
Analisis Potensi Jalur Manifestasi Panas Bumi Maronge Kabupaten Sumbawa Menggunakan Data Gayaberat GGMPlus

Rosita Wijayanti^{1, a}, Muwardi Sutasoma^{1,2,* b}, Adi Susilo^{1,2 c}, Mohammad Habibiy Idmi^{1, d}, Neila Ayuzita Azhalia^{1, e}, Meidi Arisawadi^{3, f}

¹ Program Studi Teknik Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya

² Pusat Studi Kebumihan dan Mitigasi Bencana Universitas Brawijaya

³ Prodi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi Informasi, Institut Teknologi Kalimantan

e-mail: ^arositawijayanti@student.ub.ac.id, ^{b*}m_sutasoma@ub.ac.id, ^cadisusilo@ub.ac.id,

^dhabibiyidmigeo@student.ub.ac.id, ^eneilaayuz@student.ub.ac.id, ^fmeidiarisawadi@lecturer.itk.ac.id

Diajukan: 29 Desember 2025; Diterima: 27 Februari 2026; Diterbitkan: 11 Maret 2026

Abstrak

Peningkatan kebutuhan energi nasional menuntut pemanfaatan sumber daya terbarukan, khususnya panas bumi, yang memiliki potensi besar di Indonesia. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi potensi jalur manifestasi panas bumi di wilayah Maronge, Sumbawa (NTB), yang ditandai oleh gejala permukaan (mata air panas, fumarol) bersuhu 35-43°C. Metode yang digunakan adalah gravitasi berbasis data satelit GGMPlus untuk memetakan variasi densitas batuan. Data gravitasi diolah menjadi Anomali Bouguer Lengkap (CBA), pemisahan CBA menggunakan filter *upward continuation* yang menghasilkan anomali regional dan residual, serta analisis lanjutan dengan *First Horizontal Derivative* (FHD) dan *Second Vertical Derivative* (SVD). Hasil menunjukkan anomali negatif di tengah daerah penelitian yang diduga kuat mengindikasikan jalur sesar atau zona alterasi hidrotermal berdensitas rendah. Zona kontak ini berfungsi sebagai jalur konduksi fluida panas, yang menjelaskan munculnya manifestasi sebagai zona *upflow* di permukaan. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi pertimbangan bagi pemerintah untuk kebijakan pengelolaan potensi air panas Maronge.

Kata Kunci: Panas Bumi; Gayaberat, Citra Satelit; Maronge; Sumbawa

Abstract

The increasing national energy demand necessitates the utilization of renewable resources, particularly geothermal energy, which holds significant potential in Indonesia. This research aims to identify potential geothermal manifestation pathways in the Maronge area, Sumbawa (NTB), characterized by surface features (hot springs, fumaroles) with temperatures ranging from 35-43°C. The methodology employed is the gravity method based on GGMPlus satellite data to map subsurface rock density variations. The gravity data processing includes calculating the Complete Bouguer Anomaly (CBA), separating the CBA into regional and residual anomalies using the upward continuation filter, and conducting further analysis using the First Horizontal Derivative (FHD) and Second Vertical Derivative (SVD) technique. The results indicate a negative anomaly in the central area of the study, which is strongly suspected to signify a fault zone or low-density hydrothermal alteration zone. This contact zone serves as a conduit for hot fluids, explaining the emergence of the surface manifestations as an upflow zone. The results of this study can provide additional information for the government in formulating policies for managing the Maronge hot spring potential.

Keywords: Geothermal; Gravity; Satellite Imagery; Maronge; Sumbawa

PENDAHULUAN

Energi adalah salah satu kebutuhan yang penting dalam kehidupan manusia, baik dalam skala domestik maupun dalam sektor ekonomi dan industri. Menurut Kementerian ESDM [1], terjadi peningkatan tren konsumsi energi di tahun 2024 dan akan terus meningkat di tahun 2025. Peningkatan ini sejalan dengan pertumbuhan ekonomi dan peningkatan jumlah penduduk. Kondisi tersebut menuntut ketersediaan pasokan energi yang memadai, baik dari sumber energi fosil maupun energi terbarukan. Ketergantungan tinggi terhadap energi fosil dalam bauran energi nasional saat ini menghadapi tantangan besar berupa keterbatasan sumber daya dan pembengkakan biaya pemanfaatan. Pengembangan dan pemanfaatan energi terbarukan menjadi langkah strategis untuk menjaga

ketahanan energi nasional sekaligus mendukung upaya transisi menuju sistem energi yang lebih berkelanjutan. Salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki prospek signifikan adalah energi panas bumi [2].

Energi panas bumi merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang bersifat bersih, berkelanjutan, dan ramah lingkungan karena memiliki emisi gas rumah kaca yang relatif rendah dibandingkan sumber energi fosil [3]. Sebagian besar sistem panas bumi yang telah dieksplorasi di dunia umumnya berkaitan erat dengan aktivitas vulkanik dan/atau tektonik muda, yang berperan dalam menyediakan sumber panas dan jalur migrasi fluida panas dari kedalaman menuju permukaan. Keberadaan sistem panas bumi tersebut umumnya dapat diidentifikasi melalui berbagai manifestasi permukaan, seperti mata air panas, fumarol, solfatara, serta area tanah beruap, yang mencerminkan adanya aktivitas hidrotermal di bawah permukaan [4]. Indonesia dikenal sebagai negara dengan potensi panas bumi terbesar di dunia, yang diperkirakan mencapai lebih dari 23,9 gigawatt (GW). Meskipun memiliki potensi yang sangat besar, tingkat pemanfaatan energi panas bumi hingga saat ini masih belum optimal [5]. Untuk mengoptimalkan potensi panas bumi di Indonesia, perlu dilakukan eksplorasi lanjutan.

Salah satu wilayah yang memiliki indikasi potensi panas bumi namun belum dimanfaatkan secara optimal adalah daerah Maronge. Wilayah ini berada di Kabupaten Sumbawa, Provinsi Nusa Tenggara Barat, dan menunjukkan keberadaan sistem panas bumi yang ditandai oleh berbagai manifestasi permukaan. Data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral [6] mencatat adanya mata air panas dengan kisaran suhu 35–43°C, serta kemunculan solfatara, fumarol, dan zona tanah panas. Keberadaan manifestasi tersebut mengindikasikan adanya aktivitas panas bumi di bawah permukaan. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Aprianto, dkk. [7] melakukan analisis kandungan kimia dari sampel air yang ada di 4 titik *hot spring*. Tipe air panas adalah air klorida, dengan suhu bawah permukaan termasuk sedang (210°C) dan tinggi (259°C). Kedalaman reservoir diperkirakan sekitar 5-7 km. Eksplorasi lanjutan diperlukan untuk memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai karakteristik dan kondisi bawah permukaan wilayah Maronge, khususnya melalui penerapan metode geofisika yang dapat mengidentifikasi struktur pengontrol sistem panas bumi.

Salah satu metode geofisika yang umum diterapkan dalam kegiatan eksplorasi panas bumi adalah metode gravitasi. Metode ini dinilai efektif karena mampu merepresentasikan variasi densitas batuan yang berkaitan dengan kondisi dan konfigurasi struktur bawah permukaan [8]. Keberadaan struktur geologi, terutama patahan dan zona rekahan, berperan signifikan dalam sistem panas bumi karena berfungsi sebagai jalur utama pergerakan fluida panas dari reservoir ke arah permukaan [9]. Untuk mengidentifikasi serta memperjelas batas dan keberadaan struktur tersebut, digunakan analisis *Second Vertical Derivative* (SVD) terhadap data anomali gravitasi. Pendekatan ini dilakukan dengan mengamati nilai maksimum dan minimum SVD, yang efektif dalam menonjolkan anomali dangkal dan mempertegas batas struktur bawah permukaan [10].

