

Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Kabupaten Rejang Lebong dengan Metode Inversi 3D Data Gravitasi Satelit Menggunakan Koreksi SRTM2gravity

Puja Kasmilen Putri¹, Ahmad Fauzi Pohan^{1*}, Marzuki²

Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas
Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 09 Agustus 2024
Direvisi: 21 Agustus 2024
Diterima: 09 September 2024

Kata kunci:

Data gravitasi
Anomali Bouguer lengkap
Pemodelan tiga dimensi
Inversi.

Keywords:

Gravity data
Complete Bouguer Anomaly
Three dimensional modeling
Inversion

Penulis Korespondensi:

Ahmad Fauzi Pohan
Email:
ahmadfauzipohan@sci.unand.ac.id

ABSTRAK

Rejang Lebong merupakan kawasan pariwisata di Provinsi Bengkulu, Indonesia, yang terletak dekat dengan patahan aktif Ketaun dan Musi yang merupakan segmen dari Sistem Patahan Sumatra (SFS). Penelitian ini menggunakan analisis dan pemodelan 3-D data inversi anomali gravitasi bumi yang diperoleh dari Global Gravity Model (GGM) resolusi tinggi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi struktur geologi bawah permukaan seperti sesar, gunung berapi aktif, dan lapisan sedimen yang berpotensi menimbulkan bahaya bagi kawasan pariwisata Curup Rejang Lebong. *Complete Bouguer Anomaly* (CBA) di wilayah penelitian dihitung menggunakan metode koreksi medan modern yang memanfaatkan skala penuh data gravitasi topografi dari model SRTM2gravity. Pemisahan anomali regional dan residual menggunakan filter *upward continuation* dengan ketinggian 10 km. Model inversi 3D data gravitasi satelit telah berhasil memodelkan bawah permukaan wilayah kabupaten Rejang Lebong dimana keberadaan dapur magma Gunung Kaba ditandai dengan kontras kepadatan negatif rendah, serta jalur sesar Ketaun dan Musi ditandai dengan batas kontras rendah dan tinggi yang berpotensi menyebabkan bencana alam di wilayah tersebut. Analisis anomali gravitasi dan kontras kepadatan batuan disediakan hasil yang selaras dengan kondisi geologi regional wilayah Bengkulu, termasuk polanya intrusi batuan beku dengan kontras densitas tinggi dan batuan sedimen dengan kontras densitas yang lebih rendah.

Rejang Lebong is a tourism area in Bengkulu Province, Indonesia, which is located close to the active Ketaun and Musi faults which are segments of the Sumatran Fault System (SFS). This research uses 3-D analysis and modeling of Earth's gravity anomaly inversion data obtained from the high-resolution Global Gravity Model (GGM). The aim of this research is to identify subsurface geological structures such as faults, active volcanoes and sedimentary layers that have the potential to pose a danger to the Curup Rejang Lebong tourism area. The Complete Bouguer Anomaly (CBA) in the study area was calculated using modern terrain correction methods that utilize full-scale topographic gravity data from the SRTM2gravity model. Separating regional and residual anomalies using an upward continuity filter with a height of 10 km. The 3D inversion model of satellite gravity data has succeeded in modeling the subsurface of the Rejang Lebong district where the presence of the Mount Kaba magma chamber is characterized by low negative density contrast, and the Ketaun and Musi fault lines are characterized by low and high contrast boundaries which have the potential to cause natural disasters in the region. Analysis of gravity anomalies and rock density contrasts provided results that are in line with the regional geological conditions of the Bengkulu region, including the pattern of intrusion of igneous rocks with high density contrasts and sedimentary rocks with lower density contrasts.

Copyright © 2024 Author(s).

