

Identifikasi Struktur Geologi Daerah Panas Bumi Way Panas Kecamatan Wonosobo Menggunakan Analisis *First Horizontal Derivative* dan *Second Vertical Derivative* Berdasarkan data Gaya Berat GGMPPLUS

Ayu Safira^{1*}, Muhammad Saipuddin², Zidane Anung Andita³, Karyanto⁴, Rahmat Catur W⁵, Iham Dani⁶

^{1,2,3} Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia.

DOI: 10.29303/goescienceed.v5i1.240

Article Info

Received: 07 January 2024

Revised: 05 February 2024

Accepted: 28 February 2024

Correspondence:

Phone:

Abstract: Indonesia has great potential of geothermal energy. The Way Panas Geothermal Field, Tanggamus, Lampung, is one of the areas in Indonesia that has geothermal potential to be developed. The method used in this research is the Gravity method which aims to estimate the depth of regional anomaly zones and residual anomalies in the research area and identify subsurface geological structures using First Horizontal Derivative (FHD) and Second Vertical Derivative (SVD) analysis of gravity data. The gravity data used in this research is GGMPplus data. Based on the processing results, it was found that regional anomaly values in the research area ranged from 30 to 92 mGal, while residual anomalies in the research area had values ranging from -20 to 14 mGal. High anomalies are in zones composed of volcanic rock products from Mount Karua. The estimated depth of the regional zone in the research area is 2834.3 meters and the depth of the residual zone is 378.06 meters. Then, based on the second vertical derivative (SVD) analysis, the results showed that the geological structure developing in this area is in the Southeast - Northwest and Southwest - Northeast directions, and the SVD structural pattern has a fairly good correlation with the geological structure on the geological map of the research area.

Keywords: Geothermal, Gravity Anomaly, Gravity Method, Derivative Analysis, Geological Structure

Abstrak: Indonesia memiliki potensi energi panas bumi yang melimpah. Daerah Panas Bumi Way Panas, Tanggamus, Lampung, merupakan salah satu daerah di Indonesia yang memiliki potensi panas bumi untuk dikembangkan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Gravity* yang bertujuan untuk mengestimasi kedalaman zona anomali regional dan anomali residual daerah penelitian serta mengidentifikasi struktur geologi bawah permukaan menggunakan analisis *First Horizontal Derivative (FHD)* dan *Second Vertical Derivative (SVD)* data gaya berat. Data gaya berat yang digunakan pada penelitian kali ini adalah data GGMPplus. Berdasarkan hasil pengolahan didapatkan nilai anomali regional daerah penelitian memiliki rentang nilai berkisar antara 30 sampai 92 mGal, sedangkan anomali residual daerah penelitian memiliki rentang nilai berkisar antara -20 sampai 14 mGal. Anomali tinggi berada pada zona-zona yang tersusun oleh batuan produk dari vulkanik Gunung Karua. Estimasi kedalaman zona regional daerah penelitian sebesar 2834.3 meter dan kedalaman zona residual sebesar 378.06 meter. Lalu berdasarkan analisis second vertical derivative (SVD) didapatkan hasil jika struktur geologi yang berkembang di daerah ini berarah Tenggara - Barat laut dan Barat daya - Timur Laut, serta

Email: muhammadsaipuddin49@gmail.com

pola struktur SVD memiliki korelasi yang cukup baik dengan struktur geologi yang ada pada peta geologi daerah penelitian.

KataKunci: Geothermal, Gravity Anomaly, Gravity Method, Derivative Analysis, Geological Structure

Citation: Safira, A., Saipuddin, M., Andita, Z., A. (2024). Identifikasi Struktur Geologi Daerah Panas Bumi Way Panas Kecamatan Wonosobo Menggunakan Analisis *First Horizontal Derivative* dan *Second Vertical Derivative* Berdasarkan data Gaya Berat GGMPPLUS. *Jurnal Pendidikan, Sains, Geologi, dan Geofisika (GeoScienceEd)*, 5(1), 28-35. doi: 10.29303/goescienceed.v5i1.240

Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Salah satu daerah di Lampung yang memiliki potensi geothermal berada di desa Way Panas yang mana ditandai dengan adanya manifestasi permukaan termal yang melimpah, termasuk sumber air panas, fumarol, pelepasan gas, pot lumpur, tempat beruap, dan batuan yang mengalami perubahan. Way Panas terletak di bagian selatan Lapangan Panas Bumi Ulubelu, yang juga dikenal sebagai sistem panas bumi Rindingan-Ulubelu-Way Panas (RUW) (Suharno, 2003). Kawasan ini terletak di Provinsi Lampung, di ujung tenggara Pulau Sumatera, berbatasan dengan Teluk Semangko. Perkembangan Way Panas sangat dipengaruhi oleh sejarah tektonik Sesar Sumatera. Penelitian geofisika menunjukkan bahwa sistem RUW berkembang dalam struktur graben yang tersembunyi, seperti yang dijelaskan oleh Daud dkk. (2000). Hal ini diartikan bahwa Way Panas berperan sebagai zona keluarnya sistem RUW (Husein dkk., 2015).

Kawasan ini merupakan tempat penumpukan endapan di sepanjang ujung Sesar Sumatera yang dikenal sebagai zona retakan Semangko (van Bemmelen, 1949) atau segmen Sesar Semangko (Sih & Natawidjaja, 2000). Keberadaan retakan ini terjadi dengan kecepatan sekitar 6-7 mm/tahun (Bellier dkk., 1999; Pramumijoyo, 2008). Segmen Semangko membentang sepanjang 65 km, mulai dari cekungan Suoh di barat laut hingga Teluk Semangko di tenggara (Sih & Natawidjaja, 2000). Lereng segmen Semangko yang menghadap ke timur laut menunjukkan bahwa sesar ini bersifat normal, dengan blok timur laut sebagai bagian yang turun. Berdasarkan penelitian struktur mikro, Pramumijoyo (2008) menyatakan bahwa segmen ini telah mengalami evolusi akibat tekanan dari arah utara-selatan sebelum 5 juta tahun yang lalu, lalu digantikan oleh perluasan dari arah timur laut-barat daya hingga 1 juta tahun yang lalu, sebelum akhirnya diperpanjang ke arah timur-barat hingga saat ini.

Pemanfaatan potensi besar seperti energi panas bumi dapat dioptimalkan melalui eksplorasi yang dilakukan secara berkelanjutan dan konsisten. Eksplorasi, baik

pada tahap awal maupun lanjutan, dapat memanfaatkan berbagai metode geologi, geofisika, dan geokimia. Salah satu metode geofisika yang umum digunakan untuk menggambarkan struktur geologi di bawah permukaan adalah metode gravitasi. Metode ini dapat mengalami berbagai proses pengolahan data lanjutan, menghasilkan parameter yang mendukung interpretasi yang lebih baik. Penerapan metode gravitasi sering digunakan dalam penelitian struktur geologi, batuan dasar, intrusi batuan, dan cekungan sedimen dengan memanfaatkan variasi medan gravitasi bumi yang disebabkan oleh perbedaan densitas lateral, yang dikenal sebagai anomali gravitasi (Sarkowi, 2014).

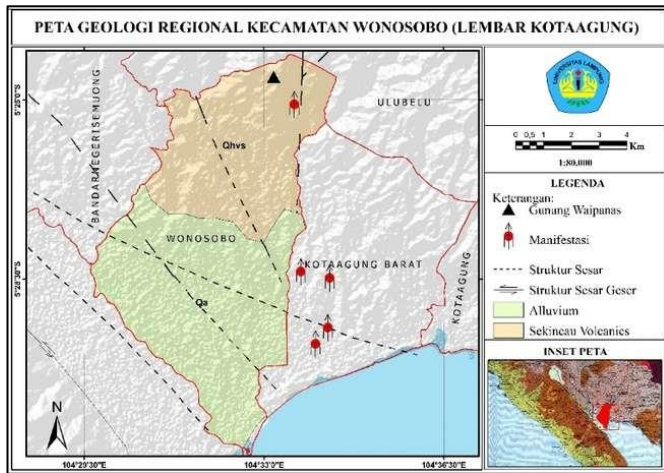
Metode *gravity* didasarkan pada perbedaan medan gravitasi yang disebabkan oleh variasi densitas massa batuan di dalam bumi. Metode ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik *geothermal* suatu wilayah panas bumi. Data yang diperoleh dari metode *gravity* ini berguna untuk mengungkap struktur geologi di bawah permukaan yang memiliki potensi energi panas bumi di daerah penelitian (Telford dkk., 1988).