Penelitian sebelumnya telah membuktikan bahwa metode gravitasi dengan data satelit GGMPPlus mampu secara efektif mendelineasi struktur bawah permukaan, seperti patahan, sebagai salah satu komponen penting dari sistem panas bumi. Agustin & Wibawa [11] melalui penelitiannya di air panas Cipari, Kecamatan Cipari, Kabupaten Cilacap, berhasil mengonfirmasi keberadaan struktur antiklin dan patahan normal dengan memanfaatkan analisis *First Horizontal Derivative* (FHD) dan *Second Vertical Derivative* (SVD). Keterbatasan resolusi vertikal akibat pengaruh elevasi dan kondisi atmosfer bumi tetap menjadi tantangan utama, khususnya pada pengukuran berbasis satelit yang memiliki tingkat ketidakpastian tertentu. Diperlukan integrasi metode gravitasi dengan metode geofisika lainnya untuk meminimalisir ambiguitas data sekaligus meningkatkan akurasi interpretasi kondisi bawah permukaan [8].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi jalur manifestasi panas bumi di wilayah Maronge, Kabupaten Sumbawa, melalui penerapan metode gravitasi berbasis data satelit GGMPPlus. Metode gravitasi digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisis pola anomali gravitasi yang menunjukkan variasi densitas batuan di bawah permukaan. Variasi densitas tersebut berkaitan erat dengan keberadaan struktur geologi, seperti sesar dan zona permeabel yang berpotensi menjadi jalur migrasi fluida panas dari reservoir menuju permukaan. Hasil penelitian ini dapat menjadi informasi tambahan bagi pemerintah untuk kebijakan pengelolaan potensi air panas Maronge.

METODE

Metode Gravitasi

Metode gravitasi memanfaatkan variasi percepatan gravitasi bumi akibat perbedaan densitas (ρ) batuan di bawah permukaan. Setiap massa di bumi menghasilkan gaya tarik yang besarnya sebanding dengan massanya dan berbanding terbalik dengan kuadrat jaraknya, sesuai dengan Hukum Gravitasi Newton [12] :

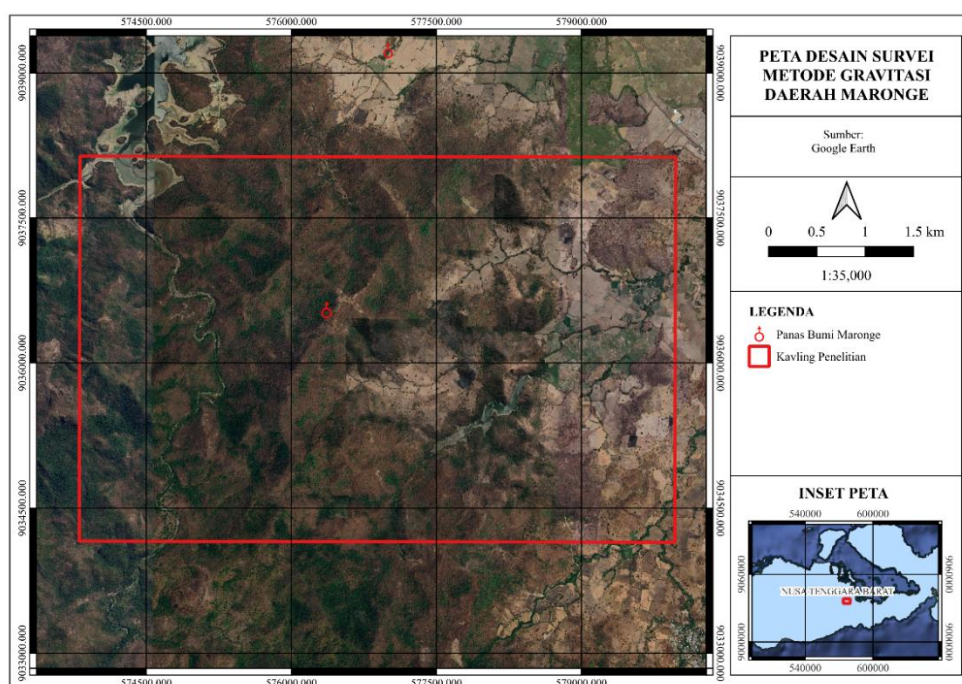
$$\vec{F} = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \hat{r} \quad (1)$$

Jika percepatan gravitasi diukur, maka:

$$g = G \frac{M}{r^2} \hat{r} \quad (2)$$

Dengan G adalah konstanta gravitasi universal ($6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg}\cdot\text{s}^2$), M adalah massa Bumi atau massa lokal, dan r adalah jarak dari pusat massa ke titik pengukuran.

Penelitian ini menerapkan metode gravitasi dengan memanfaatkan data sekunder yang bersumber dari satelit GGMPlus (*Global Gravity Model Plus*). Penggunaan data GGMPlus dipilih karena mampu menyediakan cakupan wilayah yang luas dengan kebutuhan waktu dan biaya yang relatif lebih efisien dibandingkan pengukuran langsung di lapangan [13]. Area kajian dalam penelitian ini mencakup wilayah seluas $6 \times 4 \text{ km}$ dengan spasi antar titik data sebesar 220 m, sehingga diperoleh sebanyak 459 titik data. Data yang dihasilkan dari GGMPlus meliputi informasi gangguan gravitasi (*gravitational disturbance*). Perangkat lunak yang digunakan meliputi Microsoft Excel untuk koreksi data, Oasis Montaj untuk pembuatan peta persebaran anomali, dan modul GM-SYS yang tersedia di Oasis Montaj untuk membuat penampang dua dimensi.



Gambar 1. Peta Desain Survei Metode Gravitasi Daerah Maronge

Tahapan pengolahan data diawali dengan penerapan koreksi pada data *disturbance gravity*, yang mencakup transformasi menjadi anomali udara bebas (*free air anomaly*). Selanjutnya dilakukan koreksi Bouguer serta koreksi topografi (*terrain correction*) guna memperoleh nilai Anomali Bouguer Lengkap (*Complete Bouguer Anomaly / CBA*). Nilai CBA merepresentasikan selisih antara percepatan gravitasi hasil pengukuran dan nilai gravitasi teoritis yang seharusnya tercatat pada lokasi tertentu [14]. Keberadaan anomali gravitasi ini mencerminkan variasi medan gravitasi bumi yang dipengaruhi oleh perbedaan densitas lateral batuan penyusun bawah permukaan.

Secara matematis, CBA dirumuskan sebagai:

$$CBA = g_{sta} - (g_{\phi} + FAC + BC - TC) = g_{sta} - g_{\phi}(0.3086 - 0.04193\rho)h + TC \quad (3)$$

Dengan g_{sta} adalah nilai gravitasi pada titik pengamatan, g_{ϕ} adalah nilai gravitasi teoritis, FAC adalah *Free Air Correction*, BC adalah *Bouguer Correction*, TC adalah *Terrain Correction*, ρ adalah densitas rata-rata batuan, dan h adalah ketinggian titik pengamatan dari permukaan laut.

