Jurnal Fisika Unand (JFU)
Vol. 15, No. 4, Juli 2026, hal. 345 – 354
ISSN: 2302-8491 (Print); 2686-2433 (Online)
https://doi.org/10.25077/jfu.15.4.345-354.2026

Open Access

Identifikasi Struktur Bawah Permukaan dan Distribusi Densitas Batuan Pulau Enggano Menggunakan Data Gravitasi Satelit GGMPlus

Muhammad Deni Apriyanto[1], Refrizon[2*], Arif Ismul Hadi[2], Laura Nurul Aprilia Simamora[1], Siti Herfina Anjani[1]
[1]Program Studi Fisika FMIPA, Universitas Bengkulu
[2]Program Studi Geofisika FMIPA, Universitas Bengkulu

Info Artikel

Histori Artikel:
Diajukan: 17 Januari 2026
Direvisi: 15 April 2026
Diterima: 31 Juli 2026

Kata kunci:
Analisis Spektrum
Data Gravitasi
Pemodelan 2D
Pulau Enggano
Struktur Bawah Permukaan

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi distribusi densitas batuan serta menginterpretasikan indikasi struktur geologi bawah permukaan Pulau Enggano, Bengkulu Utara, berdasarkan data gravitasi satelit GGMPlus. Metode yang digunakan meliputi perhitungan ABL dengan koreksi topografi SRTM2gravity, analisis spektrum untuk menentukan kedalaman anomali, serta pemisahan anomali regional dan residual menggunakan metode moving average. Selanjutnya dilakukan pemodelan dua dimensi untuk memperoleh distribusi densitas batuan bawah permukaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai ABL berkisar antara -20 mGal hingga 80 mGal dengan pola anomali rendah dibagian utara dan meningkat kearah selatan. Analisis spektrum menghasilkan estimasi kedalaman rata-rata anomali regional sekitar 1875,7 m dan residual sekitar 123,27 m. Interpretasi anomali gravitasi menunjukkan bahwa bagian utara Pulau Enggano didominasi batuan berdensitas rendah yang diinterpretasikan sebagai endapan sedimen relatif tebal pada cekungan forearc, sedangkan bagian tengah hingga selatan didominasi batuan berdensitas tinggi yang mengindikasikan keberadaan batuan dasar (basement) yang lebih dangkal dan kompak serta dipengaruhi oleh aktivitas tektonik zona subduksi Sumatra. Pemodelan 2D mengindikasikan keberadaan batuan sedimen, batugamping dan batuan beku (intrusi mafik) serta diduga berkaitan dengan adanya struktur sesar atau Batasan cekungan di wilayah penelitian.

Keywords:
2D Modeling
Enggano Island
Gravity Data
Spectral Analysis
Subsurface Structure

Penulis Korespondensi:
Refrizon
Email: refrizon@unib.ac.id

This study aims to identify the distribution of rock density and interpret indications of subsurface geological structures on Enggano Island, North Bengkulu, based on GGMPlus satellite gravity data. The methods employed include the calculation of ABL with SRTM2gravity topographic correction, spectral analysis to determine the depth of anomalies, and the separation of regional and residual anomalies using the moving average method. Two-dimensional modelling was subsequently carried out to obtain the distribution of subsurface rock density. The results show that ABL values range from -20 mGal to 80 mGal, with low-anomaly patterns in the north and increasing towards the south. Spectral analysis yielded an estimated average depth of regional anomalies of approximately 1,875.7 m and residual anomalies of approximately 123.27 m. Interpretation of the gravity anomalies suggests that the northern part of Enggano Island is dominated by low-density rocks, interpreted as relatively thick sedimentary deposits in the forearc basin, whilst the central to southern parts are dominated by high-density rocks, indicating the presence of a shallower and more compact basement influenced by tectonic activity in the Sumatran subduction zone. 2D modelling indicates the presence of sedimentary rocks, limestone and igneous rocks (mafic intrusions), and is thought to be related to the presence of fault structures or basin boundaries within the study area.

Copyright © 2026 Author(s).

I. PENDAHULUAN

Pulau Enggano merupakan salah satu pulau terluar Indonesia yang berada di lepas pantai barat Sumatra dan secara tektonik termasuk dalam sistem busur muka (*forearc*) yang terbentuk akibat subduksi aktif Lempeng Indo-Australia ke bawah Lempeng Eurasia. Posisi tersebut menjadikan Pulau Enggano sebagai bagian dari zona tektonik yang kompleks, ditandai oleh deformasi kerak, aktivitas sesar, serta variasi ketebalan sedimen dan batuan dasar yang mengontrol perkembangan struktur geologi bawah permukaan. Kompleksitas geologi tersebut menyebabkan Pulau Enggano memiliki karakteristik bawah permukaan yang berbeda dibandingkan wilayah daratan Sumatra sehingga menjadi lokasi yang penting untuk dikaji.

Meskipun berada pada lingkungan tektonik yang aktif, informasi mengenai konfigurasi struktur bawah permukaan dan distribusi densitas batuan di Pulau Enggano masih terbatas. Sebagian besar penelitian terdahulu lebih berfokus pada aspek tektonik regional, kegempaan, dan evolusi geologi kawasan barat Sumatra, sedangkan kajian yang secara khusus memanfaatkan data gravitasi satelit untuk mengungkap karakteristik bawah permukaan Pulau Enggano masih relatif sedikit. Keterbatasan tersebut menyebabkan pemahaman mengenai hubungan antara variasi densitas batuan, struktur geologi, dan posisi Pulau Enggano dalam sistem forearc Sumatra belum tergambarkan secara komprehensif.