Banyak metode yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi zona struktur sesar tersebut diantaranya dengan melakukan analisis gradien horizontal data gaya berat seperti yang telah dibahas oleh Setyawan, dkk. (2015) dan Kusumah dkk. (2015). Pendekatan metode geofisika menggunakan gayaberat adalah cara untuk mengidentifikasi struktur di bawah permukaan dengan memperhatikan variasi rapat massa batuan di dalamnya (Duprat, 1985). Metode ini sangat responsif terhadap perubahan vertikal, sehingga cocok digunakan untuk mengkaji kontak intrusi, batuan dasar, dan struktur geologi secara umum (Sarkowi, 2010). Dengan berbagai aktivitas tektonik yang terjadi pada daerah Way Panas, maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut yang mana untuk mengetahui struktur daerah penelitian. Salah satu metode dalam geofisika yang dapat diterapkan yaitu metode gaya berat (*gravity*).

1.2 Geologi Regional

Pada daerah penelitian yaitu Kecamatan Wonosobo terletak dalam Lembar Geologi Kotaagung, yang

merupakan bagian ujung selatan Sumatera. Wilayah selatan daerah penelitian dibatasi oleh Kecamatan Semaka, wilayah timur dibatasi oleh Kotaagung Barat, wilayah barat dibatasi oleh Bandar Negeri Semuong, kemudian bagian utara dibatasi oleh Kecamatan Ulubelu.

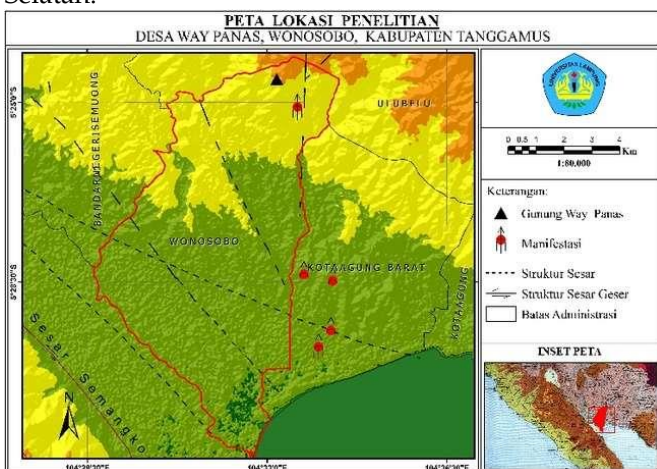


Gambar 1. Peta geologi regional Kecamatan Wonosobo

Berdasarkan peta geologi yang ditunjukkan pada Gambar 1 tersebut menunjukan bahwa daerah penelitian disusun oleh Formasi Alluvium (Qa) dan Formasi Sekincau Volcanics (Qhvs). Pada Formasi Alluvium (Qa) terdiri dari satuan batuan kerakal, bongkah, kerikil, lempung, pasir, lanau, dan lumpur. Kemudian, pada Formasi Sekincau Volcanics (Qhvs) terdiri dari satuan batuan lava, breksi, dan tuff bersusun andesit-basal.

