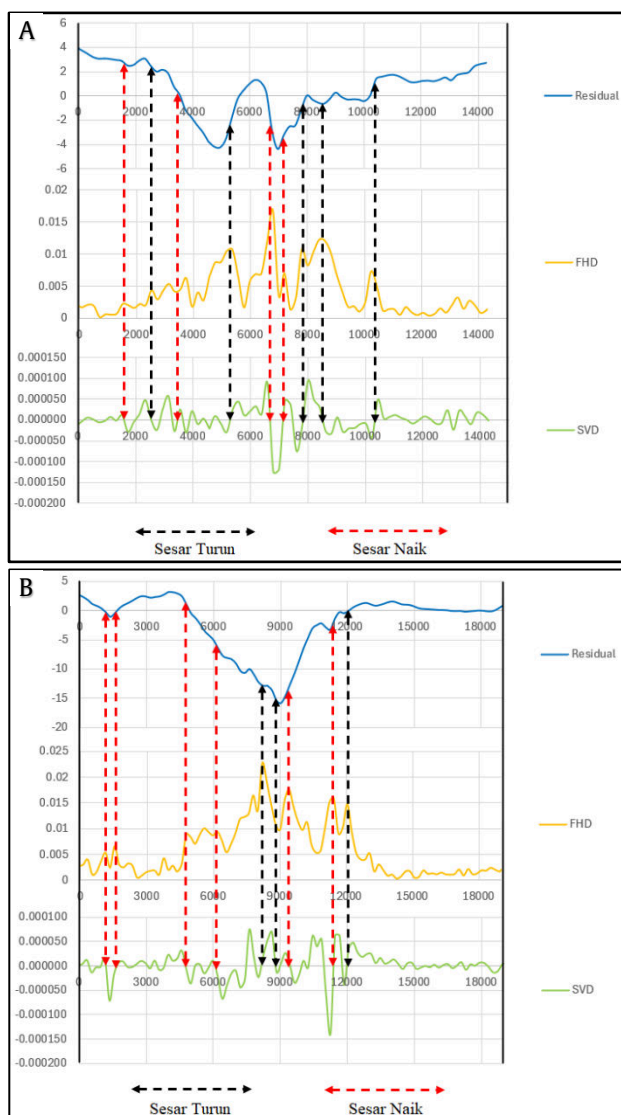


Gambar 7 (a) Persebaran anomali densitas tinggi dan (b) densitas rendah

4.7 Analisis Derivative

Berdasarkan hasil analisis derivative, didapatkan penampang lintasan A–A' dan B–B' yang mengintegrasikan anomali residual, First Horizontal Derivative (FHD), dan Second Vertical Derivative (SVD) untuk mengidentifikasi struktur bawah permukaan dangkal hingga menengah di daerah Gunung Ciremai. Pada kedua lintasan (Gambar 8a dan Gambar 8b), kurva anomali residual menunjukkan variasi nilai yang signifikan, terutama berupa cekungan anomali rendah yang diinterpretasikan sebagai zona batuan berdensitas rendah akibat alterasi panas bumi dan rekahan intensif. Pola ini mengindikasikan keberadaan zona yang berpotensi sebagai jalur aliran fluida panas bumi. Nilai FHD yang memperlihatkan puncak-puncak tajam pada lokasi tertentu menunjukkan adanya perubahan lateral densitas yang kontras, yang diinterpretasikan sebagai batas litologi atau zona patahan (Rinanda, 2024). Puncak FHD tersebut umumnya berkorespondensi dengan gradien tajam pada anomali residual, sehingga memperkuat interpretasi keberadaan struktur diskontinu.

Sementara itu, respon SVD yang menunjukkan perubahan tanda dari positif ke negatif atau mendekati nol pada lokasi yang sama mengindikasikan keberadaan batas struktur dangkal, khususnya patahan yang memotong lintasan. Konsistensi kemunculan anomali FHD tinggi dan SVD signifikan pada kedua lintasan menunjukkan bahwa struktur patahan berkembang secara sistematis dan berperan penting dalam mengontrol arsitektur bawah permukaan. Struktur ini dapat berpotensi sebagai jalur migrasi fluida panas bumi yang dari kedalaman menuju zona yang lebih dangkal, sehingga mendukung model konseptual sistem panas bumi Gunung Ciremai.