Metode-metode geofisika dapat dimanfaatkan untuk mengidentifikasi struktur bawah permukaan bumi seperti geolistrik, geomagnet, seismik serta gravitasi (Nasution, 2018). Dalam penelitian ini, digunakan metode pemodelan gravitasi berbasis data satelit untuk mendeskripsikan kondisi geologi bawah permukaan berdasarkan variasi nilai gravitasi yang dipengaruhi oleh perbedaan densitas batuan. Metode ini juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan dan bentuk patahan pada suatu daerah (Syaputra et al., 2023). Dalam tahap perhitungan data gravitasi, data-data yang sudah dilakukan perhitungan koreksi akan menghasilkan nilai anomali Bouguer. Anomali Bouguer merupakan total dari anomali regional dan anomali residual, sehingga untuk proses interpretasi perlu dilakukan pemisahan anomali regional dan residual (Hirt et al., 2013).

Penelitian menggunakan metode gravitasi telah banyak diterapkan untuk mengidentifikasi struktur bawah permukaan berdasarkan variasi densitas batuan, baik menggunakan data pengukuran di permuaan bumi maupun data gravitasi satelit resolusi tinggi. Beberapa penelitian sebelumya (Hardianza et al., 2025; Khairunnisa dan Pohan, 2025; Nafian et al., 2025) menunjukkan bahwa data gravitasi satelit GGMPlus dapat digunakan untuk pemetaan struktur geologi regional dan interpretasi kondisi bawah permukaan. Meskipun metode gravitasi telah banyak diterapkan untuk mengungkap struktur bawah permukaan di berbagai wilayah Indonesia, hingga saat ini belum tersedia kajian yang secara khusus memodelkan kondisi bawah permukaan Pulau Enggano menggunakan data gravitasi satelit GGMPlus. Akibatnya, konfigurasi batuan dasar (basement), distribusi densitas batuan, serta indikasi struktur geologi bawah permukaan Pulau Enggano masih belum dipahami secara komprehensif. Keterbatasan informasi tersebut menunjukkan adanya kesenjangan penelitian yang perlu diisi, mengingat Pulau Enggano merupakan bagian dari sistem forearc aktif di barat Sumatra yang memiliki karakteristik geologi berbeda dengan wilayah lainnya.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengidentifikasi distribusi densitas batuan dan menginterpretasikan struktur geologi bawah permukaan Pulau Enggano berdasarkan data gravitasi satelit GGMPlus. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan interpretasi data gravitasi pada wilayah forearc, memperkaya pemahaman mengenai konfigurasi bawah permukaan Pulau Enggano, serta menyediakan informasi dasar yang dapat dimanfaatkan dalam kajian tektonik regional, eksplorasi sumber daya geologi, dan mitigasi kebencanaan. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Lokasi Penelitian dan Area Penelitian Pulau Enggano

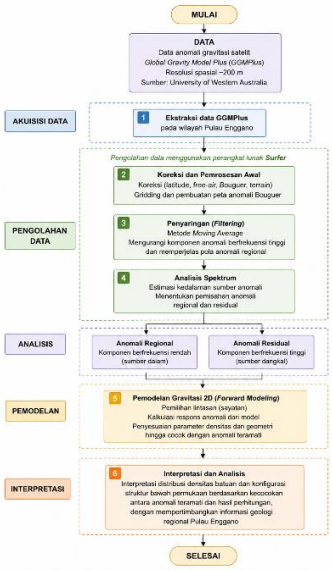
II. METODE

2.1 Metode Gravitasi

Metode gravitasi merupakan metode geofisika yang memanfaatkan variasi medan gravitasi bumi akibat perbedaan densitas batuan di bawah permukaan (Sihombing et al., 2024). Kontras densitas antar batuan menghasilkan anomali gravitasi yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi variasi litologi, ketebalan sedimen, serta struktur geologi seperti sesar dan batas batuan (Sarkowi dan Wibowo, 2021).

Penelitian ini menggunakan data anomali gravitasi satelit *Global Gravity Model Plus* (GGMPlus) dengan resolusi spasial sekitar 200 m yang diperoleh dari *University of Western Australia* (Gambar 2). Data diolah untuk menghasilkan peta anomali Bouguer sebagai dasar interpretasi struktur bawah permukaan. Pengolahan data dilakukan menggunakan perangkat lunak surfer untuk koreksi dan pemrosesan anomali gravitasi.