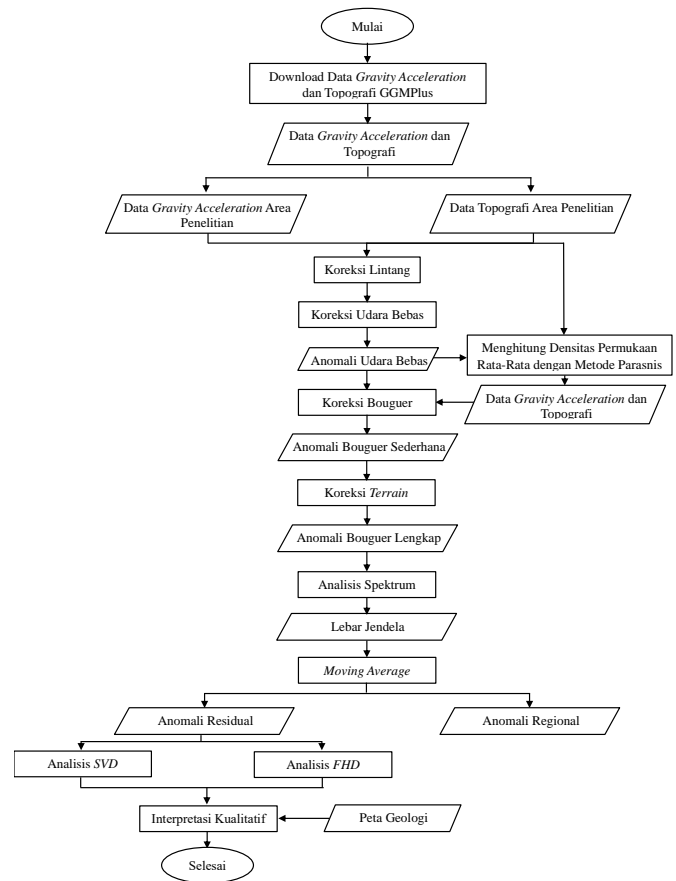
Metode

Pada penelitian ini menggunakan data gravitasi satelit GGMplus Daerah Way Panas yang berada di Kecamatan Wonosobo, Kabupaten Tanggamus, Lampung. Daerah penelitian mencakupi secara geografis Kabupaten Tanggamus terletak pada posisi 104°28' - 104°37' Bujur Timur dan 5°32' - 5°23' Lintang Selatan.



Gambar 2. Peta Lokasi Penelitian

Metode yang diimplementasikan dalam penelitian ini adalah metode gaya berat, yang menggunakan variasi sebaran densitas batuan di bawah permukaan sebagai dasar untuk merekonstruksi struktur geologi yang tersembunyi di dalamnya (Yusuf, 2011). Ketidakteraturan kontras densitas yang teramati mencerminkan adanya variasi jenis struktur geologi pada lapisan bawah permukaan tersebut (Imam, 2014).



Gambar 3. Diagram Alir

Awal penelitian dilakukan dengan mencari literasi-literasi seputar daerah penelitian. Kemudian pengumpulan data dilakukan dengan mengambil data dari web GGMplus. Data yang diperoleh berupa gravitasi observasi yang kemudian diolah untuk menghasilkan Complete Bouguer Anomaly (CBA). Setelah didapatkan CBA, Langkah selanjutnya membuat peta kontur CBA menggunakan software Surfer 13 dan dilakukan pemisahan anomali regional, residual. Pemisahan anomali regional dilakukan menggunakan filter moving average di software surfer dengan memasukkan nilai lebar jendela yang diperoleh dari analisis spectral. Dan untuk menghasilkan anomali

residual dilakukan dengan mengurangi ABL dan anomali regional.

Untuk mendapatkan batas kontak batuan dapat diperoleh melalui metode *First Horizontal Derivative* (FHD). FHD merupakan hasil dari menambahkan kuadrat turunan pertama dari anomali gravitasi terhadap sumbu X dan Y (Rosid & Siregar, 2017). Pendekatan FHD ini membantu mengidentifikasi batas-batas struktur geologi dengan fokus pada nilai maksimum atau minimum dari FHD (Daud dkk., 2019).

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

Sedangkan untuk mendapatkan struktur geologi patahan digunakan metode *Second Vertical Derivative* (SVD) yang ditandai dengan adanya nilai nol (0) untuk struktur patahan. Besarnya nilai pada metode SVD dapat di jelaskan pada persamaan Laplace:

$$\nabla^2(\Delta g) = 0$$

$$\nabla^2(\Delta g) = \frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial z^2}$$

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

Metode SVD pada penelitian ini dilakukan menggunakan filter operasi matriks Henderson, dengan alasan karena hasil dari filter tersebut yang paling mendekati kontur anomali residual.

Tabel 1. Filter Matriks Henderson & Zietz 1949

Filter SVD Tipe Henderson & Zietz tahun 1949				
0.0000	0.0000	-0.0838	0.0000	0.0000
0.0000	1.0000	-2.6667	1.0000	0.0000
-0.0838	-2.6667	17.0000	-2.6667	-0.0838
0.0000	1.0000	-2.6667	1.0000	0.0000
0.0000	0.0000	-0.0838	0.0000	0.0000

Patahan normal dapat dikenali melalui perbedaan nilai maksimum SVD, di mana nilai maksimumnya lebih besar daripada nilai minimumnya. Sebaliknya, patahan naik dapat diidentifikasi ketika nilai maksimum SVD lebih kecil dibandingkan dengan nilai minimumnya (Fitriani dkk., 2020; Sumintadireja dkk., 2018).