I. PENDAHULUAN

Indonesia terletak antara pertemuan tiga lempeng besar, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Pasifik. Pergerakan lempeng ini menyebabkan seringnya aktivitas tektonik berupa gempa bumi di Indonesia, salah satunya di Sumatera. Sesar Sumatera (Sesar Semangko) dibagi menjadi tiga bagian, yakni bagian atas, bagian tengah dan bagian bawah. Provinsi Bengkulu dilalui oleh Sesar Sumatera bagian bawah yakni Segmen Ketaun, Segmen Musi, dan Segmen Manna. Aktivitas makroseismik di Segmen Ketaun telah menyebabkan gempa bumi yang berkekuatan Mw 6,8 di Curup Rejang Lebong pada tanggal 6 September 1952. Aktivitas makroseismik juga pernah terjadi di Segmen Musi dan menyebabkan Gempa bumi yang berkekuatan Mw 6,0 di Curup Rejang Lebong pada tanggal 15 Desember 1979 (Natawidjaja, 2007). Akibat Kabupaten Rejang Lebong memiliki intensitas gempa yang cukup tinggi maka dibutuhkan penelitian lanjut untuk memodelkan dan menginterpretasikan struktur bawah permukaan Kabupaten Rejang Lebong.

Metode geofisika dapat digunakan untuk mengidentifikasi struktur bawah permukaan bumi seperti geolistrik, geomagnet, seismisitas, serta gravitasi (Nasution, 2018). Pada penelitian ini dipilih pemodelan gravitasi menggunakan data satelit yang mampu mendeskripsikan kondisi geologi bawah permukaan berdasarkan variasi nilai gravitasi yang diakibatkan oleh perbedaan kepadatan batuan serta mampu mengidentifikasi bentuk patahan pada suatu daerah (Syaputra., 2023). Pemodelan ini telah banyak dilakukan oleh banyak peneliti dengan berbagai jenis metode yaitu oleh Pohan dkk. (2023).

Pada proses perhitungan data gravitasi, data-data yang sudah dilakukan perhitungan koreksi akan menghasilkan nilai anomali Bouguer. Anomali Bouguer adalah penjumlahan dari anomali regional dan anomali residual, sehingga untuk proses interpretasi perlu dilakukan pemisahan anomali regional dan residual (Hirt dkk., 2013). Pemisahan anomali regional dan residual dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metode yang memiliki proses yang berbeda-beda seperti metode *moving average* dilakukan dengan merata-ratakan nilai anomalnya sehingga diperoleh anomali regionalnya, metode *upward continuation* dilakukan transformasi medan potensial yang diukur pada suatu permukaan sehingga medan potensial menonjolkan anomali yang dalam yaitu anomali regional.

Pemodelan gravitasi adalah salah satu metode penafsiran data gravitasi baik secara kualitatif maupun kuantitatif yang bertujuan untuk menggambarkan kondisi bawah permukaan berdasarkan distribusi densitas batuan. Penelitian yang telah dilakukan untuk memodelkan tiga dimensi struktur bawah permukaan dengan memanfaatkan data anomali medan gravitasi dengan menggunakan metode inversi *Singular Value Decomposition* (SVD) serta inversi *Occam* yaitu penelitian yang dilakukan oleh Muhammad dkk. (2021) dan Titi (2016), yang menunjukkan struktur bawah permukaan daerah peneliti terdiri dari keberadaan sesar, gunung berapi aktif, densitas batuan, dan lapisan sedimen yang berpotensi menimbulkan bahaya bagi daerah tersebut. Berdasarkan pembahasan di atas maka dalam penelitian ini akan dilakukan pemodelan 3-D struktur bawah permukaan wilayah Curup Rejang Lebong wilayah yang dilalui Sesar Sumatera bagian bawah yaitu segmen Ketaun dan segmen Musi dengan data satelit gravitasi menggunakan koreksi SRTM2gravity.