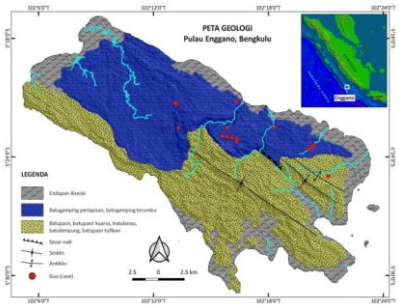
Tahapan pengolahan meliputi ekstraksi data GGMPlus pada wilayah Pulau Enggano, penyaringan (*filtering*) menggunakan metode *Moving Average* untuk mengurangi komponen anomali berfrekuensi tinggi dan memperjelas pola anomali regional, analisis spektrum untuk mengestimasi kedalaman sumber anomali dan menentukan pemisahan anomali regional serta residual, kemudian pemodelan gravitasi dua dimensi (2D) guna memperoleh distribusi densitas batuan dan konfigurasi struktur bawah permukaan. Hasil pemodelan diinterpretasikan berdasarkan kesesuaian antara respon anomali gravitasi teramati dan anomali hasil perhitungan, dengan mempertimbangkan informasi geologi regional Pulau Enggano.



Gambar 2 Diagram alir penelitian

2.2 Geologi Regional Area Penelitian

Pulau Enggano berada di wilayah Samudera Hindia dan secara geografis terletak pada koordinat 5°17′–5°31′ LS dan 102°05′–102°25′ BT. Luas daratan Pulau Enggano mencapai sekitar 40.060 hektar (Muqsit et al., 2016). Secara geologi, wilayah ini tersusun oleh endapan aluvium, sedimen cekungan, batugamping, batupasir, hingga batuan intrusi mafik (Gambar 3) (Senoaji et al., 2006). Keragaman litologi tersebut menunjukkan kompleksitas kondisi bawah permukaan yang masih belum banyak dikaji, khususnya berdasarkan data gravity.



Gambar 3 Peta Geologi Pulau Enggano (T.C Amin et al., 1993)

2.3 Pengumpulan Data

Data gravitasi GGMPlus merupakan model gravitasi beresolusi tinggi dengan resolusi 220m (Hirt et al., 2013). Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data *Free Air Anomaly* (FAA) dan elevasi yang diunduh dari basis data *Global Gravity Model Plus* (GGMPlus) http://ddfe.curtin.edu.au/gravitymodels/GGMplus/data. Data diunduh dalam format ASCII (.txt) yang berisi informasi koordinat lintang (latitude), bujur (longitude), nilai anomali gravitasi (mGal), dan elevasi (m). Untuk menghitung anomali bouguer lengkap di area penelitian digunakan koreksi medan terbaru dari *SRTM2gravity*. *SRTM2gravity* merupakan koreksi medan gravitasi kontemporer yang memperhitungkan tarikan gravitasi massa topografi bumi dengan resolusi 90m (Hirt et al., 2019). Data koreksi berupa data *fullscalegravity* yang diunduh melalui http://ddfe.curtin.edu.au/models/SRTM2gravity2018. Data gravitasi dan koreksi medan yang telah diunduh diekstrak menggunakan *software MatLab*.

2.4 Pengolahan Data

2.4.1 Anomali Bouguer Lengkap (ABL)

Nilai ABL diperoleh dari data gravitasi dalam bentuk data koreksi *Free Air Anomaly*. Koreksi ini dilakukan untuk menghilangkan pengaruh perbedaan elevasi titik pengamatan terhadap nilai gravitasi. Koreksi ini didasarkan pada prinsip bahwa nilai gravitasi berkurang ketika jarak dari pusat bumi bertambah. Anomali Bouguer Lengkap (ABL) diperoleh dari selisih antara *Free Air Anomaly* (FAA) dan nilai *fullscalegravity*. Pada data SRTM2gravity, parameter *fullscalegravity* merupakan anomali gravitasi yang telah dikoreksi terhadap pengaruh topografi melalui penerapan koreksi Bouguer slab dan *terrain correction*. Koreksi Bouguer slab dilakukan untuk menghilangkan pengaruh massa batuan yang berada di antara titik pengamatan dan bidang referensi, sehingga nilai gravitasi yang diperoleh lebih merepresentasikan variasi densitas batuan di bawah permukaan. Sementara itu, terrain correction diterapkan untuk mengoreksi efek relief permukaan di sekitar titik pengamatan yang dapat menyebabkan penyimpangan nilai gravitasi akibat variasi elevasi dan bentuk topografi. Dengan demikian, parameter *fullscalegravity* telah merepresentasikan anomali gravitasi yang lebih mencerminkan kondisi geologi bawah permukaan dan dapat langsung digunakan sebagai dasar interpretasi struktur geologi serta distribusi densitas batuan tanpa memerlukan penerapan ulang kedua koreksi tersebut.

ABL dihitung menggunakan persamaan:

$$ABL = FAA - Fullscalegravity \quad (1)$$

2.4.2 Analisis Spektrum

Anomali regional merupakan anomali gravitasi yang berasal dari sumber yang lebih dalam dibandingkan anomali lokal atau residual. Untuk memperkirakan kedalaman sumber anomali dan menentukan lebar jendela pemisahan anomali regional-residual, dilakukan analisis spektrum dengan mentransformasikan data dari domain ruang ke domain bilangan gelombang menggunakan Transformasi Fourier (Leni et al., 2023).

Analisis spektrum dilakukan pada dua lintasan, yaitu A–A' dan B–B', yang dipilih karena melintasi zona dengan perubahan anomali gravitasi yang paling signifikan dan mewakili karakteristik

anomali di wilayah penelitian. Penggunaan dua lintasan yang saling berpotongan memungkinkan analisis variasi densitas batuan dari dua arah yang berbeda sehingga interpretasi struktur bawah permukaan menjadi lebih representatif. Hasil analisis spektrum pada kedua lintasan digunakan untuk mengestimasi kedalaman sumber anomali serta menentukan panjang jendela optimum yang selanjutnya diterapkan dalam proses pemisahan anomali regional dan residual.

