

Pemanfaatan *Fatiando a Terra* Untuk Analisis Data Gravitasi GGMplus Berbasis Pustaka Python

Utilization of Fatiando a Terra for GGMplus Gravity Data Analysis Based on Python Library

Tri Amelia¹, Bambang Sunardi², Mardiyanto², Setyoajie Prayoedhie²

¹Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta, Jl. Colombo No. 1, Caturtunggal, Depok, Sleman, 55281

²Stasiun Geofisika Kelas I Sleman, Jl. Wates Km. 8, Jitengan, Balecat, Gamping, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55295

INFO ARTIKEL

Naskah masuk : 5 Januari 2024
Naskah diperbaiki : 10 Januari 2024
Naskah diterima : 14 Januari 2024

Kata kunci:

Gravitasi
Python
Fatiando a Terra
anomali regional
anomali residual

Keywords:

Gravity
Python
Fatiando a Terra
regional anomaly
residual anomaly

*Email Korespondensi:

triamelia.2020@student.uny.ac.id

ABSTRAK

Metode gravitasi merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk studi geologi regional berdasarkan perbedaan densitas batuan akibat variasi medan gravitasi bumi. Data gravitasi tidak hanya didapatkan dengan data lapangan namun juga bisa menggunakan data satelit seperti GGMplus. Interpretasi data gravitasi pada penelitian ini berdasarkan hasil anomali regional dan anomali residual daerah penelitian. Sebelumnya data diolah menggunakan pustaka Python berupa *Verde*, *Harmonica*, *Boule*, dan *Pooch* dari *Fatiando a Terra*. Hasil pengolahan data gravitasi GGMplus menggunakan pustaka Python dari *Fatiando a Terra* menunjukkan nilai anomali regional berkisar antara 60 hingga 130 mGal sedangkan anomali residual bernilai antara -30 hingga 30 mGal. Sinkronisasi antara posisi nilai positif dan negatif dari anomali residual dengan titik koordinat sesar saling berimpit sehingga sesar di Daerah Istimewa Yogyakarta teridentifikasi.

ABSTRACT

The gravity method is one of the methods that can be used for regional geological studies according to differences in rock density due to variations in the Earth's gravitational field. Gravity data is not limited to field data but can also use satellite data such as GGMplus. The interpretation of gravity data in this paper is based on the results of regional anomalies and residual anomalies in the research area. Initially, the data was processed using the Python *Verde*, *Harmonica*, *Boule*, and *Pooch* libraries by *Fatiando a Terra*. The results of processing GGMplus gravity data using the Python library by *Fatiando a Terra* indicate regional anomaly values ranging from 60 to 130 mGal whereas the residual anomaly is between -30 to 30 mGal. Synchronization between the position of positive and negative values of the residual anomaly and the fault coordinates coincide so that the faults in the Special Region of Yogyakarta are identified.

© 2023 Jurnal Stasiun Geofisika Sleman

1. Pendahuluan

Tiga lempeng mayor di dunia berada di sekitar wilayah Indonesia yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Pasifik. Pertemuan antara ketiga lempeng tersebut menyebabkan penekanan pada lapisan bawah bumi sehingga Indonesia memiliki relief yang bervariasi, serta munculnya aktivitas tektonik dan vulkanik [1]. Tiga lempeng yang bertemu di Indonesia masih bergerak aktif satu sama lain. Pergerakan lempeng juga menciptakan struktur geologi lain seperti sesar, dan lipatan [2]. Daerah yang memiliki sesar merupakan daerah yang rawan gempa. Indonesia memiliki 295 sesar aktif yang sudah teridentifikasi dengan baik dan menjadi sumber gempa di Indonesia. Salah satu sesar aktif yang memberikan dampak besar adalah Sesar Opak yang berada di Daerah Istimewa Yogyakarta.

Salah satu metode untuk mengidentifikasi struktur bawah permukaan adalah metode gravitasi. Data anomali regional dan anomali residual harus didapatkan untuk interpretasi kondisi bawah permukaan dengan baik. Metode gravitasi merupakan salah satu metode geofisika yang dapat digunakan untuk mengukur variasi medan gravitasi bumi akibat adanya perbedaan parameter fisis densitas batuan [3]. Metode gravitasi diaplikasikan dalam eksplorasi hidrokarbon, estimasi massa deposit mineral, dan studi geologi regional.