Gambar 8 Analisis derivative pada (a) Lintasan A-A' dan (b) Lintasan B-B'

Perbedaan utama penelitian ini dengan yang sebelumnya oleh Mirwanda dkk. (2021) terletak pada pendekatan metodologi, kedalaman interpretasi, dan tujuan analisis. Penelitian sebelumnya berfokus pada identifikasi anomali panas bumi berbasis kondisi permukaan menggunakan data penginderaan jauh Landsat 8 melalui analisis *Land Surface Temperature* (LST) dan NDVI, sehingga hasilnya merepresentasikan indikasi anomali termal permukaan. Sedangkan, penelitian ini menitikberatkan pada karakterisasi struktur bawah permukaan menggunakan metode

gaya berat berbasis data GGMPPlus melalui analisis derivative (FHD dan SVD) serta pemodelan inversi 3D.

Selanjutnya, penelitian oleh Lumbantoruan dkk. (2023) yang juga menggunakan data gaya berat GGMPPlus dengan fokus utama pada deliniasi zona reservoir, *caprock*, dan *heat source* berdasarkan distribusi densitas bawah permukaan. Sementara itu, penelitian ini tidak hanya mengidentifikasi struktur pengontrol dan distribusi densitas batuan, tetapi juga menekankan keterkaitan spasial antara zona anomali densitas rendah–tinggi dengan sistem patahan sebagai jalur migrasi fluida panas bumi. Selain menggunakan analisis SVD, penelitian ini juga mengintegrasikan FHD dan interpretasi anomali regional–residual, sehingga mampu memberikan gambaran mengenai kontrol struktural dan dinamika sistem panas bumi di Gunung Ciremai.

5 Kesimpulan

Berdasarkan analisis *derivative* gaya berat, khususnya *First Horizontal Derivative* (FHD) dan *Second Vertical Derivative* (SVD), dapat diindikasikan sistem patahan yang berkembang secara linier, tersegmentasi, dan saling berpotongan di wilayah Gunung Ciremai. Puncak FHD dan perubahan tanda SVD yang konsisten menunjukkan keberadaan batas diskontinuitas densitas dangkal hingga menengah yang diinterpretasikan sebagai zona patahan aktif. Terdapat struktur patahan turun dan naik yang ditemukan pada wilayah tersebut. Struktur ini berpotensi sebagai jalur migrasi fluida panas bumi yang mengontrol sirkulasi fluida dari kedalaman menuju zona dangkal.

Hasil pemodelan inversi gaya berat 3D juga menunjukkan keterkaitan spasial yang jelas antara zona densitas rendah dengan struktur patahan hasil analisis derivative. Zona densitas rendah yang berkembang pada bagian tengah dan kedalaman dangkal–menengah diinterpretasikan sebagai batuan teralterasi dan rekahan intensif yang berpotensi sebagai media sirkulasi fluida panas bumi. Integrasi analisis derivative dan inversi 3D memberikan deliniasi indikasi jalur migrasi fluida yang lebih spesifik. Namun, masih perlu dilakukan analisis lebih lanjut, terutama integrasi dengan data geokimia dan juga metode geofisika yang lain untuk mendapatkan hasil yang lebih representatif.

Referensi

- Agustian, R. B., Amanda, A., Fista, A. D., & Dani, I. 2025. Pemisahan Anomali Gaya berat Regional dan Residual Menggunakan Metode Gaussian Low Pass Filter pada Daerah Potensi Panas Bumi Way Ratai Lampung. *Jurnal Teras Fisika: Teori, Modeling, dan Aplikasi Fisika*, 8(2), pp. 7-16. <https://doi.org/10.20884/1.jtf.2025.8.2.16700>