Hubungan antara spektrum daya dan bilangan gelombang dinyatakan sebagai persamaan (2) berikut:

$$\ln A(k) = \ln C - hk \tag{2}$$

dengan ($A(k)$) adalah amplitudo spektrum, (C) merupakan konstanta, (h) adalah kedalaman sumber anomali, dan (k) adalah bilangan gelombang (*wave number*). Nilai kedalaman sumber anomali diperoleh dari kemiringan (gradien) grafik hubungan antara ($ln\ A(k)$) terhadap (k). Semakin landai kemiringan kurva, semakin dalam sumber anomali yang diinterpretasikan.

Hasil analisis spektrum juga digunakan untuk menentukan panjang gelombang (λ) yang diperoleh dari nilai bilangan gelombang ((k)). Selanjutnya, nilai panjang gelombang digunakan untuk menentukan ukuran jendela (*window size*, (N)) yang diterapkan pada proses *moving average*. Dengan demikian, nilai (N) yang digunakan dalam pemisahan anomali regional dan residual ditentukan berdasarkan karakteristik spektrum data gravitasi.

2.4.3 Moving Average

Filter Moving Average digunakan untuk memisahkan Anomali Bouguer Lengkap (ABL) menjadi anomali regional dan anomali residual melalui proses perataan nilai anomali pada jendela (*window*) tertentu. Hasil perataan tersebut merepresentasikan komponen anomali regional, sedangkan anomali residual diperoleh dari selisih antara ABL dan anomali regional (Purnomo et al., 2016).

Metode Moving Average dipilih karena memiliki prosedur yang sederhana, efisien, dan mampu mengurangi komponen anomali berfrekuensi tinggi sehingga tren regional dapat diidentifikasi dengan baik. Selain itu, ukuran jendela filter dapat ditentukan berdasarkan hasil analisis spektrum sehingga pemisahan anomali regional dan residual menjadi lebih objektif. Berbeda dengan metode *upward continuation*, yang mensimulasikan pengukuran pada elevasi yang lebih tinggi dan memerlukan penentuan ketinggian kontinuasi yang tepat, *Moving Average* lebih sesuai digunakan pada penelitian ini karena bertujuan memperoleh tren regional berdasarkan karakteristik panjang gelombang anomali tanpa melakukan transformasi medan gravitasi ke bidang observasi yang berbeda. Secara matematis filter *moving average* menggunakan persamaan (3):

$$\Delta T_{reg}(i,j) = \frac{(\Delta T(i-n, j-n) + \ldots + \Delta T(i+n, j+n))}{N} \tag{3}$$

Di mana $n = \frac{N-1}{2}$ adalah jumlah data dalam jendela perataan (*window size*) yang digunakan pada proses *moving average*. Nilai (N) ditentukan berdasarkan hasil analisis spektrum, khususnya dari estimasi kedalaman sumber anomali regional dan residual yang digunakan untuk menentukan lebar jendela optimum. Nilai anomali residual dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut setelah mengetahui anomali regional:

$$\Delta T_{residual} = \Delta T - \Delta T_{reg} \tag{4}$$

Dimana $\Delta T_{residual}$ merupakan anomali residual, ΔT adalah anomali Bouguer dan ΔT_{reg} adalah anomali regional.

2.4.4 Penampang Densitas 2D

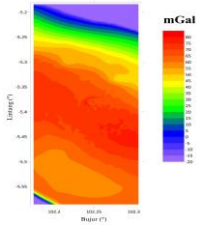
Pemodelan dua dimensi dilakukan dengan membangun penampang geologi sepanjang lintasan tertentu, sehingga diperoleh distribusi densitas dalam bentuk *density section* (Mazur et al., 2018). Pemodelan densitas 2D dilakukan menggunakan perangkat lunak surfer dengan metode *forward modeling*. Pemodelan densitas dua dimensi (2D) dilakukan menggunakan perangkat lunak Surfer untuk membangun penampang bawah permukaan berdasarkan distribusi anomali gravitasi hasil pengolahan. Penampang tersebut kemudian diinterpretasikan secara iteratif dengan menyesuaikan bentuk geometri dan nilai densitas batuan hingga diperoleh kesesuaian antara pola anomali model dan anomali gravitasi