II. METODE

2.1 Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan data satelit gravitasi dari Global Gravity Model. Data GGMplus diperoleh melalui <http://ddfe.curtin.edu.au/gravitymodels/GGMplus/data/>. Pada website tersebut diperoleh nilai *Free Air Anomaly* (FAA) dan elevasi wilayah penelitian. Wilayah yang digunakan dalam penelitian ini adalah Kabupaten Rejang Lebong ada koordinat 102°E – 103°E dan 5°S – 3°S. Untuk menghitung anomali Bouguer lengkap di wilayah penelitian digunakan model koreksi medan modern terbaru yang disebut SRTM2gravity. SRTM2gravity adalah model kontemporer untuk koreksi medan gravimetri untuk menghilangkan efek-efek yang tidak diinginkan dan mendapatkan nilai gravitasi yang lebih representatif terhadap struktur bawah permukaan (Hirt dkk., 2019). Salah satu produk SRTM2gravity yang digunakan untuk menentukan anomali Bouguer lengkap di Kabupaten Rejang Lebong adalah gravitasi topografi skala penuh (mGal).

2.2 Pengolahan Data

Wilayah penelitian yang tidak rata maka perlu dilakukannya koreksi untuk mendapatkan nilai anomali Bouguer lengkap di Kabupaten Rejang Lebong menggunakan koreksi SRTM2gravity yang merupakan koreksi medan gravimetri yang menggambarkan tarikan gravitasi massa topografi Bumi di seluruh dunia dengan Persamaan (1)

$$CBA = FAA - FSTG \quad (1)$$

dengan FAA merupakan data gravitasi, FSTG merupakan data koreksi SRTM2gravity, dan CBA merupakan nilai anomali gravitasi yang telah dikoreksi.

Selanjutnya data anomali Bouguer lengkap dipisahkan menjadi anomali regional dan anomali residual menggunakan metode filter *moving average* dan *upward continuation*. Hasil filter dari *moving average* adalah anomali regional, yang merupakan hasil dari anomali gelombang panjang (Syukri, 2020), dan anomali regional memiliki jangkauan yang sangat dalam dari permukaan bumi serta memiliki *noise* yang rendah daripada anomali residual. Sedangkan anomali residual merupakan selisih antara anomali Bouguer lengkap dengan anomali regional. Secara matematis proses *moving average* menggunakan Persamaan (2)

$$\Delta T_{reg}(i, j) = \frac{\Delta T(i - n, j - n) + \dots + \Delta T(i, j) + \dots + \Delta T(i + n, j + n)}{N} \quad (2)$$

dimana $n = \frac{N-1}{2}$, N harus bilangan ganjil, ΔT_{reg} adalah besarnya anomali regional dan ΔT adalah besarnya anomali Bouguer lengkap. Setelah diperoleh nilai anomali regional maka nilai anomali residual dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan (3)

$$\Delta T_{res} = \Delta T - \Delta T_{reg} \quad (3)$$

dimana ΔT_{res} adalah besarnya anomali residual.

Upward continuation adalah proses mengubah medan potensial pada suatu permukaan ke permukaan lainnya yang jauh dari sumber. Hasil dari metode ini adalah anomali regionalnya dan anomali residual diperoleh dengan menghitung selisih antara anomali Bouguer lengkap dengan anomali regional. Prinsip *upward continuation* menurut Blakely (1996) menggunakan Persamaan (4)

$$U(x', y', z_0 - \Delta z) = \frac{\Delta z}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{u(x', y', z_0)}{[(x - x')^2 + (y - y')^2 + \Delta z^2]^{\frac{3}{2}}} \quad (4)$$

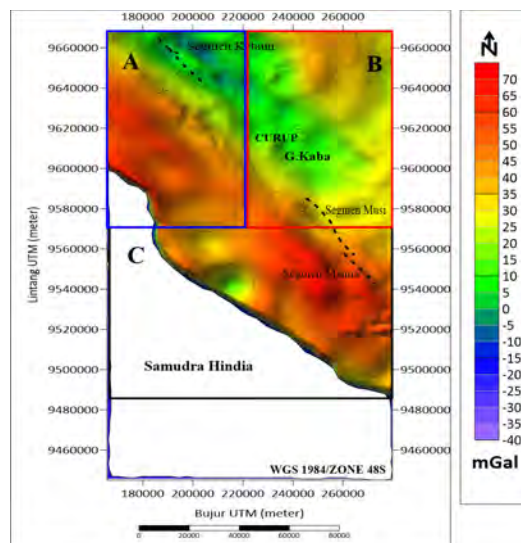
dengan $\Delta z = 0$.