- Alqahtani, F., Abraham, E. M., Aboud, E., & Rajab, M. 2022. Two-dimensional gravity inversion of basement relief for geothermal energy potentials at the Harrat Rahat volcanic field, Saudi Arabia, using particle swarm optimization. *Energies*, 15(8), pp. 2887. <https://doi.org/10.3390/en15082887>
- Athens, N. D., & Caers, J. K. 2021. Gravity inversion for geothermal exploration with uncertainty quantification. *Geothermics*, 97, pp. 102230. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2021.102230>
- Aulia, R. N., Nur, I., & Ilyas, A. 2022. Geothermal fluid characteristics based on geochemical analysis of hot water in the Wawolesea Area, North Konawe Regency Southeast Sulawesi Province. *Jurnal Geoelebes*, 6(1), pp. 64–71. <https://doi.org/10.20956/geoelebes.v6i1.19672>
- Djuri. 2011. Peta Geologi Lembar Arjawinangun, Jawa. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung.
- Elkins, T. A. 1951. The Second Derivative Method of Gravity Interpretation. *Geophysics*, 16(1), pp. 29–50. <https://doi.org/10.1190/1.1437648>
- Essa, K. S., Mehanee, S. A., & Elhussein, M. 2021. Gravity data interpretation by a two-sided fault-like geologic structure using the global particle swarm technique. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 311, pp. 106631. <https://doi.org/10.1016/j.pepi.2020.106631>
- Gaffar, E. Z., Wardhana, D. D., & Widarto, D. S. 2007. Studi Geofisika Terpadu di Lereng Selatan G. Ungaran, Jawa Tengah, dan Implikasinya Terhadap Struktur Panas Bumi. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 8(2), pp. 101–119. <https://doi.org/10.31172/jimg.v8i2.16>
- Gaber, G. M., Saleh, S., & Kotb, A. 2024. 3D gravity and magnetic inversion modelling for geothermal assessment and temperature modelling in the central eastern desert and Red Sea, Egypt. *Scientific Reports*, 14(1), pp. 15266. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-65131-z>
- Hirt, C., Claessens, S., Fecher, T., Kuhn, M., Pail, R., & Rexer, M. 2013. New ultrahigh-resolution picture of Earth's gravity field. *Geophysical Research Letters*, 40(16), pp. 4279–4283. <https://doi.org/10.1002/grl.50838>
- Ismail, A., Nawawi, M. N. M., & Kadir, W. G. A. 2020. Fault detection using second vertical derivative of gravity data. *Journal of Applied Geophysics*, 174, pp. 103956. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2020.103956>
- Iswahyudi, S., Pamungkas, M. A., Sunan, H. L., & Aditama, M. R. 2019. Kontrol Struktur Geologi Pada Kemunculan Mata Air Panas Bumi Daerah Subang, Jawa Barat. *Jurnal Geosaintek*, 5(3), pp. 113–118. <https://doi.org/10.12962/j25023659.v5i3.6237>
- Karimah, N. A., Supriyadi, & Suprianto, A. 2020. Korelasi Data Gaya berat Satelit Pada Daerah Panas Bumi Blawan-ljen. *Jurnal Sains Dasar*, 9(1), pp. 11–15. <https://doi.org/10.21831/jsd.v9i1.26431>
- Karunianto, A. J., Haryanto, D., Hikmatullah, F., & Laesanpura, A. 2017. Penentuan Anomali Gaya berat Regional dan Residual Menggunakan Filter Gaussian Daerah Mamuju Sulawesi Barat. *Eksplorium*, 38(2), pp. 89–98. <https://doi.org/10.17146/eksplorium.2017.38.2.3921>
- Leni, A. F. F. P. F., Hadi, A. I., Zakariya, H., & Refrizon, R. 2023. Identification of the Manna Segment Sumatran Fault using GGMplus gravity anomaly data with the second vertical derivative (SVD) method. *Jurnal Ilmu Fisika*, 15(2), pp. 123–136. <https://doi.org/10.25077/jif.15.2.123-136.2023>
- Liao, Y., Zhang, W., Rong, Y., Li, L., & Hu, G. 2025. Geothermal distribution and evolution of fault-controlled Linyi geothermal system: Constrained from hydrogeochemical composition and numerical simulation. *Geothermics*, 125, pp. 103155. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2024.103155>
- Lumbantoruan, I. N., Sarkowi, M., Mulyatno, B. S., & Wibowo, R. C. 2023. Identifikasi Struktur Patahan Dan Lokasi Reservoir Panasbumi Daerah Gunung Ciremai Berdasarkan Analisis Data Gravity. *Jurnal Geosaintek*, 9(2), pp. 70–79. <http://doi.org/10.12962%2Fj25023659.v9i2.17131>
- Maimuna, A. K., Miftakhunnisa, A. F., & Segoro, Y. A. 2022. Pemodelan Inversi 3 Dimensi untuk Identifikasi Dugaan Keberadaan Patahan menggunakan Data Anomali Gaya Berat di Laut Flores (Studi Kasus Gempa Flores 14 Desember 2021). *PROGRESS: Jurnal Geofisika*, 1(1), pp. 55–62.
- Martha, A. A. 2011. Pemodelan 3D Data Gaya Berat Lapangan Panas Bumi Ulubelu, Tanggamus, Lampung. Disertasi. Institut Teknologi Bandung.
- Mazzaluna, H. P., Rustadi, & Wibowo, R. C. 2024. Geological structure identification using GGMplus satellite gravity data in the area surrounding Mount Tampomas. *Eksplorium*, 45(1), pp. 1–12. <https://doi.org/10.55981/eksplorium.2024.6924>