teramati. Evaluasi kecocokan model dilakukan berdasarkan nilai misfit minimum antara anomali hasil perhitungan dan anomali observasi. Nilai densitas awal pada pemodelan ditentukan berdasarkan rentang densitas batuan yang dilaporkan oleh Telford dan Geldart (1990) dengan mempertimbangkan kondisi geologi regional Pulau Enggano. Pemodelan diawali menggunakan nilai densitas 2,67 g/cm³ sebagai densitas rata-rata kerak benua yang umum digunakan sebagai nilai acuan dalam pemodelan gravitasi. Selanjutnya, nilai densitas disesuaikan secara iteratif melalui proses forward modeling hingga diperoleh kecocokan terbaik antara kurva anomali gravitasi hasil perhitungan dan anomali gravitasi hasil observasi, dengan tetap mempertahankan nilai densitas yang berada dalam rentang yang realistis sesuai referensi dan kondisi geologi daerah penelitian. Hasil pemodelan menunjukkan adanya variasi distribusi densitas batuan, di mana zona berdensitas rendah diinterpretasikan sebagai lapisan sedimen, sedangkan zona berdensitas tinggi diinterpretasikan sebagai batuan dasar (*basement*). Keandalan hasil interpretasi kemudian divalidasi dengan membandingkan distribusi densitas hasil pemodelan terhadap peta geologi regional Pulau Enggano serta hasil penelitian terdahulu di kawasan yang sama maupun pada sistem forearc Sumatra. Validasi dilakukan melalui evaluasi kesesuaian antara model densitas dengan sebaran satuan batuan, struktur geologi, dan karakteristik litologi yang telah dilaporkan, sehingga model bawah permukaan yang diperoleh dinilai mampu merepresentasikan kondisi geologi Pulau Enggano secara memadai (Mirnanda et al., 2023).

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Anomali Bouguer Lengkap (ABL) Pulau Enggano

Pada peta Anomali Bouguer Lengkap (ABL) (Gambar 4), nilai anomali berkisar antara -20 mGal hingga 80 mGal. Bagian utara daerah penelitian menunjukkan anomali rendah dengan kisaran -20 mGal hingga 0 mGal, yang diinterpretasikan sebagai material bawah permukaan berdensitas rendah. Nilai anomali tersebut diduga berkaitan dengan keberadaan lapisan sedimen yang relatif tebal, karena sedimen umumnya memiliki densitas lebih rendah dibandingkan batuan dasar akibat tingkat kompaksi yang masih rendah, porositas yang lebih tinggi, serta kandungan fluida yang lebih besar. Nilai anomali kemudian meningkat secara bertahap ke arah selatan dengan kisaran 5 mGal hingga 50 mGal, sedangkan bagian tengah menunjukkan anomali tinggi yang mengindikasikan adanya material bawah permukaan dengan densitas relatif lebih tinggi dibandingkan wilayah sekitarnya. Kondisi ini mengindikasikan keberadaan batuan yang lebih kompak atau batuan dasar (*basement*) yang berada pada kedalaman lebih dangkal.



Gambar 4 Peta Anomali Bouguer Lengkap

3.2 Analisis Spektrum

Analisi spektrum dilakukan dengan membuat sayatan 7 lintasan pada ABL.

Tabel 1 Perhitungan lebar jendela

Regional (m)	Residual (m)	C1	C2	λ	K	N
-1431,5	-97,873	7,3318	2,9249	0,003304	1901,433	7,605732
-1791,9	-97,934	7,9739	3,3583	0,002725	2305,985	9,223938
-2330,2	-154,07	8,2361	3,7253	0,002073	3031,176	12,1247
-2020,1	-145,35	8,3794	4,2892	0,002182	2879,908	11,51963
-1742,7	-138,39	7,3789	3,3364	0,00252	2493,55	9,974201
-1938,2	-105,98	7,2527	2,4943	0,002597	2419,338	9,677352
-1875,7	-123,27					10,02093

Hasil analisis spektrum menunjukkan bahwa nilai lebar jendela optimum untuk proses pemisahan anomali regional dan residual adalah 10. Nilai tersebut dipilih karena merupakan hasil rata-rata estimasi panjang gelombang dari dua lintasan analisis (A–A' dan B–B') serta menghasilkan pemisahan yang paling representatif antara komponen regional dan residual. Penggunaan jendela yang lebih kecil, seperti 9, masih mempertahankan sebagian anomali berfrekuensi tinggi sehingga komponen regional belum terpisah secara optimal. Sebaliknya, penggunaan jendela yang lebih besar, seperti 11, menyebabkan efek penghalusan (*smoothing*) yang berlebihan sehingga sebagian informasi anomali lokal ikut tereduksi. Oleh karena itu, jendela berukuran 10 dipilih sebagai ukuran yang paling sesuai untuk mempertahankan tren regional tanpa menghilangkan karakteristik anomali residual.

Berdasarkan hasil analisis spektrum, kedalaman rata-rata sumber anomali regional diperkirakan sebesar 1.875,7 m, sedangkan sumber anomali residual berada pada kedalaman sekitar 123,27 m. Kedalaman anomali regional tersebut menunjukkan bahwa sumber anomali berasal dari satuan geologi yang relatif dalam dan diinterpretasikan berkaitan dengan batuan dasar (*basement*) atau struktur geologi regional yang berkembang pada sistem forearc Pulau Enggano. Nilai kedalaman tersebut masih masuk akal secara geologi karena berada pada kisaran kedalaman transisi antara endapan sedimen dan batuan dasar yang dilaporkan pada beberapa kajian geologi kawasan forearc Sumatra. Sementara itu, kedalaman anomali residual mengindikasikan adanya sumber anomali yang lebih dangkal, seperti variasi litologi, perubahan ketebalan sedimen, atau struktur geologi lokal. Dengan demikian, pemisahan anomali regional dan residual memberikan dasar yang lebih baik dalam menginterpretasikan distribusi densitas batuan dan konfigurasi struktur bawah permukaan Pulau Enggano.