Selanjutnya dilakukan pemodelan inversi 3-D untuk memperoleh data struktur bawah permukaan seperti sebaran kontras kepadatan batuan di Kabupaten Rejang Lebong. Metode inversi melibatkan perhitungan numerik untuk memperkirakan parameter fisik bawah permukaan yang mendekati data gravitasi yang diamati. Pada penelitian ini kami memanfaatkan software Grablox 1.6 dan Bloxer 1.6 untuk pemodelan inversi 3- D.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Anomali Bouguer Kabupaten Rejang Lebong

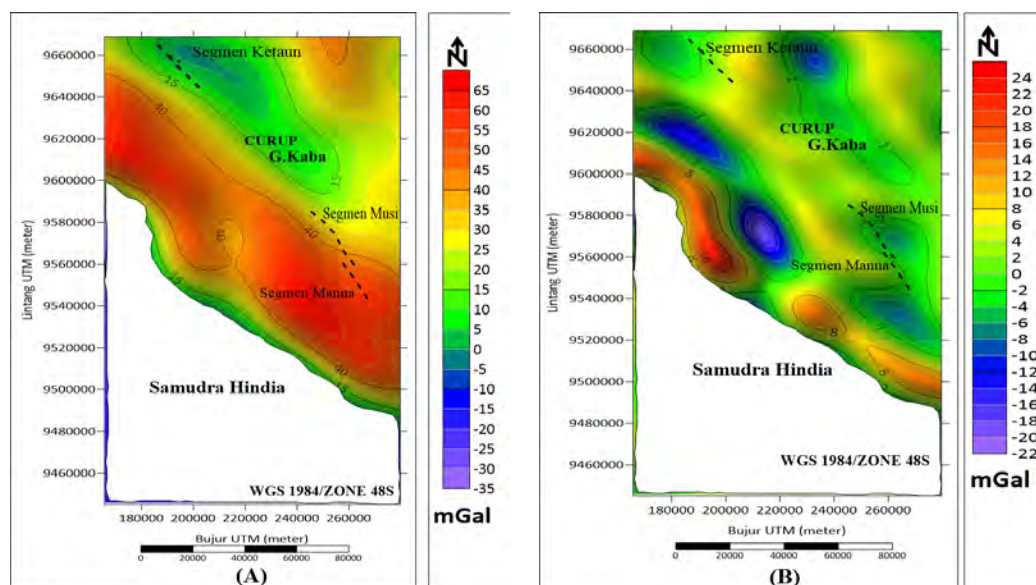
Hasil dari pengolahan data gayaberat Kabupaten Rejang Lebong menggunakan software Surfer dan Oasis Montaj diperoleh kontur anomali Bouguer lengkap (Gambar 1). Dengan nilai antara -40 *mGal* hingga 70 *mGal*. Anomali rendah ditunjukkan oleh warna biru yang mencangkup kawasan di Indian Ocean, sedangkan anomali tinggi berada pada daerah Segmen Manna dan Segmen Musi. Anomali gravitasi rendah menunjukkan bahwa di bawah permukaan terdapat material dengan densitas yang lebih rendah dibandingkan dengan material sekitarnya. Sedangkan Anomali gravitasi tinggi menunjukkan bahwa di bawah permukaan terdapat material dengan densitas yang lebih tinggi.