Data gravitasi bisa diperoleh melalui data satelit GOCE dan GRACE dengan GGMplus [4]. Data gravitasi GGMplus berbentuk grid dan memiliki titik spasi antar titik ~ 221 m. Data gravitasi yang disediakan mencakup keseluruhan benua termasuk zona pesisir dalam ± 600 lintang dengan resolusi yang tinggi.

Untuk menggambarkan peristiwa geologi, setiap data yang didapatkan harus ditampilkan dalam bentuk gambar atau diagram sehingga data dapat divisualisasi dengan baik. Sebelum perangkat lunak pada komputer modern hadir, para geologist membuat plot secara manual dengan tangan sehingga perhitungan dan analisis data memerlukan waktu yang lebih lama. Teknologi yang semakin maju memberikan kemudahan bagi ahli geologi dalam hal pengolahan data misalnya penggunaan Python [5]. Python dianggap memiliki kemampuan visualisasi data, analisis numerik, dan sifat fleksibilitas yang baik. Dalam hal ini, peneliti menggunakan *Fatiando a Terra* sebagai salah satu *open source* pustaka Python untuk analisis data gravitasi.

Fatiando a Terra adalah proyek sebuah komunitas dengan tujuan untuk membangun perangkat Python sumber terbuka untuk geofisika. Pada tahun 2010, Leonardo Uieda mengembangkan pustaka Python tunggal bernama *Fatiando* sebagai bagian dari tesis PhD di Brazil. *Tools* yang tersedia dapat digunakan untuk memproses data spasial, pemodelan *forward* untuk gravitasi dan medan magnet, inversi geometri, serta perangkat untuk pengajaran akademik [6-8].

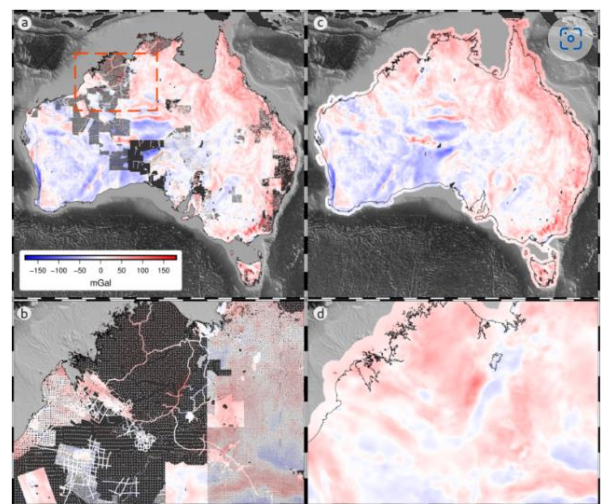
Modernisasi *tools* dilakukan pada tahun 2018 yang ditandai dengan adanya peralihan dari Python lama menjadi Python 3. Proyek ini membentuk pustaka yang lebih kecil dengan cakupan dan tujuan yang berbeda-beda. Pustaka yang digunakan untuk analisis metode gravitasi pada penelitian ini adalah *Verde*, *Harmonica*, *Boule*, *Pooch*, *Pygmt*, *Pyproj*, *Pandas*, *Xarray*, Dan *Netcdf*. Fungsi masing-masing pustaka Python tersebut adalah untuk interpolasi data geospasial, analisis potensial dan medan vektor gravitasi, memproses data gravimetri, mengelola dataset besar, membuat peta dan plot geospasial, transformasi koordinat geospasial, menganalisis data terstruktur, bekerja dalam format array multidimensi, serta membaca data dengan format netcdf. Contoh kasusnya pada *Harmonica* yang terdiri dari pendefinisian satu set sumber sintetis dan penyesuaian massa sehingga dihasilkan medan gravitasi yang sama dengan medan gravitasi yang teramati [9].