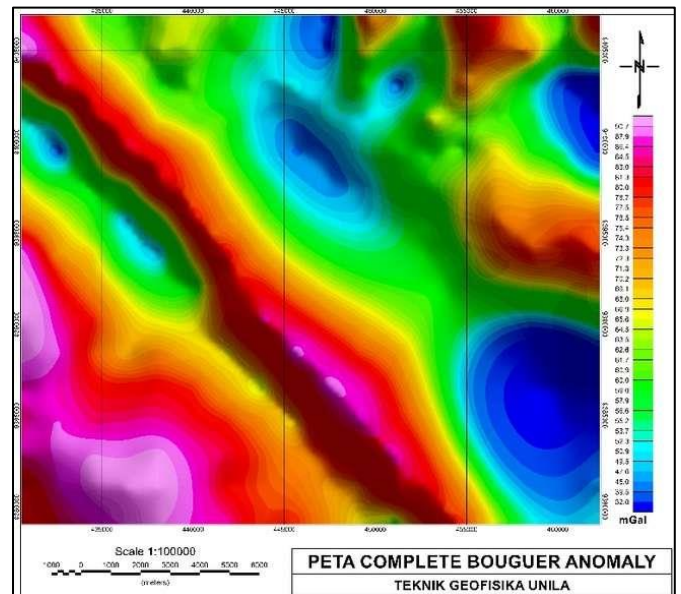
$$\left(\frac{\partial^2 g}{\partial z^2}\right)_{maks} > \left|\left(\frac{\partial^2 g}{\partial z^2}\right)\right|_{min} \quad \text{Patahan Normal}$$

$$\left(\frac{\partial^2 g}{\partial z^2}\right)_{maks} < \left|\left(\frac{\partial^2 g}{\partial z^2}\right)\right|_{min} \quad \text{Patahan Naik}$$

$$\left(\frac{\partial^2 g}{\partial z^2}\right)_{maks} \approx \left|\left(\frac{\partial^2 g}{\partial z^2}\right)\right|_{min} \quad \text{Patahan Mendatar}$$

Hasil dan Pembahasan

Hasil dari pengolahan data didapatkan peta CBA yang bisa dilihat pada **Gambar 4** menampilkan rentang anomali 90.7-32 mGal dengan rentang warna merah hingga biru. Anomali tinggi ditandai dengan warna merah muda hingga jingga yang mempunyai nilai berkisar 90.7-69.1 mGal dari arah tenggara yang memanjang ke arah barat laut dan menyebar di arah Tenggara. Anomali sedang ditandai dengan warna kuning hingga hijau yang mempunyai nilai berkisar 68-53.7 mGal mengelilingi anomali tinggi yang berada di tengah-tengah peta anomali yang menyebar hingga ke arah timur laut. Anomali rendah ditandai dengan warna biru yang mempunyai nilai berkisar 52.3-32 mGal yang menyebar ke arah tenggara dan utara.



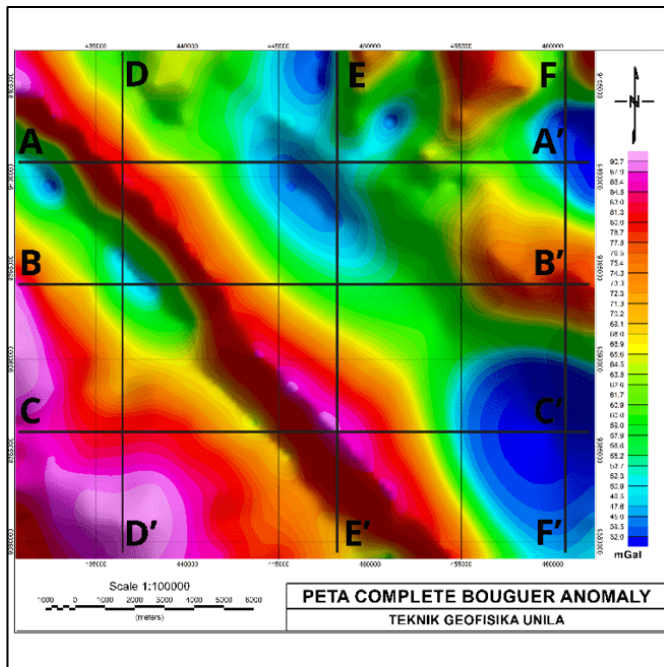
Gambar 4. Peta Complete Bouguer Anomaly (CBA)