3.3 Anomali Regional dan Residual

Anomali Bouguer Lengkap (ABL) dipisahkan menjadi anomali regional dan residual menggunakan metode Moving Average. Gambar 5A dan 5B memperlihatkan peta anomali regional dan residual. Anomali regional memiliki rentang nilai -15 mGal hingga +70 mGal dengan pola peningkatan anomali dari bagian utara menuju selatan Pulau Enggano. Pola tersebut mengindikasikan adanya perubahan distribusi massa bawah permukaan pada skala regional. Zona anomali rendah di bagian utara diinterpretasikan sebagai daerah yang tersusun oleh material berdensitas relatif rendah atau batuan dasar (*basement*) yang berada pada kedalaman lebih besar. Kondisi ini diduga berkaitan dengan akumulasi sedimen yang berkembang pada lingkungan forearc basin, yang terbentuk sebagai konsekuensi proses subduksi Lempeng Indo-Australia ke bawah Lempeng Eurasia. Sebaliknya, peningkatan nilai anomali ke arah tengah hingga selatan menunjukkan keberadaan material bawah permukaan dengan densitas yang lebih tinggi, yang diinterpretasikan sebagai pendangkalan batuan dasar (*basement high*) atau batuan yang lebih kompak. Pola tersebut mencerminkan heterogenitas struktur bawah permukaan yang dikontrol oleh evolusi tektonik sistem busur muka (forearc) Sumatra.

Interpretasi tersebut menunjukkan kesesuaian dengan kondisi geologi regional Pulau Enggano yang merupakan bagian dari sistem forearc aktif di sebelah barat Sumatra. Berdasarkan peta geologi regional, wilayah ini tersusun oleh satuan sedimen, batuan vulkanik, dan batuan yang lebih tua sebagai batuan dasar. Sebaran anomali gravitasi yang diperoleh memperlihatkan kecenderungan yang konsisten dengan distribusi satuan batuan tersebut, di mana zona anomali rendah berasosiasi dengan satuan sedimen yang memiliki densitas lebih rendah, sedangkan zona anomali tinggi berkorelasi dengan batuan yang lebih kompak atau tinggian batuan dasar. Dengan demikian, hasil interpretasi gravitasi mendukung informasi geologi permukaan sekaligus memberikan gambaran mengenai konfigurasi geologi di bawah permukaan yang tidak dapat diamati secara langsung.

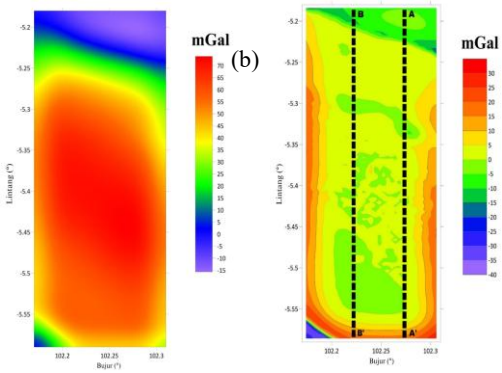
Peta anomali residual menunjukkan rentang nilai -40 mGal hingga +30 mGal, yang merepresentasikan variasi densitas pada kedalaman relatif dangkal. Anomali residual positif diinterpretasikan sebagai keberadaan batuan berdensitas tinggi, seperti tinggian batuan dasar atau tubuh batuan beku berukuran relatif kecil, sedangkan anomali residual negatif mengindikasikan zona berdensitas rendah yang kemungkinan berkaitan dengan endapan sedimen setempat, zona rekahan, atau batuan yang mengalami alterasi. Keberadaan kontras anomali residual ini menunjukkan bahwa struktur geologi lokal turut memengaruhi distribusi densitas batuan di Pulau Enggano.

Hasil penelitian ini memiliki kecenderungan yang sejalan dengan penelitian (Hardianza et al., 2025; Khairunnisa & Pohan, 2025; Nafian et al., 2025) yang menunjukkan bahwa variasi anomali gravitasi berkaitan erat dengan perubahan densitas batuan, konfigurasi batuan dasar, dan kondisi tektonik regional. Namun, penelitian ini memberikan informasi yang lebih spesifik mengenai

karakteristik bawah permukaan Pulau Enggano melalui pemanfaatan data gravitasi satelit GGMPlus sehingga dapat melengkapi informasi geologi yang sebelumnya masih terbatas pada observasi permukaan.

Meskipun demikian, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Interpretasi struktur bawah permukaan didasarkan pada data gravitasi satelit sehingga bersifat non-unik (non-uniqueness), yaitu satu pola anomali dapat dihasilkan oleh lebih dari satu konfigurasi geologi. Selain itu, validasi dilakukan menggunakan peta geologi regional dan referensi terdahulu tanpa didukung data geofisika lain, seperti data seismik, magnetotelurik, atau pengeboran. Oleh karena itu, penelitian lanjutan yang mengintegrasikan beberapa metode geofisika diperlukan untuk meningkatkan keakuratan interpretasi distribusi densitas batuan dan konfigurasi struktur bawah permukaan Pulau Enggano.