Fatiando a Terra dapat digunakan dalam berbagai aplikasi geofisika. Misalnya, menghitung medan gravitasi pada struktur besar dapat memberikan wawasan yang relevan untuk aplikasi geodinamik, seperti memvalidasi model numerik terhadap data gravitasi yang diamati, atau membalikkan kedalaman Moho dari data gravitasi satelit pada skala benua [10]. *Harmonica* menawarkan alat untuk menghitung medan gravitasi struktur skala besar menggunakan tesseroid, juga dikenal sebagai prisma bola, yang memperhitungkan kelengkungan bumi. Mereka juga berguna dalam langkah pemrosesan data, seperti menghilangkan efek gravitasi topografi, yang juga dikenal sebagai koreksi medan.

Harmonica menawarkan kelas untuk menginterpolasi data gravitasi dan magnetik melalui teknik sumber setara, sebuah metode yang mengandalkan non-keunikan medan potensial. Ini terdiri dari mendefinisikan sekumpulan

sumber sintetis dan menyesuaikan massanya sehingga menghasilkan medan gravitasi yang sama dengan medan gravitasi yang diamati. Setelah ditentukan, kita dapat menggunakannya untuk memprediksi bidang yang sama di lokasi mana pun yang tidak teramati. Sumber ekuivalen yang ditingkatkan gradien *Harmonica* mengatasi keterbatasan komputasi sumber ekuivalen klasik, memungkinkan interpolasi kumpulan data gravitasi dan magnetik yang sangat besar. Sebagai contoh dapat menghasilkan jaringan reguler yang berisi hampir 2 juta pengamatan gravitasi di Australia melalui komputer desktop (Gambar 1) [11].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui anomali regional dan anomali residual di Daerah Istimewa Yogyakarta berdasarkan pengolahan data *Fatiando a Terra* berbasis pustaka Python. Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah dapat memahami secara mendalam terkait pengolahan data gravitasi dengan menggunakan *Fatiando a Terra* berbasis pustaka Python, sehingga menemukan solusi dalam menyelesaikan masalah terkait pengolahan data gravitasi.



Gambar 1. Pengamatan (a-b) dan menginterpolasi (c-d) kumpulan data gravitasi besar di Australia. Interpolasi dilakukan melalui sumber setara yang ditingkatkan Gradien. Dimodifikasi dari Soler dan Uieda [11].

2. Metode Penelitian

Prinsip dasar metode gravitasi adalah Hukum Newton mengenai gaya tarik menarik antara dua partikel bermassa m_1 dan m_2 yang berbanding terbalik dengan jarak kuadrat massa namun sebanding dengan massa kedua partikel tersebut (Persamaan 1).

$$F = G \left(\frac{m_1 m_2}{R^2} \right) \quad (1)$$

dengan, F adalah nilai gaya, konstanta gravitasi (G) = $6,67 \times 10^{-11} N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}$, $m_1 m_2$ adalah hasil kali massa benda; R adalah jarak antar massa.

Besaran fisis yang terukur dalam metode gravitasi adalah percepatan gravitasi. Besar percepatan gravitasi dari m_1 adalah gaya per satuan massa (m_2) sehingga dapat dinyatakan pada persamaan 2.

$$\frac{F}{m_2} = G \left(\frac{m_1}{R^2} \right) \quad (2)$$

Dalam Hukum II Newton dinyatakan bahwa besar gaya sebanding dengan sebanding dengan hasil kali percepatan gravitasi yang dialami dengan massa benda. Oleh karena itu, hubungan antara gaya dengan percepatan gravitasi dinyatakan pada persamaan 3.

$$F = m \cdot g \text{ sehingga, } g = \frac{F}{m} \quad (3)$$

sehingga persamaan 2 dapat dituliskan kembali seperti pada persamaan 4.

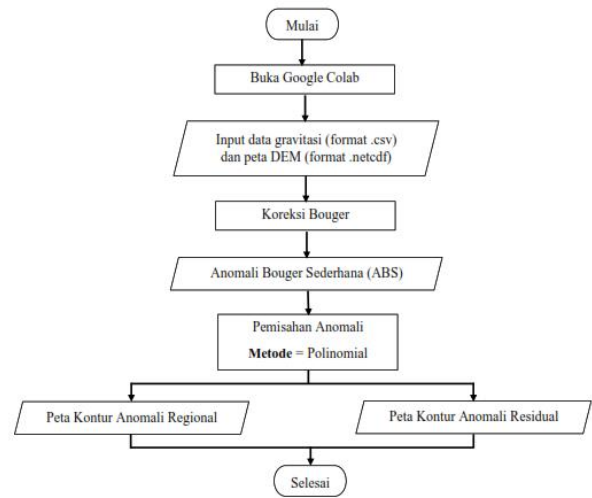
$$g = G \left(\frac{m_1}{R^2} \right) \quad (4)$$

dengan, g adalah percepatan gaya tarik bumi; konstanta gravitasi ($G = 6,67 \times 10^{-11} N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}$), m_1 adalah massa benda, R adalah jarak antar massa [12].