Setelah peta CBA diperoleh, dilakukan proses *upward continuation* untuk mentransformasikan data medan potensial dari permukaan pengukuran ke bidang yang lebih tinggi, sehingga pengaruh anomali dangkal dan *noise* dapat diminimalkan [15]. Tahap selanjutnya adalah pemisahan medan gravitasi menjadi komponen regional dan residual dengan pendekatan *radial average power spectrum*, sehingga karakteristik anomali dalam dan dangkal

dapat dianalisis secara terpisah [16]. Data anomali residual hasil pemisahan medan selanjutnya diolah menggunakan analisis turunan guna menelusuri keberadaan dan karakter struktur sesar di bawah permukaan. Teknik turunan yang diterapkan mencakup *First Horizontal Derivative* (FHD) dan *Second Vertical Derivative* (SVD), yang masing-masing berfungsi untuk menonjolkan perubahan lateral dan vertikal medan gravitasi [17].

$$FHD = \left(\frac{\partial g}{\partial x}\right) (x_n, y_n) = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)^2} \quad (4)$$

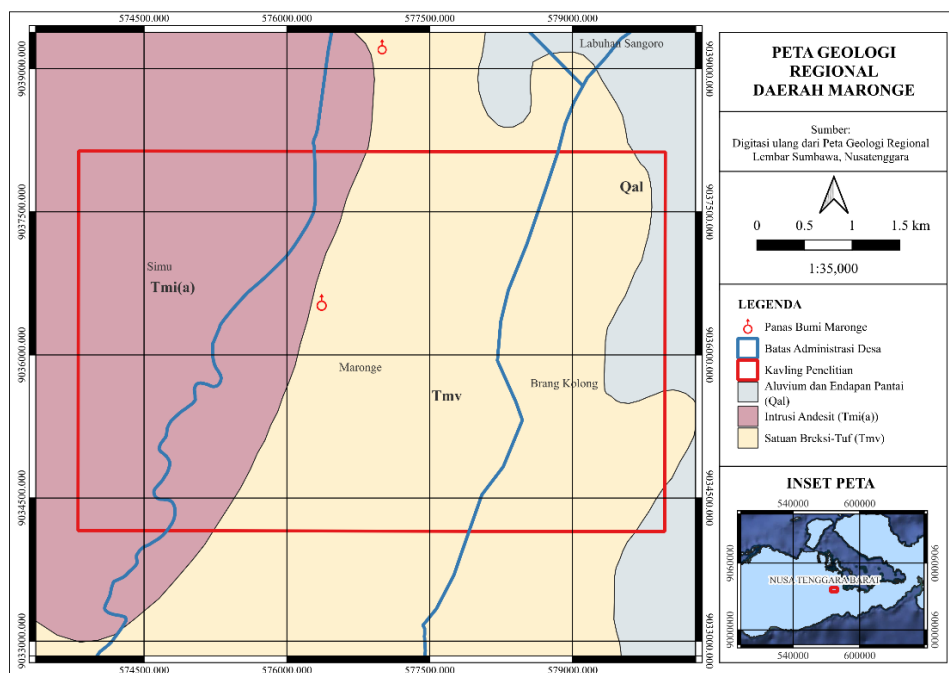
$$SVD = \left(\frac{\partial^2 g}{\partial z^2}\right) = -\left(\frac{\partial^2 g}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 g}{\partial y^2}\right) \quad (5)$$

Perhitungan turunan dilakukan dengan pendekatan diskrit pada arah sumbu koordinat. Dalam hal ini, turunan pertama medan gravitasi terhadap arah x dan y merepresentasikan gradien medan gravitasi horizontal yang mencerminkan perubahan nilai anomali antartitik pengukuran yang berdekatan. Kemudian, posisi potensi jalur manifestasi ditentukan melalui *slicing* pada peta anomali FHD dan SVD yang disesuaikan dengan kurva hasil analisis derivatif. Analisis tersebut kemudian dimodelkan dalam penampang dua dimensi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Geologi Regional Daerah Penelitian

Desa Maronge merupakan salah satu desa yang berada di Kecamatan Maronge, Kabupaten Sumbawa, Provinsi Nusa Tenggara Barat. Wilayah ini memiliki karakteristik geografis yang dipengaruhi oleh aktivitas vulkanik dan tektonik regional Pulau Sumbawa, sehingga Maronge dikenal sebagai salah satu kawasan yang memiliki potensi panas bumi. Menurut Peta Geologi Regional Lembar Sumbawa, yang disusun oleh Sudradjat [18]. Wilayah panas bumi Maronge berada di atas beberapa satuan batuan utama, seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Peta Geologi Regional Maronge [18]

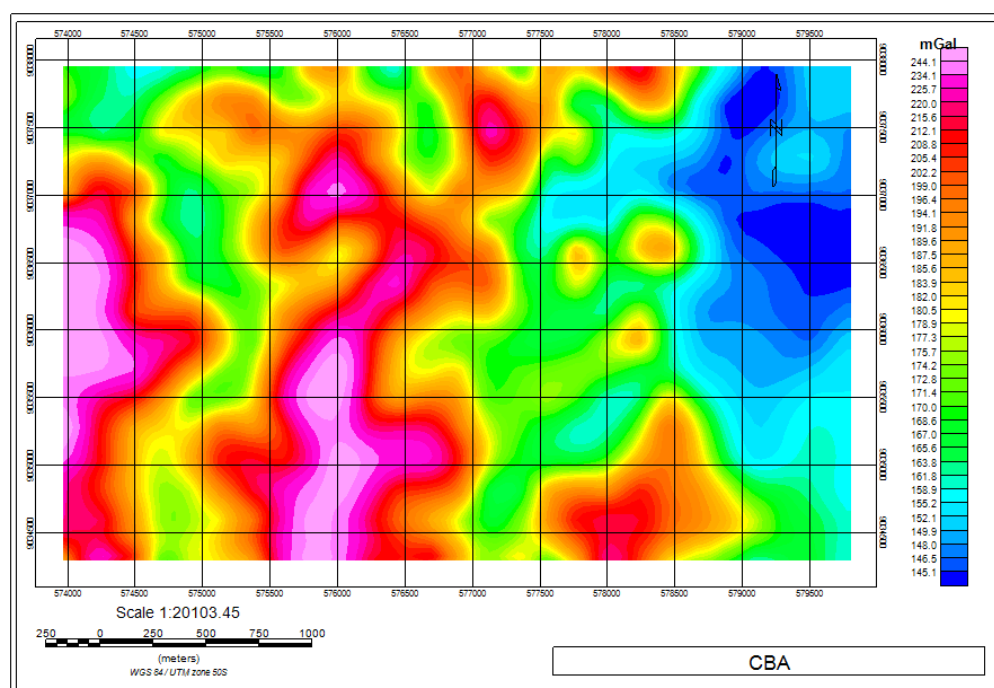
Secara geologi, wilayah Maronge terletak di zona intrusi dan juga endapan vulkanik hasil dari aktivitas zona tumbukan antara Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia (Busur Magmatik Sunda-Banda). Sistem vulkanik aktif dan dominasi batuan vulkanik semacam ini memungkinkan adanya manifestasi panas bumi seperti yang terjadi di Maronge [19]. Di kala Miosen Awal hingga Miosen Tengah, area ini merupakan zona gunungapi bawah laut, ditandai dengan pembentukan Satuan Breksi-Tuf (Tmv). Satuan ini terdiri dari breksi bersifat andesit, dengan sisipan tuf pasir, tuf batupung, dan batupasir tufan, setempat mengandung lahar, lava andesit, dan basal. Umumnya kelabu kehijauan dan hijau; setempat lava berstruktur bantal, bersisipan rijang. Di umur yang sama, terdapat Batupasir Tufan (Tms) yang menjari dengan Satuan Breksi-Tuf dikarenakan aktivitas lingkungan pengendapan

dasar laut. Satuan ini terdiri dari batupasir tufan, batulempung, tuf, dan breksi yang juga diperkirakan berasal dari aktivitas gunung api yang berinteraksi dengan lingkungan pengendapan dasar laut atau muara sungai. Kedua formasi yang menjari ini mengalasi Satuan Batugamping (Tml), yang pembentukannya tak lama setelah satuan-satuan sebelumnya, yang menandakan bahwa wilayah tersebut telah berubah menjadi perairan tenang dan hangat. Satuan ini terdiri dari batugamping dan batupasir gampingan, serta rombakan batuan gunungapi gampingan [18].