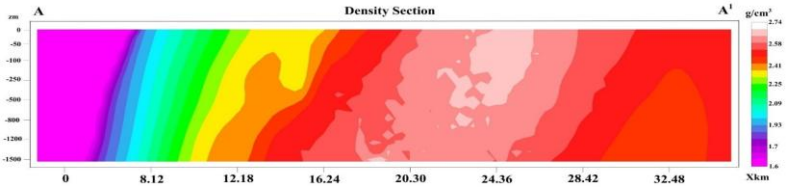
(a) (b)



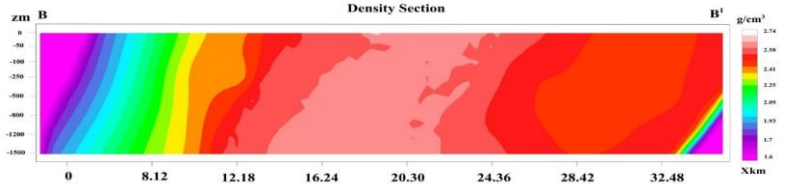
Gambar 5 (a) Anomali Regional (b) Anomali Residual

Pemodelan 2D dilakukan sebanyak dua sayatan A-A', B-B' pada peta anomali residual yang dapat dilihat pada gambar 5b. Pemodelan 2D dilakukan untuk melihat persebaran densitas batuan bawah permukaan. Gambar 6 adalah hasil pemodelan 2D untuk sayatan A-A', yang Panjang lintasannya ±32,48 km. Pada kedalaman 0,05-1,5 km, menunjukkan nilai densitas rendah dengan nilai 1,6-1,93 g/cm^3, densitas sedang dengan nilai 1,93-2,25 g/cm^3 dan densitas tinggi dengan nilai 2,25-2,74 g/cm^3. Nilai dengan densitas rendah menunjukkan jenis batuan sedimen dengan batuan alluvium dan lempung. Densitas sedang diinterpretasikan sebagai batugamping terumbu dan klastik dengan batuan pasir dan batugamping. Sedangkan densitas tinggi diinterpretasikan sebagai batuan beku (intrusi mafik) dengan batuan basalt, andesit, dan gabro (Telford et al., 1990).

Pada Gambar 7 ditunjukkan hasil pemodelan 2D pada sayatan B–B' dengan panjang lintasan, kedalaman, dan rentang densitas yang sama. Perbedaannya terlihat pada jarak lintasan sekitar ±32 km, yang menunjukkan zona berdensitas sedang hingga rendah. Zona ini diinterpretasikan sebagai endapan sedimen atau cekungan lokal karena memiliki nilai densitas yang lebih rendah dibandingkan batuan di sekitarnya. Selain itu, perubahan densitas yang relatif kontras pada lokasi tersebut mengindikasikan adanya batas litologi atau struktur geologi yang memisahkan dua satuan batuan dengan karakteristik densitas berbeda.



Gambar 6 Pemodelan 2D Sayatan A-A'



Gambar 7 Pemodelan 2D Sayatan B-B'

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data gravitasi satelit GGMPlus, nilai ABL di Pulau Enggano berkisar antara -20 mGal hingga 80 mGal. Hasil analisis spektrum menunjukkan kedalaman rata-rata anomali regional sebesar 1875,7 m dan anomali residual sebesar 123,27 m dengan lebar jendela optimum 10. Pemodelan densitas 2D menghasilkan rentang densitas 1,60–2,90 g/cm³ yang diinterpretasikan sebagai sedimen, batugamping dan batuan klastik, serta batuan beku mafik. Kontras densitas yang teridentifikasi menunjukkan adanya variasi litologi dan perubahan karakteristik batuan bawah permukaan pada daerah penelitian. Perbedaan densitas tersebut mengindikasikan adanya batas antar satuan batuan yang memiliki sifat fisik berbeda, namun belum dapat digunakan sebagai bukti langsung keberadaan struktur sesar karena metode gravitasi memiliki sifat interpretasi yang tidak unik (*non-uniqueness*). Oleh karena itu, diperlukan penelitian lanjutan yang mengintegrasikan metode geofisika lain, seperti seismik atau magnetotelurik, serta data geologi permukaan untuk memverifikasi keberadaan struktur geologi dan meningkatkan keandalan interpretasi bawah permukaan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tidak ada.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan tidak terdapat konflik kepentingan.

PERNYATAAN PENDANAAN

Penelitian ini tidak memperoleh pendanaan khusus.

PERNYATAAN PENGGUNAAN AI GENERATIF DAN TEKNOLOGI BERBASIS AI

GPT hanya digunakan untuk mengoreksi kesalahan tata bahasa dan tipografi. Penulis bertanggung jawab penuh atas isi dan integritas publikasi.

DAFTAR PUSTAKA

Aan Pambudi (2022). Geografi Provinsi Bengkulu. Geografi ORG.

Abiyudo, R., Daud, Y., & Satya, D. Y. (2021). Subsurface Structure Identification from Gravity Modelling of Silangkitang Geothermal Field for Futre Injection Well Targeting. In Proceeding the 2nd Digital Indonesia International Geothermal Convention (DIIGC).

Amin, T. C., Kusnama, Rustandi, E., dan Gefoer, S.(1993). Peta Geologi Lembar Manna dan Enggano, Sumatera. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

Dea, E.P. (2023). Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Pulau Enggano Kabupaten Bengkulu Utara Menggunakan Metode Gravitasi Berdasarkan Citra Satelit TOPEX. Dalam skirpsi.