Dalam penelitian ini, data gravitasi yang dibutuhkan adalah *gravity disturbance* GGMplus. Data dengan luas $5^\circ \times 5^\circ$ dan koordinat geografi (*longitude/latitude*) ini harus diekstrak kemudian dikonversi menggunakan Matlab. Data *Digital Elevation Model* (DEM) juga harus diunduh sesuai dengan luas daerah penelitian dan disimpan dalam format *Network Common Data Format* (NetCDF).

Sebelum memulai pengolahan data, perangkat lunak perlu dipersiapkan dengan menginstal modul-modul Python yang berasal dari komunitas *Fatiando a Terra*. Analisis gravitasi dimulai dengan koreksi *free air*, kemudian koreksi bouger yang bertujuan untuk menghilangkan efek ketinggian terhadap medan gravitasi bumi tanpa mengabaikan massa di bawahnya. Sebab koreksi ini tidak memperhitungkan bukit dan lembah, maka koreksi terrain dilakukan. Perbedaan nilai gravitasi antara daerah penelitian yang sudah dikenai koreksi terrain dengan koreksi Bouger disebut Anomali Bouger Lengkap [13].

Target penelitian ini adalah anomali regional dan anomali residual daerah penelitian sehingga pemisahan anomali perlu dilakukan. Metode polinomial digunakan sebagai metode untuk pemisahan anomali dimana anomali regional yang dihasilkan lebih halus berdasarkan ordenya [14]. Anomali regional menggambarkan kondisi geologi secara umum sedangkan anomali residual menggambarkan kondisi geologi lokal daerah penelitian. Gambar 2 menunjukkan diagram alir penelitian.



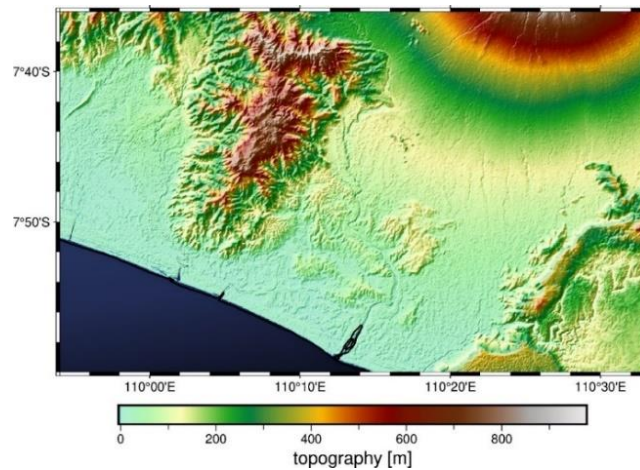
Gambar 2. Diagram alir penelitian.

3. Hasil Dan Pembahasan

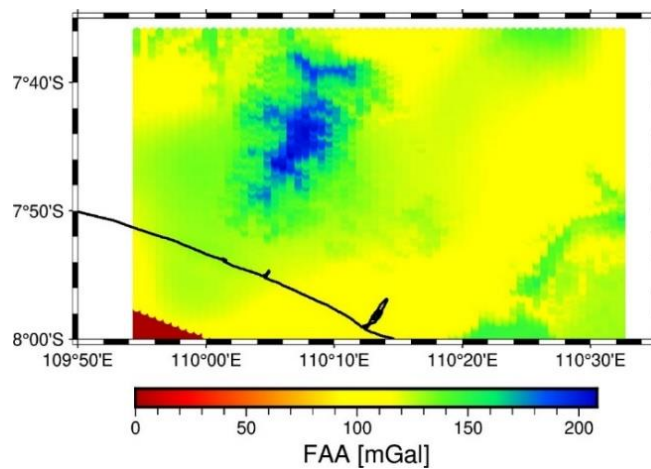
Daerah penelitian berada pada koordinat $7^\circ 60'$ dan $8^\circ 00'$ Lintang Selatan serta antara $109^\circ 90'$ dan $110^\circ 55'$ Bujur Timur. Daerah penelitian memiliki ketinggian antara 50 m sampai 800 m di atas permukaan laut (Gambar 3). Selain Gunung Merapi, terdapat beberapa gunung api purba di antaranya Gunung Kukusan, Gunung Salam, Gunung Kemlahan, Gunung Pongangan, dan Gunung Konir.