Analisis spektral dilakukan untuk mengestimasi lebar jendela serta menghitung nilai estimasi kedalaman anomali gaya berat. Proses analisis spektral ini melibatkan transformasi fourier dari lintasan yang telah ditentukan sebelumnya pada peta kontur Anomali Bouguer Lengkap atau CBA **Gambar 5**.

Pada peta Anomali Bouguer Lengkap atau CBA daerah penelitian, penulis membuat lintasan sebanyak 6 lintasan, yaitu lintasan A-A' sampai dengan F-F' **Gambar 5**. Banyaknya lintasan digunakan untuk mewakili nilai anomali pada daerah penelitian yang akan ditransformasi Fourier, oleh karena itu semakin banyak lintasan, maka akan diperoleh hasil yang semakin baik. Dalam setiap profil lintasan, dilakukan

proses digitasi dengan tujuan mengubah data analog ke dalam bentuk digital. *Output* dari proses digitasi ini selanjutnya diproses menggunakan perangkat lunak seperti *Numeri* dan *Ms. Excel*.

pada lintasan setiap lintasan A-A' sampai F-F'. Dari grafik tersebut akan diperoleh dua gradient garis yang menampilkan dua kedalaman, yaitu regional dan residual. Grafik yang menunjukkan frekuensi rendah mengindikasikan kedalaman yang lebih dalam (regional). Sedangkan, grafik yang memiliki frekuensi tinggi mengindikasikan kedalaman yang lebih dangkal atau dikenal sebagai (residual). Perpotongan antara kedua gradient tersebut inilah yang dikatakan sebagai bilangan gelombang kc (*cutoff*). Bertikut **Tabel 2** menampilkan hasil analisis spektrum yang telah dilakukan.

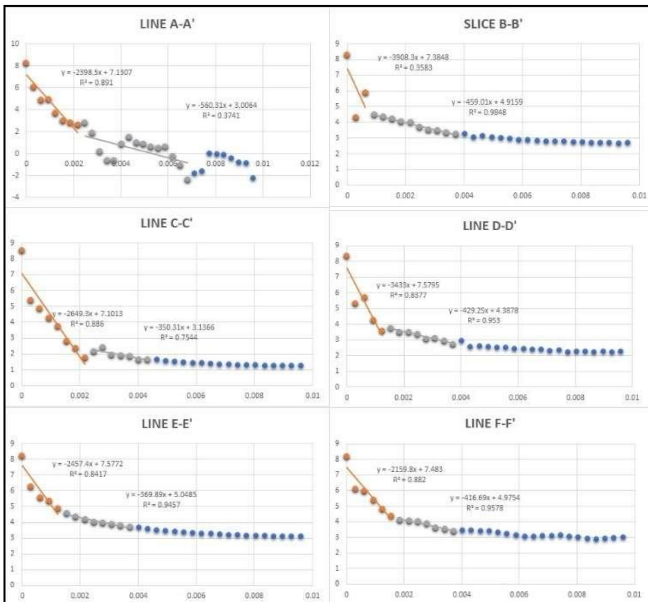


Gambar 5. Enam sayatan lintasan pada peta CBA

Tabel 2. Hasil analisis spektrum

Lintasan	N	K Regional	K Residual	K Cut Off
A-A'	8.834068	2398.5	560.31	0.00224367
B-B'	27.69152	3908.3	459.01	0.00071577
C-C'	11.49337	2649.3	350.31	0.00172454
D-D'	18.65359	3433	429.25	0.00106257
E-E'	16.36258	2457.4	369.89	0.00121135
F-F'	13.77803	2159.8	416.69	0.00143858
Rata-rata	16.13553	2834.383333	430.91	0.00139941

Dari hasil analisis spektrum yang telah dilakukan diperoleh nilai rata-rata bilangan gelombang (*cutoff*) adalah sebesar 0.00139941 atau 0.0014. Dari hasil perataan didapatkan nilai lebar jendela sebesar 16.13553, lalu dengan melakukan pembulatan keatas maka nilai lebar jendela yang digunakan untuk pemisahan anomali regional dan residual sebesar 17.