Gambar 1 Peta Kontur anomali Bouguer lengkap

3.2 Pemisahan anomali regional dan residual menggunakan *moving average*

Pemisahan regional dan residual bertujuan untuk memperoleh sumber anomali regional dan residual. Metode *moving average* yang digunakan pada penelitian ini menggunakan lebar jendela 19, sehingga diperoleh nilai anomali regional yang ditunjukkan pada Gambar 2(a), sedangkan untuk mendapatkan anomali residual dapat dilakukan dengan mengurangi nilai anomali Bouguer lengkap dengan nilai anomali regional yang ditunjukkan pada Gambar 2(b). Kontur anomali regional pada Gambar 2(a) memiliki rentangan nilai anomali dari -35 sampai 65. Nilai anomali rendah dari -35 sampai -5 berada di India Ocean. Nilai anomali sedang dari 0 sampai 25 berada pada wilayah segmen Ketaun, Curup Rejang Lebong, dan Gunung Kaba. Sedangkan anomali tinggi dari 40 sampai 65 berada pada Segmen Musi dan Segmen Manna. Sedangkan kontur anomali residual pada Gambar 2(b) memiliki rentangan nilai anomali dari -22 sampai 24. Terlihat bahwa anomali kecil berada pada wilayah lautan yang diidentifikasi memiliki struktur bawah permukaan dengan nilai densitas yang kecil, sedangkan nilai anomali besar berada pada wilayah segmen yang diidentifikasi memiliki struktur bawah permukaan dengan nilai densitas yang cukup tinggi (Julius dkk., 2015).



Gambar 2 Hasil pemisahan (a) anomali regional metode *moving average* (b) anomali residual metode *moving average*

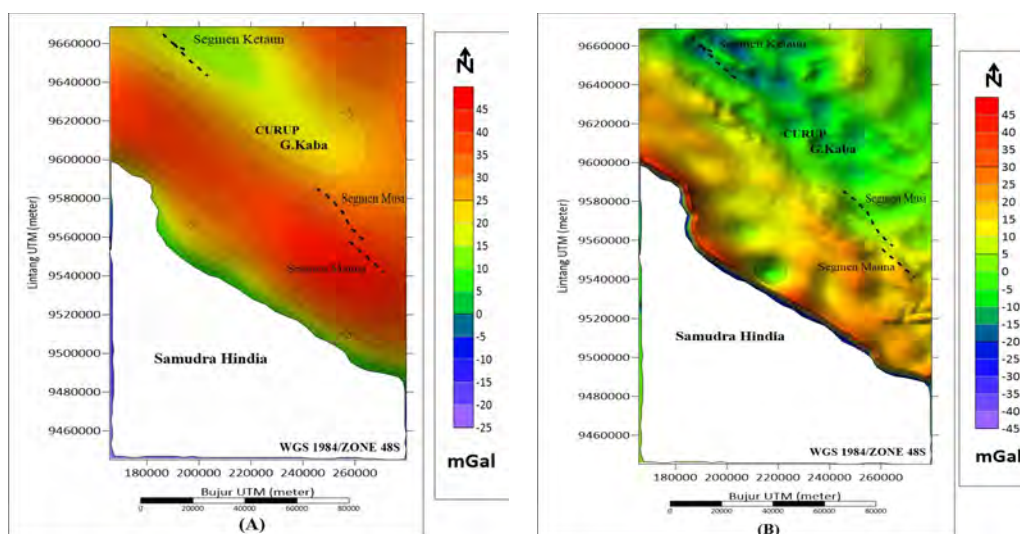
Kontur anomali residual pada metode *moving average* kurang presisi bentuk konturnya dengan anomali regional. Hal ini ditandai pada kontur anomali residual di sekitar wilayah Indian Ocean

memiliki nilai anomali yang tidak kontras dengan wilayah di pulau Siberut dan Padang, sedangkan di anomali regional memiliki nilai anomali yang kontras antara wilayah di sekitar Indian Ocean dengan wilayah Segmen Ketaun, Curup Rejang Lebong, dan Gunung Kaba. Perbedaan bentuk kontur anomali regional (Gambar 2a) dengan anomali residual (Gambar 2b) karena *moving average* digunakan jika pada proses pemisahan anomali menggunakan sebaran data penelitian yang datar dengan nilai anomali Bouguer yang kecil, sedangkan daerah Bengkulu terkhusus Kabupaten Rejang Lebong memiliki daerah yang tidak datar dan sebaran anomali yang bervariasi.