Berdasarkan Gambar 4, nilai *gravity disturbance* data GGMplus didefinisikan sebagai *free air anomaly* dengan rentang 80 hingga 200 mGal. Nilai anomali dipresentasikan dengan warna merah sampai dengan biru. Topografi daerah penelitian masih mempengaruhi nilai *free air anomaly* sehingga koreksi Bouger diperlukan untuk menghilangkan efek ketinggian tanpa mengabaikan keberadaan massa [15]. Daerah penelitian memiliki nilai Anomali Bouger Sederhana dengan rentang 40 hingga 130 mGal yang ditunjukkan pada Gambar 5.

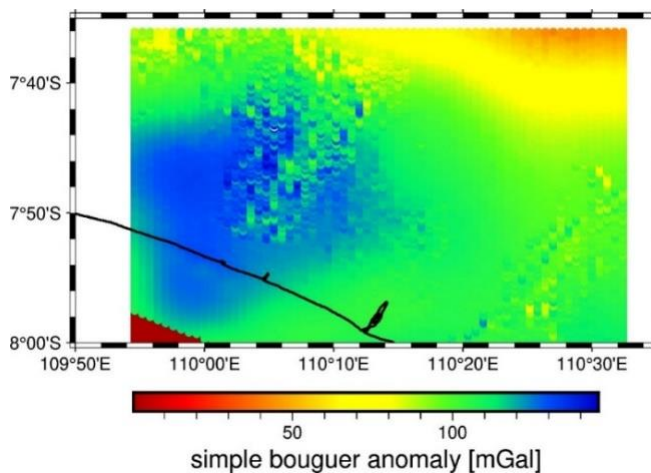
Anomali Bouger merupakan gabungan antara anomali regional dan anomali residual. Interpretasi data belum dapat dilakukan hanya dengan anomali bouger yang diperoleh [16]. Oleh karena itu, tahapan pemisahan anomali dilakukan dengan menggunakan metode polinomial. Gambar 6 menunjukkan perbedaan nilai gravitasi atau sebaran anomali secara regional. Nilai anomali regional berkisar antara nilai 60 hingga 130 mGal. Pembelokan kontur terlihat pada bagian timur laut hingga tenggara. Struktur kerapatan dan pembelokan kontur dapat diidentifikasi bahwa adanya perbedaan densitas batuan, ketinggian topografi, dan formasi sesar di bawah permukaan daerah penelitian.



Gambar 3. Peta Topografi daerah penelitian.



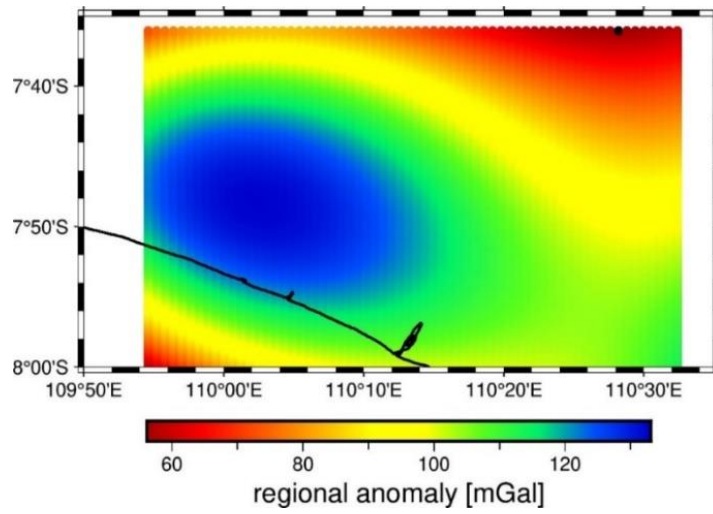
Gambar 4. Peta kontur *free air anomaly* GGMplus.