Pada kala Miosen Tengah, terjadi pengangkatan dasar laut yang menghentikan pembentukan Satuan Breksi-Tuf, Batupasir Tufan, dan Satuan Batugamping. Ketiga satuan tersebut diterobos oleh Satuan Batuan Terobosan (Tmi), yang dapat berupa andesit (a), basal (b), dasit (d), dan batuan yang tak teruraikan (u) yang sebagian merupakan batuan beku lelehan. Secara spesifik, di Maronge sendiri, Batuan Terobosan berupa andesit yang menerobos Satuan Breksi-Tuf. Hal ini menyebabkan Satuan Breksi-Tuf di lokasi terobosan mengalami ubahan hidrotermal, ditandai dengan satuan batuan yang terpropilitkan, termineralkan, dan terkesikkan; terlihat urat kuarsa dan kalsit. Satuan batuan, terutama Batupasir Tufan, dilapisi oleh Aluvium dan Endapan Pantai (Qal), yang terbentuk di Kala Holosen. Endapan ini terdiri dari kerikil, pasir, lempung, lumpur dan pasir, terutama bersusunan andesit, dan setempat mengandung magnetit [18] Manifestasi panas bumi Maronge sendiri terletak di zona kontak geologi antara Batuan Terobosan Andesit dan Satuan Breksi-Tuf.

Complete Bouguer Anomaly (CBA)

Setelah pengolahan data awal dilakukan menggunakan Microsoft Excel untuk menghitung CBA, tahapan selanjutnya adalah pemodelan *forward modelling* menggunakan perangkat lunak Oasis Montaj untuk menghasilkan peta kontur CBA. Peta CBA merepresentasikan anomali gravitasi yang telah dikoreksi untuk menghilangkan pengaruh topografi, elevasi, dan distribusi massa di sekitar titik pengukuran, sehingga anomali yang tersisa murni disebabkan oleh variasi densitas batuan di bawah permukaan. Anomali tersebut merupakan kombinasi dari anomali regional dan anomali residual [20].



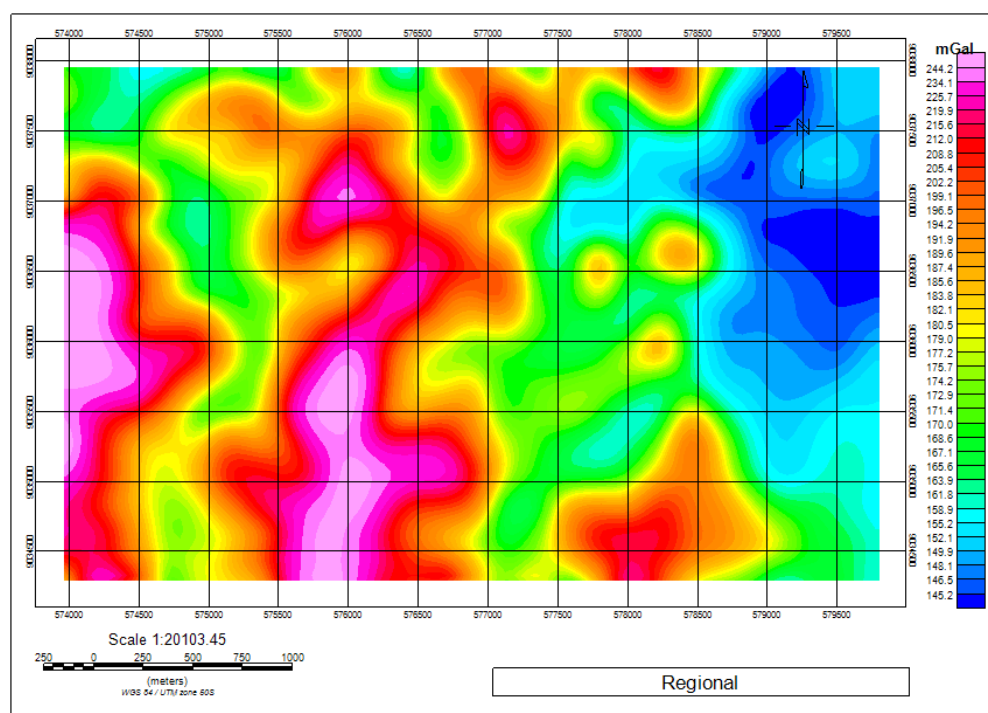
Gambar 3. Peta Complete Bouguer Anomaly

Peta CBA (Gambar 3) menunjukkan variasi anomali gravitasi secara horizontal, di mana nilai tinggi (kontur kuning hingga merah muda) dominan berada di area barat dan barat daya dengan rentang 180.5 mGal hingga 244.1 mGal, sedangkan nilai rendah (kontur biru hingga hijau) ditunjukkan di area timur laut hingga tenggara dengan rentang 145.1 mGal hingga 175.7 mGal. Menurut Reynolds [21] Nilai anomali tinggi menunjukkan adanya massa berlebih di bawah titik pengukuran dibandingkan dengan rata-rata sekitarnya, misalnya intrusi batuan beku. Sementara nilai anomali rendah menunjukkan adanya kekurangan massa di bawah titik pengukuran, misalnya cekungan sedimen atau zona fluida. Jika dikorelasikan dengan Peta Geologi Regional (Gambar 2), anomali gravitasi tinggi didominasi oleh satuan batuan vulkanik seperti Batuan Terobosan Andesit dan Breksi-Tuf, sementara anomali gravitasi rendah didominasi oleh endapan seperti Aluvium dan Endapan Pantai. Pola ini mengindikasikan bahwa

komposisi batuan vulkanik memiliki densitas yang lebih tinggi dan/atau usia yang lebih tua dibandingkan dengan endapan sedimen yang lebih tipis dan lebih muda, sehingga menghasilkan nilai anomali gravitasi yang tinggi. Nilai anomali gravitasi rendah yang berada di antara anomali gravitasi tinggi di sebelah barat, disebabkan oleh adanya lembah yang teraliri sungai. Aliran sungai diperkirakan membawa pasokan sedimen yang menyumbang anomali gravitasi rendah.