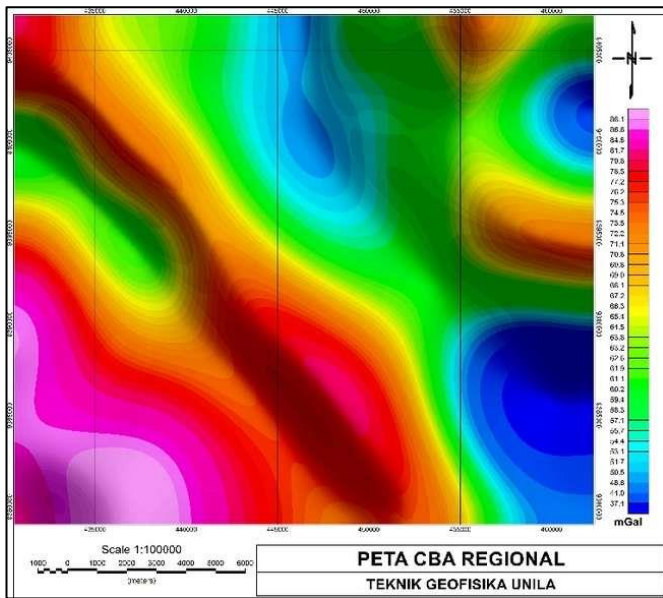


Gambar 6. Grafik Analisis Spektrum pada enam Lintasan peta Complete Bouguer Anomaly (CBA)

Nilai lebar jendela yang diperoleh dari analisis spektrum digunakan sebagai nilai *input* untuk *filter moving average* dalam memisahkan anomali regional dan residual melalui perangkat lunak *Surfer*. Proses *moving average* melibatkan pengukuran rata-rata nilai anomali, dan filter ini memiliki karakteristik *lowpass*, yang berarti proses ini meloloskan nilai frekuensi rendah sementara menghilangkan data dengan frekuensi tinggi. Hasilnya adalah nilai anomali regional sebagai *output* dari filter *moving average* ini.

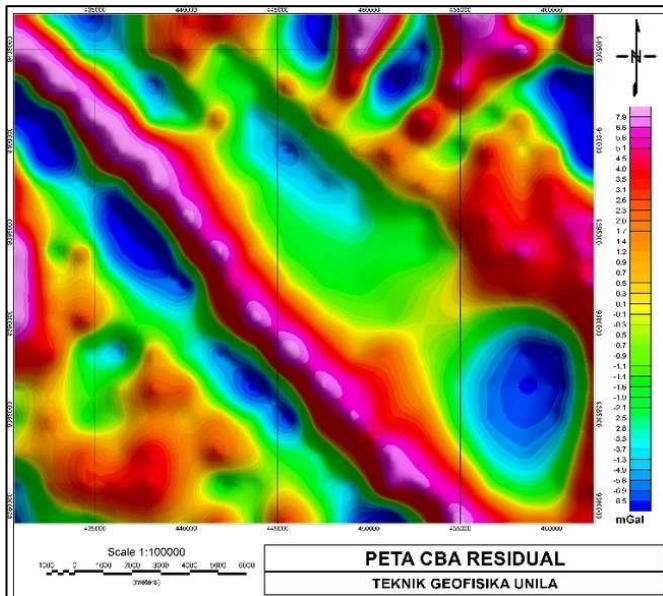
Dalam analisis spektral, dapat dinyatakan sebagai frekuensi rendah berasal dari sumber dangkal dan frekuensi tinggi berasal dari sumber dalam. Gambar di atas **Gambar 6**, menunjukkan grafik hubungan antara amplitudo ($\ln A$) terhadap bilangan gelombang (k)

Anomali regional merupakan anomali dalam, yaitu anomali yang bersumber dari bagian dalam bumi contohnya adalah kerak bumi, anomali ini dicirikan dengan frekuensi rendah. Gradasi warna pada peta menunjukkan variasi nilai anomali yang terdapat pada daerah penelitian. Pada anomali regional **Gambar 7**, daerah penelitian memiliki rentang nilai mulai dari 37.4 sampai 88.1 mGal. Daerah dengan anomali rendah memiliki rentang nilai -37.4 sampai 54.4 mGal, yang ditunjukkan dengan skala warna biru tua hingga biru muda. Anomali sedang memiliki rentang nilai 55.7 sampai 65.4 mGal yang ditunjukkan dengan warna hijau tua sampai hijau muda. Kemudian, untuk anomali tinggi memiliki rentang nilai 66.3 sampai 88.1 mGal ditunjukkan oleh skala warna kuning sampai merah muda.