- Mirwanda, S., Salsabila, F., Pramesti, R., Zakiyyah, A. R., & Tuelzar, M. R. 2021. Pemetaan Suhu Permukaan Anomali Panas Bumi Daerah Gunung Ciremai Menggunakan Data Inframerah Termal Landsat 8. *Jurnal Geosains dan Remote Sensing*, 2(2), pp. 92-99. <https://doi.org/10.23960/jgrs.2021.v2i2.64>
- Moechtar, H., Pratomo, I., Mulyana, H., & Poedjoprajitno, S. 2007. Gerakan struktur dan kaitannya dengan faktor kendali tektonik, berdasarkan analisis stratigrafi; Studi kasus geologi kuarter terhadap fase perkembangan Danau Tondano purba sepanjang Remboken-Kakas, Kec. Remboken dan Kec. Kakas, Kab. Tomohon, Sulawesi Ut. *Indonesian Journal on Geoscience*, 2(3), pp. 177-190. <https://doi.org/10.17014/ijog.2.3.177-190>
- Mulugeta, B. D., Fujimitsu, Y., Nishijima, J., & Saibi, H. 2021. Interpretation of gravity data to delineate the subsurface structures and reservoir geometry of the Aluto-Langano geothermal field, Ethiopia. *Geothermics*, 94, pp. 102093. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2021.102093>
- Purnomo, B. J., Koesuma, S., & Yunianto, M. 2013. Pemisahan anomali regional-residual pada metode gaya berat menggunakan metode moving average, polynomial dan inversion. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 3(1), pp. 10-20. <https://doi.org/10.13057/ijap.v3i01.1208>
- Purnomo, B. J., & Pichler, T. 2014. Geothermal systems on the island of Java, Indonesia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 285, pp. 47-59. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2014.08.004>
- Reynolds, J. M. 2011. *An introduction to applied and environmental geophysics*. John Wiley & Sons.
- Rinanda, S. T. 2024. Identification of the Subsurface Structure of the Great Sumatra Fault Dikit Segment Based on First Horizontal Derivative (FHD), Second Vertical Derivative (SVD), and Forward Modelling Analyses Forward Modelling of 2D Gravity Anomaly Data. *Jurnal Geofisika*, 22(2), pp. 13-21. <http://dx.doi.org/10.36435/jgf.v22i2.631>
- Rosa, W. A., Alimuddin, A., & Wibowo, R. C. 2025. Identifikasi Struktur Geologi Bawah Permukaan Menggunakan Analisis Derivatif serta Pemodelan Inversi Data Gaya Berat di Daerah Prospek Panas Bumi Matangnga Sulawesi Barat. *Jurnal Geosaintek*, 11(2), pp. 122-137. <https://doi.org/10.12962/j25023659.v11i2.2426>
- Samodra, H. 2008. Geologi Batuan Dasar Gunung Ciremai Jawa Barat. *Jurnal Biologi Indonesia*, 4(5), pp. 279-287.
- Sarkowi, M., Wibowo, R. C., & Mulyatno, B. S. 2021. Wai Selabung geothermal reservoir analysis based on gravity method. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, 10(2), pp. 45-63. <https://doi.org/10.24042/jipfalbiruni.v10i2.9705>
- Selçuk, A. S. 2022. Zilan jeotermal alanının (Erciş-Van) jeolojisi ve aktif tektonik özellikleri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27(2), pp. 416-435. <https://doi.org/10.53433/yyufbed.1084633>
- Septian, Z., Hadiana, W. M., Ayunda, F., Putri, M. A., & Iskandar, I. 2025. Perbandingan Sistem Panas Bumi Air Panas Ciater dan Palimanan: Analisis berdasarkan Komposisi Hidrogeokimia. *OPHIOLITE: Jurnal Geologi Terapan*, 7(2), pp. 83-92. <https://doi.org/10.56099/ophi.v7i2.p83-92>
- Sihombing, S., Dewi, I. K., & Adi Martha, A. 2026. Identification of subsurface structures in the geothermal manifestation area of mountain pusuk buhit samosir district, north Sumatra province using gravity method. *Iranian Journal of Geophysics*, 21(3), pp. e243145. <https://doi.org/10.30499/ijg.2024.447355.1582>
- Soekarno, H., Pranoto, B., Restiana, A., Martha, A. A., Setiadi, T. A. P., Hudayat, N., & Sutejo, B. 2025. Identifying Geological Fault Structures Using GGMplus Satellite Data and Derivative Methods to Characterize Mount Endut Geothermal Systems via 3D-Inversion Gravity Modeling. *Geomatics and Environmental Engineering*, 19(3), pp. 31-62. <https://doi.org/10.7494/geom.2025.19.3.31>
- Zaenudin, A., Karyanto, K., Kurniasih, A., & Wibowo, R. C. 2021. Analisis Struktur Patahan Daerah Suoh Menggunakan Metode Gaya Berat dan Penentuan Kerapatan Patahan. *POSITRON*, 11(2), pp. 95-103. <https://doi.org/10.26418/positron.v11i2.48461>