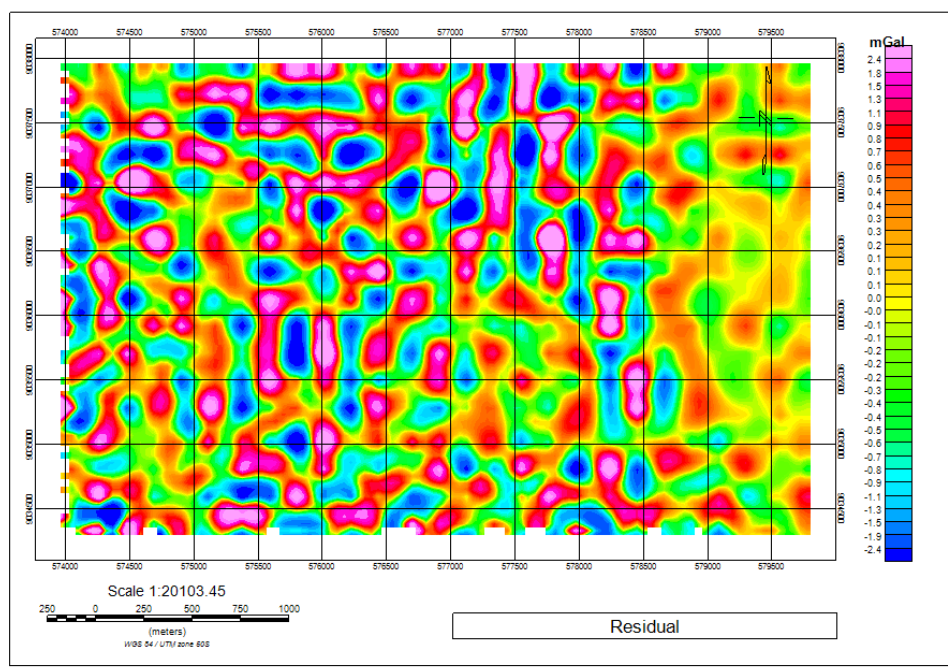
Pemisahan Anomali Regional dan Residual

Pemisahan antara CBA menjadi anomali regional dan residual dilakukan menggunakan filter *upward continuation*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 dan 5. Anomali gravitasi regional merefleksikan sumber anomali yang berada pada kedalaman besar, berfrekuensi rendah, dan memiliki spektrum gelombang yang panjang, yang secara visual menghasilkan peta kontur dengan batas anomali tinggi dan rendah yang halus dan kabur. Sebaliknya, anomali gravitasi residual merupakan kebalikan dari anomali regional, mencerminkan sumber anomali pada kedalaman dangkal, berfrekuensi tinggi, dan memiliki spektrum gelombang yang pendek, sehingga peta konturnya menunjukkan batas-batas yang kontras dan tajam [22]. Anomali regional memiliki rentang nilai minimum sebesar 145.2 mGal dan maksimum sebesar 244.2 mGal, nilai yang tidak jauh berbeda dengan rentang nilai CBL.



Gambar 4. Peta Anomali Regional

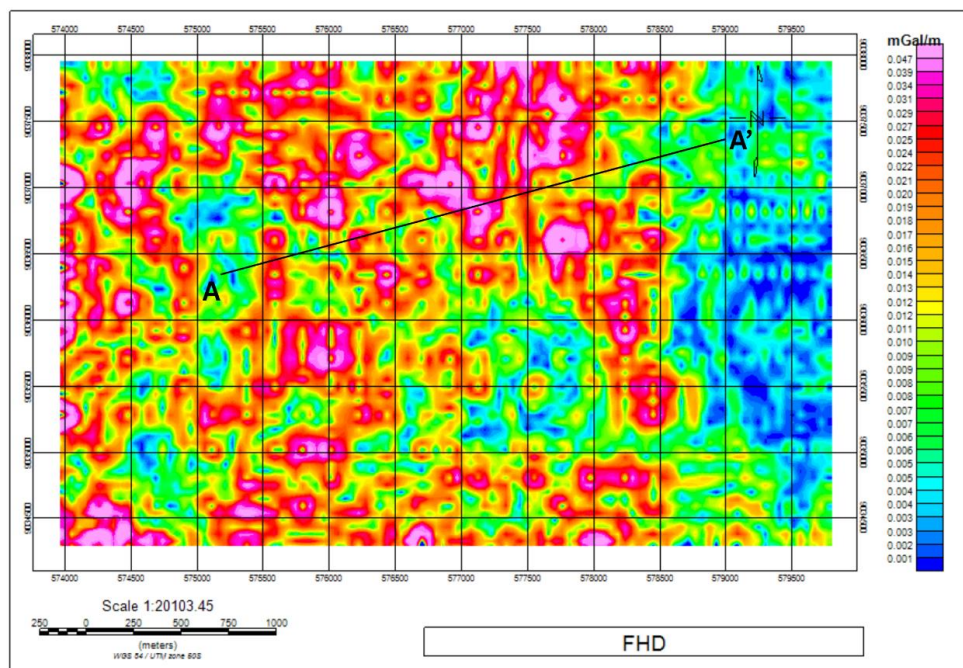
Sementara itu, anomali residual memiliki rentang nilai yang lebih kecil dan signifikan untuk interpretasi struktur dangkal, yaitu minimum sebesar -2.4 mGal dan maksimum sebesar 2.4 mGal (Gambar 5). Anomali residual rendah (negatif) didominasi di area tengah dan barat daerah penelitian yang merupakan wilayah batuan vulkanik (intrusi andesit dan breksi tuf) yang secara geologis mengindikasikan zona massa batuan yang kompleks. Nilai anomali residual negatif berada di daerah tersebut, maka pola kontras anomali dapat mengindikasikan keberadaan jalur sesar atau zona alterasi hidrotermal yang membentuk zona lemah [15]. Sesar dan/atau zona alterasi ini cenderung memiliki densitas rendah karena proses perekahan atau pengisian fluida, yang sering berfungsi sebagai jalur manifestasi dan konduksi sistem panas bumi di bawah permukaan. Selain anomali residual negatif, terdapat anomali residual positif yang tersebar di sebelah timur daerah penelitian yang merupakan daerah aluvium dan endapan pantai.