3.3 Pemisahan anomali regional dan residual menggunakan *upward continuation*

Berdasarkan kedalaman anomali regional yang berkisar antara 8 hingga 9 km maka dilakukan proses pemisahan dengan filter *upward continuation* dengan ketinggian lebih dari kedalaman anomali regional yaitu 10 km dari permukaan laut, sehingga diperoleh nilai anomali yang cenderung menonjol pada sumber yang dalam dengan mengabaikan anomali pada sumber yang dangkal yang ditunjukkan pada Gambar 3(a). Nilai anomali residual pada Gambar 2(d) diperoleh dengan mengurangi nilai anomali Bouguer lengkap dengan nilai anomali regional.

Kontur anomali regional pada Gambar 3(a) memiliki rentangan nilai dari -25 sampai 45, sehingga nilai anomali dibagi menjadi tiga bagian. Nilai anomali kecil pada -25 sampai -5 berada pada wilayah Indian Ocean. Nilai anomali sedang berada pada rentangan 0 sampai 20 yang diidentifikasi berada pada daerah Segmen Ketaun, Curup Rejang Lebong, dan Gunung Kaba. Sedangkan nilai anomali tinggi berada pada rentangan 25 sampai 45 yang diprediksi berada pada laut dalam di sekitar wilayah Segmen Manna dan Segmen Musi. Bentuk kontur anomali regional pada metode *upward continuation* hampir sama dengan bentuk kontur anomali regional pada *moving average*. Sedangkan kontur anomali residual pada Gambar 3(b) memiliki rentangan nilai anomali -45 sampai 45, sehingga nilai anomali dibagi menjadi 3 bagian.