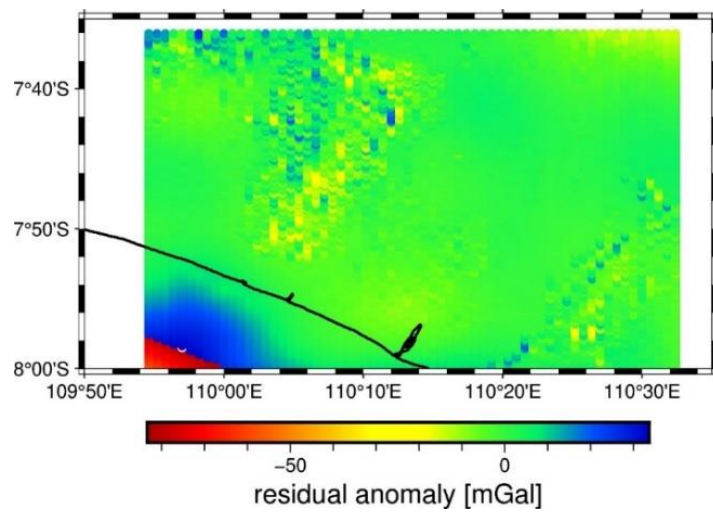
Gambar 5. Peta kontur Anomali Bouger Sederhana (ABS).

Anomali residual merupakan anomali yang tersisa setelah pengaruh anomali regional dihilangkan. Anomali ini memiliki sebaran anomali daerah penelitian dengan cakupan yang lebih kecil atau lokal. Hasil kontur pada Gambar 7 menunjukkan bahwa nilai anomali residual berkisar antara -30 hingga 30 mGal. Di bagian barat hingga barat laut, anomali residual yang bernilai positif dan negatif berada pada lokasi yang sama. Adapun bagian

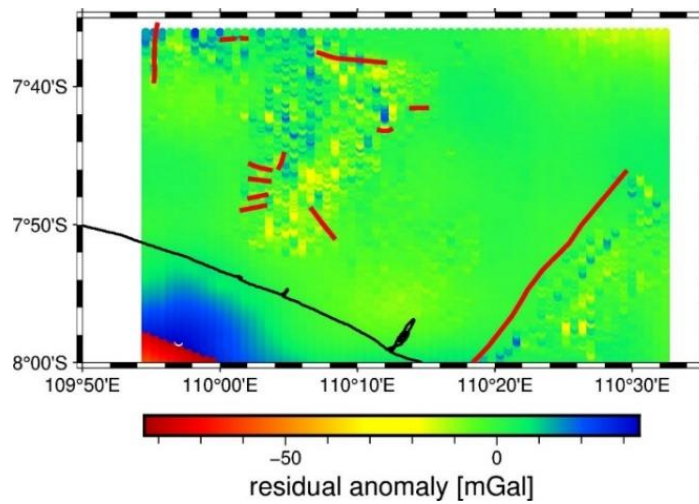
tenggara daerah penelitian menunjukkan kasus yang sama. Sinkronisasi dilakukan dengan menambahkan titik koordinat dari beberapa sesar yang telah teridentifikasi di Daerah Istimewa Yogyakarta. Hasil anomali residual di *overlay* dengan titik koordinat sesar di Daerah Istimewa Yogyakarta menunjukkan bahwa lokasi titik koordinat sesar berimpit dengan sebaran anomali residual yang bernilai positif dan negatif tersebut (Gambar 8).



Gambar 6. Peta kontur anomali regional.



Gambar 7. Peta kontur anomali residual.



Gambar 8. Peta kontur anomali residual di *overlay* dengan titik koordinat sesar di Daerah Istimewa Yogyakarta.

Sesar Opak ditunjukkan pada bagian tenggara sedangkan beberapa sesar mikro ada di bagian barat hingga barat laut daerah penelitian. *Fatiando a Terra* berbasis pustaka Python dapat menggambarkan kondisi bawah permukaan suatu wilayah dengan mengolah data gravitasi sampai dengan anomali regional dan anomali residual.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data gravitasi GGMplus menggunakan pustaka Python dari *Fatiando a Terra* didapatkan nilai anomali regional berkisar antara 60 hingga 130 mGal dan anomali residual bernilai antara -30 hingga 30 mGal. Sinkronisasi antara posisi nilai positif dan negatif anomali dengan titik koordinat sesar saling berimpit sehingga sesar di Daerah Istimewa Yogyakarta teridentifikasi.