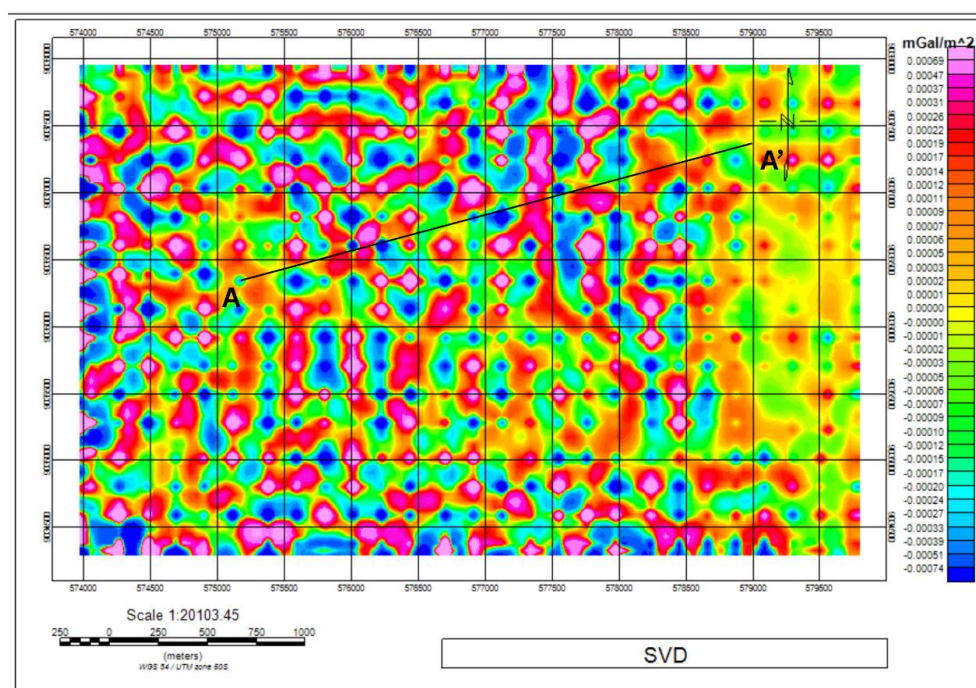
Gambar 5. Peta Anomali Residual

Analisis Derivatif

Analisis derivatif dilakukan terhadap peta anomali residual untuk memperjelas keberadaan lokasi struktur sesar atau zona lemah menggunakan teknik *First Horizontal Derivative* (FHD) dan *Second Vertical Derivative* (SVD). Teknik ini bertujuan untuk memperjelas batas-batas struktur dan litologi dangkal. Peta FHD mampu memberikan batas litologi yang jelas secara lateral, sementara peta SVD mampu memberikan resolusi yang lebih baik pada kontras densitas vertikal [20]. Struktur sesar atau zona lemah diidentifikasi pada nilai maksimum FHD yang ditunjukkan dengan warna merah (Gambar 6) serta pada nilai nol SVD yang berada di antara nilai maksimum dan minimum, ditunjukkan dengan area berwarna kuning (Gambar 7).



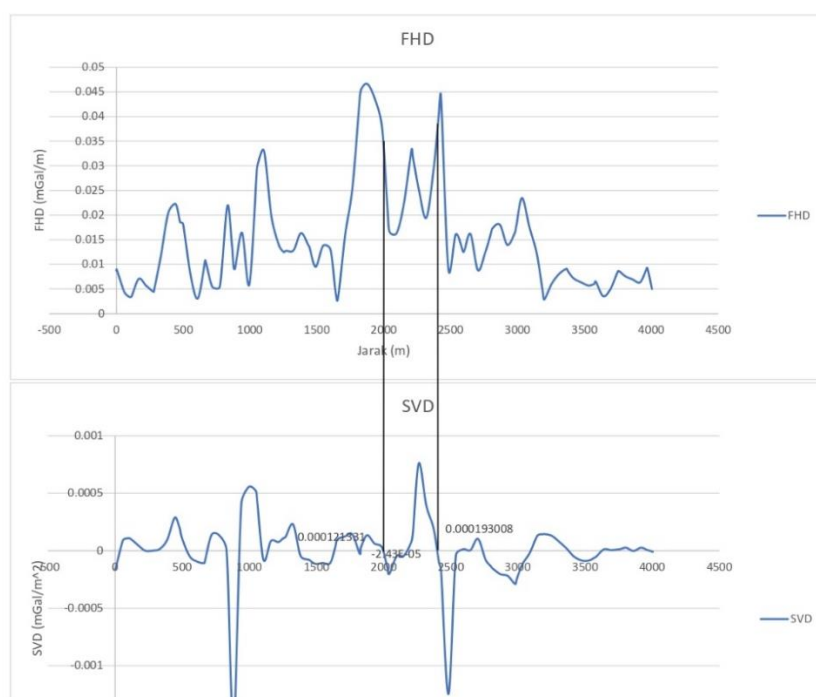
Gambar 6. Peta FHD



Gambar 7. Peta SVD

Anomali FHD memiliki rentang nilai 0.001 mGal/m sampai 0.047 mGal/m, menunjukkan adanya kontras anomali yang merupakan batas kontak litologi antara batuan vulkanik dan endapan (ditunjukkan dengan kontras kontur merah dan biru). Sedangkan anomali SVD memiliki rentang nilai -0.00074 mGal/m² sampai 0.00069 mGal/m². Anomali positif pada peta SVD (kontur kuning hingga merah muda) diduga merefleksikan sebaran batuan vulkanik berdensitas tinggi (seperti intrusi andesit atau breksi tuf), sementara anomali negatif (kontur hijau hingga biru) mengindikasikan adanya batuan vulkanik berdensitas rendah yang mengalami alterasi atau zona yang berpotensi menjadi jalur manifestasi dan konduksi panas bumi. Anomali negatif ini diperkirakan menjadi lokasi terperangkapnya fluida panas (baik *liquid* maupun *gas*).

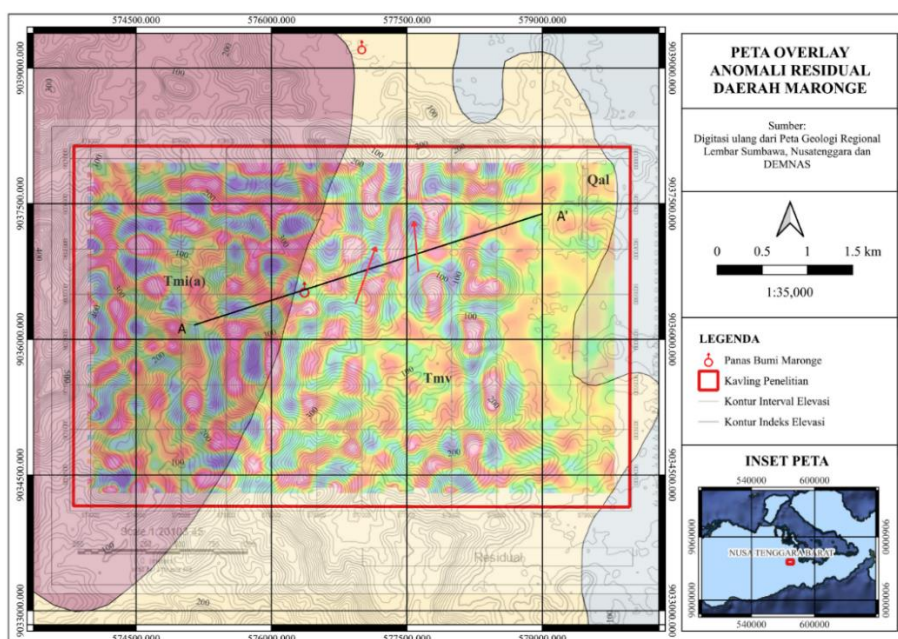
Analisis delineasi turunan menghasilkan kurva spektrum pada Gambar 8 yang merupakan irisan A-A'. Kurva FHD maksimum menunjukkan adanya kontras densitas batuan yang signifikan di daerah permukaan, sementara pada kurva SVD ditandai dengan adanya perubahan anomali maksimum dan minimum yang ekstrem melewati titik nol [23]. Melalui kurva pada analisis derivatif, diidentifikasi dua indikasi patahan atau batas vertikal.