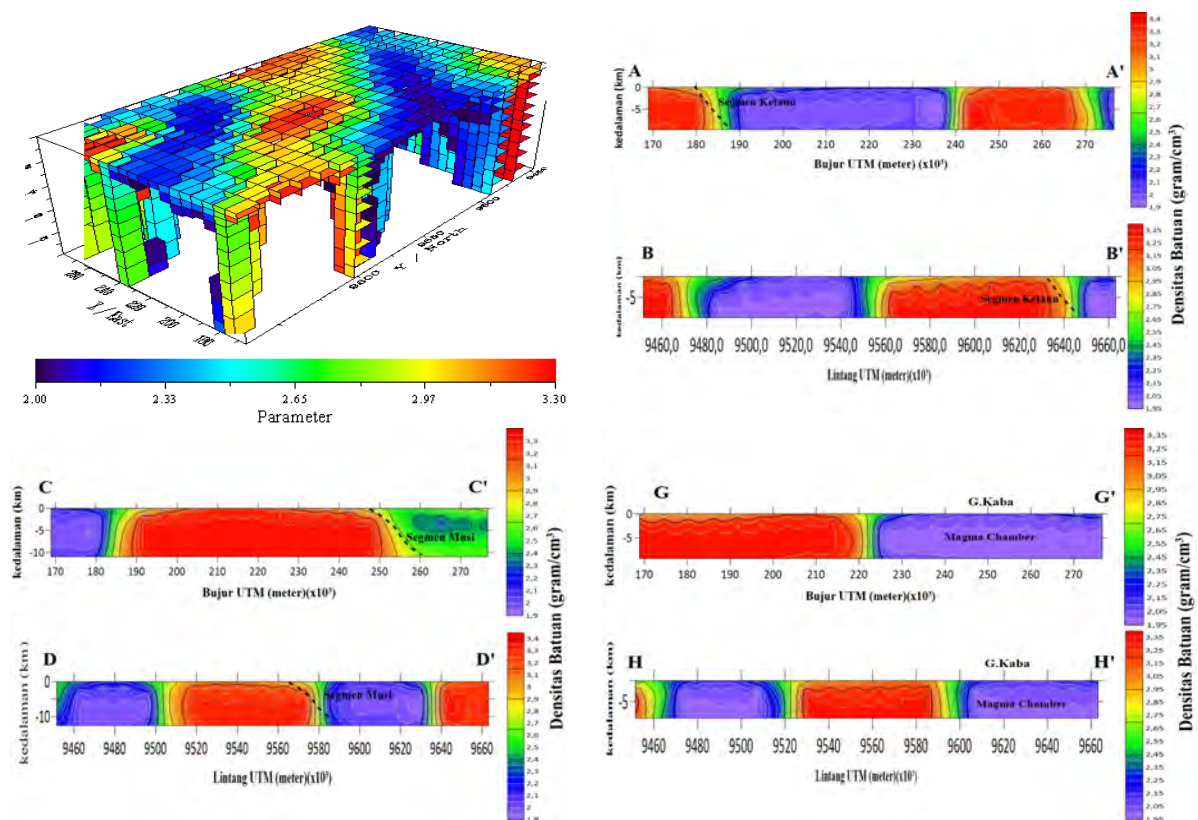


Gambar 3 (a) anomali regional metode upward continuation (b) anomali residual metode upward continuation

Anomali kecil berada pada nilai -45 sampai -15 yang diidentifikasi berada pada wilayah Indian Ocean. Anomali sedang berada pada nilai -10 sampai 10 yang diprediksi berada pada daerah Segmen Ketaun, Curup Rejang Lebong, dan Gunung Kaba. Sedangkan anomali tinggi berada pada nilai 15 sampai 45 yang diprediksi berada pada Cekungan Bengkulu, Segmen Musi, dan Segmen Manna (Julius dkk., 2015).

3.4 Pemodelan Inversi 3D Anomali Residual

Pemodelan Inversi 3D yang dilakukan berbentuk lapisan tiga dimensi yang tersusun dari lapisan pertama sampai lapisan kesepuluh dengan kedalaman 8 km yang ditunjukkan pada Gambar 3(a). Berdasarkan hasil inversi yang telah dilakukan pelapisan, maka diperoleh nilai densitas rata-rata keseluruhan adalah 2.63 gr/cm³.



Gambar 3 (a) Hasil Pemodelan Inversi 3D (b) Hasil Sayatan A-A' dan B-B' (Segmen Ketaun) (c) Hasil Sayatan C-C' dan D-D' (Segmen Musi) (d) Hasil Sayatan G-G' dan H-H' (Gunung Kaba)

Model A-A' (arah x) dan B-B' (arah y) mengungkapkan pola kontras dengan kepadatan rendah yang dikelilingi oleh kontras dengan kepadatan tinggi yang ditunjukkan pada Gambar 3(b). Pola ini diyakini mewakili garis segmen Ketaun yang pada masa lalu dianggap sebagai sumber gempa besar di wilayah Bengkulu terkhususnya Curup Rejang Lebong berkekuatan Mw 6,8. Model C-C' (arah x) dan D-D' (arah y) mengungkapkan pola kontras dengan kepadatan rendah yang dikelilingi oleh kontras dengan kepadatan tinggi. Model C-C' (arah x) dan D-D' (arah y) menunjukkan intrusi batuan beku andesit tua dengan kontras densitas tinggi (Gambar 3c). Model penampang G-G' yang membentang dari timur ke barat dan H-H' yang membentang dari utara ke selatan melewati wilayah Gunung Kaba, dengan jelas menunjukkan keberadaan dapur magma yang berasosiasi dengan kontras densitas negatif yang rendah (Gambar 3d). Hasil penelitian ini sesuai dengan model panas bumi pada sistem vulkanik yang dikemukakan oleh Hafidah (2019) bahwa fluida berasal dari daerah resapan yang berasal dari lereng gunung Kaba dan juga dari daerah luar kompleks Kaba yang meresap jauh ke bawah permukaan membentuk sistem akuifer dalam dan kemudian mengalami transfer panas dalam bentuk konveksi, hingga muncul di daerah limpasan melalui zona sesar / rekahan ke permukaan dalam bentuk mata air panas (Ardiansyah, 2017).