Saran

Penelitian ini dapat ditindaklanjuti dengan menggunakan teknik analisis data seperti *Second Vertical Derivative* (SVD) dan *First Horizontal Derivative* (FHD) sehingga kondisi bawah permukaan dapat teridentifikasi dengan lebih baik.

Ucapan Terimakasih

Terimakasih kepada Bapak Denny Darmawan yang telah memberikan pengarahan selama penulisan hasil penelitian, dan terima kasih juga kepada Stasiun Geofisika Sleman yang telah memberikan tempat untuk penelitian.

Daftar Pustaka

- [1] Hermon, D. D., "Geografi Bencana Alam," Jakarta: Rajawali Pers, 2015.
- [2] Lubis, A. M., "Telaah Ulang Pergerakan Lempeng Tektonik Indo-Australia Dengan Menggunakan Data GPS Tahun 1994-2016," *Journal Online of Physics*, 5(2), 12–16, 2020.
- [3] Reynolds, J., "An Introduction to Applied and Environmental Geophysics," Chichester: John Wiley & Sons, 1997.
- [4] Sudrajad, B., "Analisis Deskriptif Perbandingan Data Sekunder Gravitasi GGMplus Terhadap Data Gravitasi Lapangan Panas Bumi Gunung Lawu dan Data Gravitasi Stasiun Referensi (Gravity Base Station) di Pulau Papua," *Jurnal Fisika Papua*, Vol. 2, No. 1, pp. 25-34, 2023.
- [5] De la Varga, M., Schaaf, A., dan Wellmann, F., "GemPy 1.0: Open-source stochastic geological modeling and inversion," *Geoscientific Model Development*, Vol. 12, pp. 1-32, 2018.
- [6] Heagy, L. J., Soler, S., "Fatiando a Terra: Open-source tools for geophysics," *Fatiando a Terra*, 2023.
- [7] Fatiando a Terra. Internet: <https://www.fatiando.org/>, Diakses 5 Desember 2023.
- [8] Fatiando a Terra: a journey into open-source software for Geophysics. Internet: <https://blogs.egu.eu/divisions/gd/2023/07/19/fatiando-a-terra/>, Diakses 5 Desember 2023.
- [9] Uieda, L., Oliveira, V. C., Barbosa, V., "Modeling the Earth with Fatiando a Terra," *Scipy*, 2013.
- [10] Uieda, L., & Barbosa V., "Fast Nonlinear Gravity Inversion in Spherical Coordinates with Application to the South American Moho," *Geophysical Journal International* 208 (1): 162–76, 2016.
- [11] Soler, S. R., and Uieda L., "Gradient-Boosted Equivalent Sources," *Geophysical Journal International*, 227 (3), 1768–83, 2021.
- [12] MacDougall, D. W., "Newton's Gravity: An Introductory Guide to the Mechanics of the Universe," New York: Springer, 2012.
- [13] Maulana, A. D., Prasetyo, D. A., "Analisa Matematis Pada Koreksi Bouguer Dan Koreksi Medan Data Gravitasi Satelit," *Jurnal Geosaintek*, Vol. 5, No. 3, pp. 91-100, 2019.
- [14] Purnomo, J., Koesuma, S., Yunianto, M., "Pemisahan Anomali Regional-Residual pada Metode Gravitasi Menggunakan Metode Moving Average, Polynomial dan Inversion," *Indonesian Journal of Applied Physics*, Vol. 3, No. 1, p. 10, 2013
- [15] Laatifah, "Analisis Euler Deconvolution Untuk Mengidentifikasi Patahan Lembang Berdasarkan Data Gravitasi GGMPlus," Universitas Negeri Yogyakarta, 2022.
- [16] Aisy, S. R., "Identifikasi Batas Anomali & Estimasi Kedalaman Basement Dengan Metode Euler Deconvolution Pada Data Gaya Berat Di Cekungan Sumatera Tengah," Universitas Pertamina, 2020.