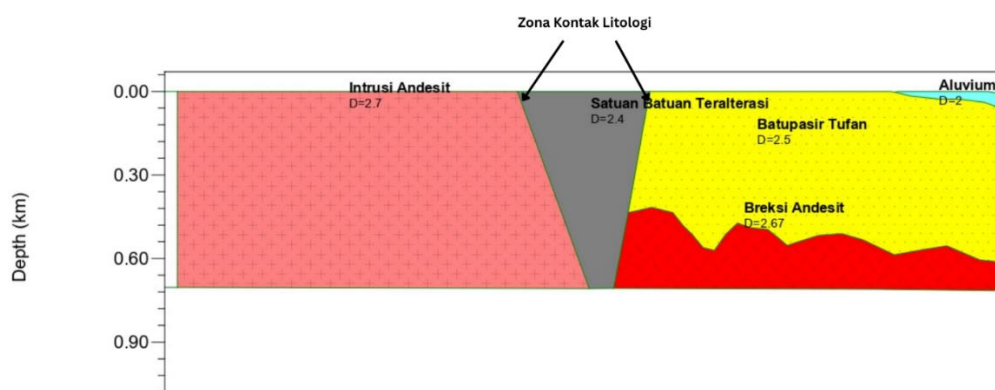
Gambar 8. Analisis Derivatif

Pemodelan 2 Dimensi

Setelah dilakukan analisis derivatif, dilakukan *slicing* pada peta anomali residual dengan panjang lintasan A-A' sebesar 4 km. *Slicing* ini digunakan untuk membuat pemodelan 2D (*Forward Modelling*) yang direpresentasikan pada Gambar 10. Lintasan pemodelan ini dirancang melintasi dua formasi geologi utama, yaitu Batuan Terobosan (Tmi(a)) yang diinterpretasikan sebagai intrusi andesit padat, dan Satuan Breksi-Tuf (Tmv) yang terdiri dari breksi andesit dengan sisipan tuf pasir, tuf batupung, dan batupasir tufan, serta setempat mengandung lava dan basal.



Gambar 9. Overlay Slicing Peta Residual dengan Peta Geologi Regional



Gambar 10. Hasil Pemodelan 2 Dimensi Profil A-A'

Profil pemodelan dua dimensi A-A' (Gambar 10) diidentifikasi menjadi lima batuan, dengan batuan paling tua adalah breksi andesit dan batupasir tufan yang merupakan bagian dari Satuan Breksi Tuf dan Batupasir Tufan. Kemudian, sesuai dengan sejarah geologi, terdapat batuan terobosan berupa intrusi andesit yang menerobos batupasir tufan dan breksi andesit, yang menyebabkan terbentuknya alterasi hidrotermal. Area ini ditandai dengan adanya satuan batuan yang terpropilitkan, termineralkan, dan terkesikkan sehingga diidentifikasi menjadi satuan batuan teralterasi. Aluvium menjadi satuan paling muda dalam penampang dua dimensi ini. Keberadaan indikasi sesar lokal atau zona lemah yang diidentifikasi melalui analisis spektrum diduga kuat berada di sekitar zona kontak litologi antara intrusi andesit dan satuan breksi-tuf, atau di sekitar zona alterasi hidrotermal. Zona kontak ini menjadi potensi jalur manifestasi dan konduksi sistem panas bumi karena memfasilitasi pergerakan fluida panas dari reservoir menuju permukaan.

Analisis Jalur Manifestasi Panas Bumi Maronge

Peta anomali residual menunjukkan rentang nilai minimum -2.4 mGal dan maksimum 2.4 mGal yang menunjukkan anomali rendah di tengah anomali tinggi. Pola negatif ini diinterpretasikan sebagai jalur sesar atau zona alterasi hidrotermal yang membentuk zona lemah, di mana lokasinya berada di zona kontak litologi antara Batuan Terobosan Andesit dan Satuan Breksi-Tuf. Sesar atau batuan yang teralterasi memiliki densitas rendah karena proses perekahan atau pengisian fluida panas, yang diinterpretasikan sebagai zona *upflow*.

Potensi jalur utama migrasi fluida panas dikonfirmasi melalui analisis derivatif pada irisan A-A'. Analisis ini berhasil mengidentifikasi indikasi patahan atau batas vertikal. Struktur sesar atau zona lemah diidentifikasi pada nilai maksimum FHD (kontur merah). Nilai ini menunjukkan kontras kontak litologi yang tajam antara batuan vulkanik dan endapan. Lokasi patahan secara vertikal ditunjukkan oleh nilai nol SVD (kontur kuning) yang berada di antara nilai maksimum dan minimum. Melalui irisan A-A', ditemukan perubahan ekstrem pada kurva SVD yang melewati titik nol dan berimpit dengan nilai maksimum FHD, yang mengonfirmasi adanya dua indikasi patahan lokal atau batas vertikal di kedalaman dangkal.

Pemodelan 2D (*Forward Modelling*) yang terdiri dari Batuan Terobosan Andesit (Tmi(a)) dan Satuan Breksi-Tuf (Tmv) menunjukkan bahwa sesar yang teridentifikasi tersebut diduga kuat berada di zona kontak litologi antara kedua formasi. Terobosan andesit menyebabkan Satuan Breksi-Tuf mengalami ubahan (terpropilitkan, termineralkan, dan terkesikkan). Area ini diidentifikasi melalui anomali SVD negatif yang menandakan batuan berdensitas rendah akibat terperangkapnya fluida panas (cair maupun gas). Selain itu, sesar lokal yang terdeteksi melalui analisis spektrum berada di sekitar zona kontak atau zona alterasi tersebut. Jalur ini memfasilitasi pergerakan fluida panas dari reservoir menuju permukaan.

Jalur manifestasi dimulai dari fluida panas dari sistem bawah permukaan yang didorong ke atas melalui sesar/patahan. Sesar selain berada di tubuh intrusi, juga berlokasi di zona kontak antara Batuan Terobosan Andesit (Tmi(a)) yang padat dan Satuan Breksi-Tuf (Tmv). Fluida panas tersebut kemudian bergerak dan terakumulasi di zona residual negatif yang merefleksikan batuan teralterasi berdensitas rendah di daerah lereng. Maka, potensi jalur manifestasi panas bumi di Maronge diperkirakan berada di zona kontak litologi tersebut. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi pertimbangan bagi pemerintah untuk kebijakan pengelolaan potensi air panas Maronge.

KESIMPULAN

Pengolahan data metode gravitasi untuk mengidentifikasi potensi jalur manifestasi Panas Bumi Maronge dapat ditarik beberapa kesimpulan:

- a. Peta anomali residual menunjukkan rentang nilai yang kecil (minimum -2.4 mGal dan maksimum 2.4 mGal) yang menunjukkan anomali rendah di tengah anomali tinggi di sekitar zona kontak litologi antara Intrusi Andesit dan Formasi Breksi-Tuf. Anomali rendah ini diperkirakan merefleksikan zona batuan berdensitas rendah yang telah mengalami alterasi hidrotermal.
- b. Analisis spektrum pada profil lintasan A-A' menunjukkan dua indikasi patahan. Pemodelan 2D lebih lanjut menampilkan indikasi sesar/zona lemah dan zona permeabel ini terkonsentrasi di zona kontak litologi antara intrusi andesit (Tmi(a)) dan Satuan Breksi-Tuf (Tmv).
- c. Zona kontak litologi ini terinterpretasi sebagai potensi jalur manifestasi bagi fluida panas, yang sangat mungkin menjadi penyebab munculnya manifestasi Air Panas Maronge sebagai zona *upflow* di permukaan.