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan diperoleh anomali regional dan residual dengan menggunakan filter *moving average*, *upward continuation* yang dapat mengidentifikasi bentuk struktur bawah permukaan Kabupaten Rejang Lebong. Pada proses pemisahan anomali regional dan residual yang telah dilakukan diperoleh anomali yang sesuai dengan geologi wilayah Kabupaten Rejang Lebong dan kontur anomali Bouguer lengkap. Bentuk kontur anomali regional dan residual pada *filter moving average* dan *upward continuation* diperoleh bahwa nilai anomali yang rendah berada pada Indian Ocean sehingga diidentifikasi wilayah tersebut memiliki struktur bawah permukaan dengan nilai massa jenis yang rendah, sedangkan anomali sedang berada pada segmen ketaun, Curup Rejang Lebong, dan Gunung Kaba yang diidentifikasi memiliki massa jenis yang sedang, dan anomali tinggi berada di

Segmen Musi dan Segmen Manna diidentifikasi memiliki massa jenis yang tinggi. Enam model inversi 3D gravitasi penampang melintang menunjukkan adanya pola intrusi batuan beku dengan kontras densitas tinggi, dapur magma di Gunung Kaba berasosiasi dengan kontras densitas negatif rendah, dan garis segmen Ketaun dan Segmen Musi pada batas kontras rendah dan tinggi. Struktur geologi tersebut dinilai berpotensi menjadi sumber bencana alam di Bengkulu terutama wilayah Curup Kabupaten Rejang Lebong.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Curtin University yang telah memberikan akses gratis dan legal pada model gravitasi GGMplus 2013 dan SRTM2gravity resolusi tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardiansyah, S. & Malik, K. (2015). Energi Potensial Gempa bumi di Kawasan Segmen Musi, Kepahiang-Bengkulu. *Buletin Artikel Ilmiah MKKUG*, 5(6).
- Blakely, J.R. (1996). *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. Cambridge University Press, New York.
- Hafidah, A.D., Daud, Y. & Usman, A. (2019). Reservoir Identification Based on Gravity Method at "aUN" Geothermal Field. *E3S Web of Conference*, 125. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912501>
- 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*, 16(40), 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 Letters*, 9(46), 4618–4627. <https://doi.org/10.1029/2019GL082521>
- Julius, A.M. & Susanti, R.C. (2015). Interpretasi Sesar Musi di Bengkulu Menggunakan Metode Second Vertical Derivative (SVD). *Buletin Balai Besar MKG Wilayah II*, 5(12).
- Muhammad, Y., Faisal, A., Yenny, A., Muzakir, Z., Abubakar, M. & Nazli, I. (2021). Continuity of Great Sumatran fault in the marine area revealed by 3D inversion of gravity data. *Jurnal Teknologi*, 1(83), 145–155. <https://doi.org/10.11113/jurnalteknologi.v83.14824>
- Nasution, N. (2018). Penentuan Daerah Potensial Geothermal dengan Menggunakan Metode Seismik di Madinah. *Laporan penelitian*. LP2M UIN, Medan.
- Natawidjaja, D. H. (2007). The Sumatran Fault Zone-From Source to Hazard. *Journal of Earthquake and Tsunami*, 1(1). <http://www.tectonics.caltech.edu/sumatra/sumatranfault.htm>
- Pohan, A. F., Sismanto, S., Nurcahya, B. E., Lewerissa, R., Koesuma, S., Saputro, S. P., Amukti, R., Saputra, H. & Adhi, M. A. (2023). Utilization and modeling of satellite gravity data for geohazard assessment in the Yogyakarta area of Java Island, Indonesia. *Kuwait Journal of Science*, 4(50), 499–511. <https://doi.org/10.1016/j.kjs.2023.05.016>
- 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/10.25077/jfu.12.4.598-607.2023>
- Syukri, M. (2020). *Pengantar Geofisika*. Syiah Kuala University Press.
- Titi, Y. L. A. (2016). Pemodelan 3-D Struktur Bawah Permukaan Pulau Flores dan Zona Sesar Belakang Busur Berdasarkan Analisis Data Gravitasi. *Tesis*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.