Hardianza, M., Hadi, A. I., & Zakarya, H. (2025). Identifikasi Batuan Reservoir Panas Bumi di Daerah Tambang Sawah, Lebong Provinsi Bengkulu Menggunakan Data Gravitasi Satelit GGMPlus dengan Inversi 2D. Jurnal Fisika Unand, 14(2), 177-183.

Hirt, C., Claessens, S., Fecher, T., Kuhn, M., Pail, R., & Rexer , M. (2013). New Ultrahigh-Resolution Picture of Earth's Gravity Field. Geophysical Reseacrh Letters, 40(16), 4279-4283. https//doi.org/10.1002/grl.50838

Hirt, C., Yang, M., Kuhn, M., Bucha, B., Kurzmann, A., & Pail, R. (2019). SRTM2gravity: An Ultrahigh Resolution Global Model of Gravimetric Terrain Corrections. Geophysical Research Letter, 46(9), 4618-4627. https://doi.org/10.1029/2019GL082521

Khairunnisa, W. I. & Pohan, A. F. (2025). Identifikasi segmen Talamau Menggunakan Kombinasi Data Satelit GGMPlus dan Koreksi SRTM2gravity Berdasarkan Analisis Second Vertical Derivative (SVD). Jurnal Fisika Unand, 14(2), 198-204.

Leni, A. F. F. P. F., Hadi, A. I., Zakaria, H., & Refrizon, R. (2023). Identification of the Manna Segment Sumatran Fault using GGMPlus Gravity Anomali Data with the Second Vertical Derivative (SVD) Method. Jurnal Ilmu Fisika Universitas Andalas, 15(2), 123-136.

Mazur, S., Gagala, L., Kufrasa, M., & Krzywiec, P. (2018). Application of Two-Dimensional Gravity Models as Input Parameters to Balanced Cross-Sections Across the Margin of the East European Craton in SE Poland. Journal of Structural Geology, 166, 223-233.

Mirnanda, E., Simatupang, V. S., & Prabowo, H. (2023). Geological Interpretation of 2D gravity Modeling in Tulung Selapan Area and Surroundings, South Sumatra Basin. Bulletin of the Marine Geology, 37(2).

Muqsit, A., Purnama, D., & Ta'alidin, Z. (2016). Struktur Komunitas Terumbu Karang di Pulau Enggano Kabupaten Bengkulu Utara. Jurnal Enggano, 1(1), 75-87.

Nafian, M., Fahmi, M., Rahma, F. A., & AH, V. S. (2025). Three-Dimensional Subsurface Structural Modeling of a Geothermal mProspect in Banda-NEira, Central Maluku, Base on GGMPlus Gravity Data. Jurnal Fisika Unand, 14(4), 360-367.

Nasution, N. (2018). Penentuan Daerah Potensial Geothermal dengan Menggunakan Metode Seismik di Madinah. Laporan Penelitian LP2M UIN, Medan.

Purnomo, J., Koesuma, S., & Yunianto, M. (2016). PEmisahan Anomali Regional-Residual pada Metode Gravitasi Menggunakan Metode Moving Average, Polynomial dan Inversion. Indonesian Journal of Applied Physics, 3(01),10. https://doi.org/10.13057/ijap.v3i01.1208

Raharjo, S. A., Saputra, A. V., & Rahadinata, T. (2022). Identifikasi struktur geologi bawah permukaan berdasarkan pemodelan 3D data gravitasi (studi kasus daerah potensi panas bumi Kepahiang). Jurnal Teras Fisika, 5(2), 28. https://doi.org/10.20884/1.jtf.2022.5.2.7248

Sarkowi, M., & Wibowo, R. C. (2021). Geothermal Reservoir Identification based on Gravity Data Analysis in Rajabasa Area Lampung. Riset Geologi dan Pertambangan, Indonesian Journal of geology and Mining. 31(2), 77-97.

Senoaji, G., Riwandi., Cahyadinata, I., Hidayat, M. F., Suminar, R., Magdalena. (2006). Studi Daya Dukung Pemanfaatan dan Pengembangan Kepulauan Enggano.Kerjasama Bapedalda Provinsi Bengkulu dengan Pusat Penelitian Lingkungan Universitas Bengkulu.

Sihombing, P. A., Hadi, A. I., Refrizon, R., & Zakariya, H. (2024). Identication of the Distribution of Geothermal Reservoir Around Kepahiang Bengkulu Province using GGMPlus Gravity Data Anomalies by the 2D Inversion Method. Journal of Aceh Physics Society, 13(1), 1-8.

Supartoyo & Litman (2018). Di Kepahiang, A. D. P. G. (2018). Provinsi Bengkulu. Dalam Prosiding Seminar Nasional (p.164).

Syaputra, E. W., Refrizon, R. & Zakariya, H. (2023). Identifikasi Sesar Segmen Ketahun Berdasarkan Metode First Horizontal Derivative (FHD) dan Second Vertical Derivative (SVD) Data Anomali Gaya Berat GGMplus. Jurnal Fisika Unand, 4(12), 598-607. https:// doi.org/10.25007/jfu.12.4.598-607.2023

Telford, W. M., L. P. Geldart, R. E. S. dan D. A. K. (1990). Applied Geophysic. Cambridge University Press.

Usmaya, A. H., & Muliati, Y. (2018). Analisi Karakteristik Gelombang di Perairan Pulau Enggano, Bengkulu. RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil, 4(2), 94.