Untuk menambah validasi data dalam interpretasi ini, disarankan untuk melakukan penelitian lanjutan dengan metode geofisika lainnya seperti metode magnetik, metode geolistrik, dan metode MT yang sensitif terhadap suseptibilitas dan resistivitas. Penelitian lanjutan diperlukan untuk memvalidasi keberadaan zona alterasi dan jalur sesar yang telah diidentifikasi melalui anomali gravitasi. Diharapkan adanya dukungan penuh dan kontribusi yang lebih proaktif dari pemerintah dalam memfasilitasi pemanfaatan sumber panas bumi. Pemanfaatan energi panas bumi yang berhasil tidak hanya akan menjamin ketahanan energi nasional yang bersih dan berkelanjutan, tetapi juga harus secara langsung memberdayakan perekonomian lokal dan meningkatkan kebutuhan fiskal di masyarakat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dekan Fakultas MIPA yang telah membuat Program MBKM Skema Asisten Peneliti sehingga jurnal ini bisa diselesaikan. Selain itu, ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Prof. Drs. Ir. Adi Susilo, M.Si., Ph.D. dan Dr. Muwardi Sutasoma, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan, serta masukan yang sangat berharga sejak tahap perencanaan hingga penyelesaian penelitian ini. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada Mohammad Habibiy Idmi dan Neila Ayuzita Azhalia yang telah membantu dan mendukung kelancaran proses penelitian. Semoga seluruh kontribusi yang diberikan menjadi amal dan bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chrisnawan A. Kinerja Sektor ESDM 2024: Lampui Target, Penuhi Kebutuhan Domestik, dan Tingkatkan Ketahanan Energi. *Kementerian ESDM*; 2025. Available from: <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/kinerja-sektor-esdm-2024-lampui-target-penuhi-kebutuhan-domestik-dan-tingkatkan-ketahanan-energi->
- [2] Umam MF, Muhammad F, Adityatama DW, Purba DP. Tantangan Pengembangan Energi Panas Bumi Dalam Perannya terhadap Ketahanan Energi di Indonesia. *Swara Patra*. 2018; 8(3):48–65. Available from: <https://ejurnal.ppsdmmigas.esdm.go.id/sp/index.php/swarapatra/article/view/6>
- [3] Kassem MA, Moscariello A. Geothermal energy: A sustainable and cost-effective alternative for clean energy production and climate change mitigation. *Sustainable Futures*. 2025; 10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sfr.2025.101247>
- [4] Hochstein MP, Browne PRL. Surface Manifestations of Geothermal Systems with Volcanic Heat Sources. In: Sigurdsson H, Houghton B, McNutt SR, Rymer H, Stix J, editors. *Encyclopedia of Volcanoes*. San Diego: Academic Press; p. 835–55.
- [5] Nurwahyudin DS, Harmoko U. Pemanfaatan dan Arah Kebijakan Perencanaan Energi Panas Bumi di Indonesia Sebagai Keberlanjutan Maksimalisasi Energi Baru Terbarukan. *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*. 2020; 1(3):111–23. DOI: <https://doi.org/10.14710/jebt.2020.10032>
- [6] Direktorat Jenderal EBTKE KESDM. *Potensi Marongge*. 2023 [cited 2025 Dec 24]. Available from: <https://genesis.ebtke.esdm.go.id/api/public-storage/TitikPotensi/dokumen/2025/04/KktlcA6DRF8MDSR680ef97c85ebb.pdf>

- [7] Aprianto R, Lestari ID, Adnan, Puspitasari PAD. Analisis Potensi Panas Bumi sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif di Kabupaten Sumbawa. *Titian Ilmu: Jurnal Ilmiah Multi Sciences*. 2023; 15(2):89–96. DOI: <https://doi.org/10.30599/jti.v15i2.2415>
- [8] Sutasoma M, Susilo A, Maryanto S, Aprilia F, Puspita MB, Idmi MH, et al. Indonesian Physical Review Landslide Area Mapping in Dampit Subdistrict, Malang District, East Java Province Using Satellite Imagery of Gravity Data for Disaster Mitigation. *Indonesian Physical Review*. 2025; 8:675–89. DOI: <https://doi.org/10.29303/ipr.v8i3.487>
- [9] Maryanto S. Preliminary investigation of volcano hosted geothermal area at Kasinan-Songgoriti-Cangar, Batu city, based on gravity-seismic methods. *AIP Conference Proceedings*. American Institute of Physics Inc. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.5062760>
- [10] Maryanto S, Widyanudin MA, Suaidi DA, Perwita CA, Wuryani SD, Abe S, et al. Multi-method Geophysical Observations in Governing Sustainable Development of a Volcano-Hosted Geothermal Area in Cangar, Indonesia. *International Exchange and Innovation Conference on Engineering and Sciences*. Kyushu University. 2024; 1205–11. DOI: <https://doi.org/10.5109/7323410>
- [11] Agustin N, Wibawa A. Analisis Data Gravitasi Untuk Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Daerah Potensi Panas Bumi Cipari. *Jambura Geoscience Review*. 2022; 4(1):22–32. DOI: <https://doi.org/10.34312/jgeosrev.v4i1.12114>
- [12] Kearey P, Brooks M, Hill I. *An Introduction to Geophysical Exploration*. Third Edition. Oxford: Blackwell Science;
- [13] Hasan MFR, Susilo A, Suryo EA, Agung PAM, Idmi MH, Zaika Y, et al. Analysis of Existence and Faults Impact on Geological Disasters Using GGMPlus Data. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Institute of Physics. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1321/1/012003>
- [14] Sutasoma M, Susilo A, Sunaryo, Suryo EA, Minardi S. ANALYSIS OF THE ROCK LAYER CONTACT USING THE GRAVITY DATA OF SATELLITE IMAGERY AND RESISTIVITY METHOD. *International Journal of GEOMATE*. 2022; 23(96):69–76. DOI: <https://doi.org/10.21660/2022.96.3306>
- [15] Hofi LN, Maryanto S, Susilo A, Wuryani SD. Derivative Analysis of Gravity Data in Revealing the Subsurface Fault Structure Model in Semeru Volcano, East Java and Its Surrounding. *Trends in Sciences*. 2024; 21(9). DOI: <https://doi.org/10.48048/tis.2024.8050>
- [16] Kebede H, Alemu A, Fisseha S. Upward continuation and polynomial trend analysis as a gravity data decomposition, case study at Ziway-Shala basin, central Main Ethiopian rift. *Heliyon*. 2020; 6(1). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03292>
- [17] Blakely RJ. *POTENTIAL THEORY IN GRAVITY AND MAGNETIC APPLICATIONS*. Cambridge: Cambridge University Press;
- [18] Sudradjat A, AMS, & SN. *Peta Geologi Regional Lembar Sumbawa, Nusatenggara*. Bandung; 2012.
- [19] Hall R, Spakman W. Mantle structure and tectonic history of SE Asia. *Tectonophysics*. 2015; 658:14–45. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2015.07.003>
- [20] Zaenudin A, Yulistina S. Studi Identifikasi Struktur Geologi Bawah Permukaan Untuk Mengetahui Sistem Sesar Berdasarkan Analisis First Horizontal Derivative (FHD), Second Vertical Derivative (SVD), Dan 2,5D Forward Modeling Di Daerah Manokwari Papua Barat. *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*. 2020; 4(2):173–86. DOI: <https://doi.org/10.23960/jge.v4i2.15>
- [21] Reynolds JM. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. 2nd ed. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.; 2011.
-
-

- [22] Novianti E, Realita A, Prastowo T. ANALISIS DAN INTERPRETASI ANOMALI GRAVITASI UNTUK IDENTIFIKASI POTENSI SUMBER PANAS BUMI DI GUNUNG ARJUNO-WELIRANG. *Inovasi Fisika Indonesia*. 2024; 13(2):13–24. DOI: <https://doi.org/10.26740/ifi.v13n2.p13-24>
- [23] Jayatri AU, Multi W, Hayatuzzahra S. Identifikasi Keberadaan Sesar Menggunakan Metode Gravitasi dan Analisis Second Vertical Derivative (SVD) di Bagian Selatan Kabupaten Sumbawa. *Jurnal Tambora*. 2023; 7(2). DOI: <https://doi.org/10.36761/jt.v7i2.2954>