Gambar 7. Peta anomali regional

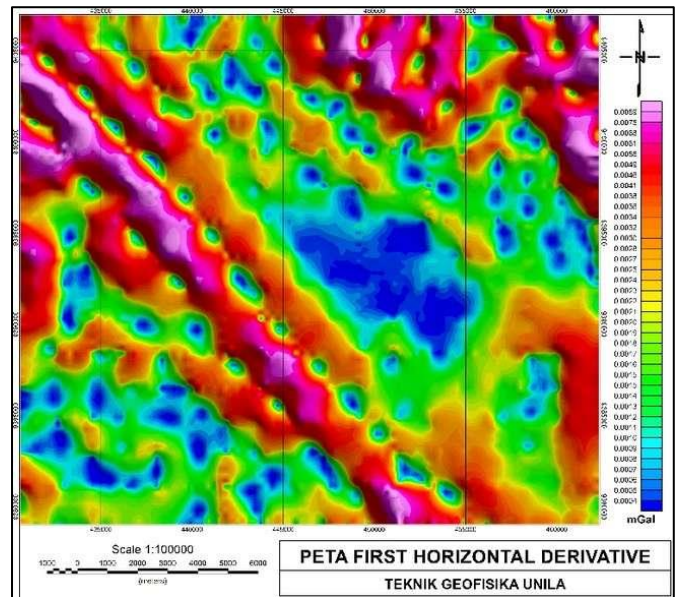
Pada peta anomali residual memperlihatkan pola anomali yang lebih kompleks apabila dibandingkan dengan anomali regional. Hal ini disebabkan oleh gambaran pola anomali dengan panjang gelombang yang lebih pendek, yang mencerminkan efek dari objek anomali yang terletak lebih dangkal yang sangat bervariasi. Anomali ini dicirikan oleh frekuensi tinggi.



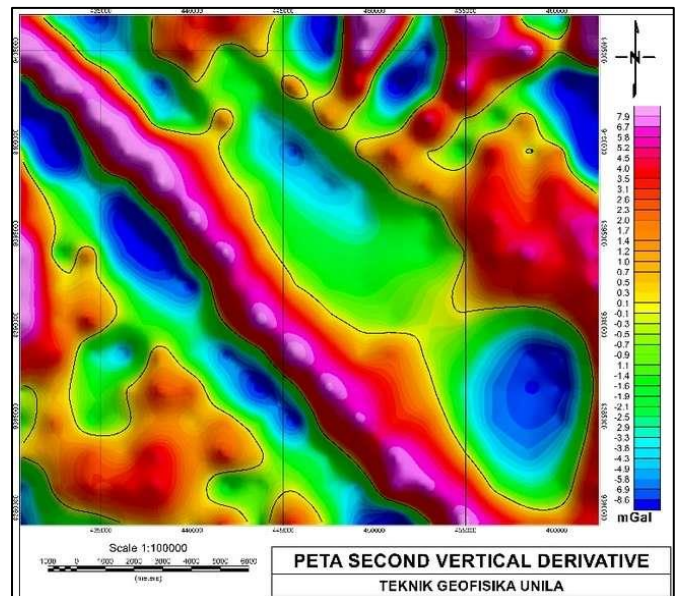
Gambar 8. Peta anomali residual

Pada anomali residual Gambar 8, daerah penelitian memiliki rentang nilai mulai dari -8.5 sampai 7.9 mGal. Daerah dengan anomali rendah memiliki rentang nilai -8.5 sampai -3.3 mGal, yang ditunjukkan dengan skala warna biru tua hingga biru muda. Anomali sedang memiliki rentang nilai -2,8 sampai -0.1 mGal yang

ditunjukkan dengan warna hijau tua sampai hijau muda. Kemudian, untuk anomali tinggi memiliki rentang nilai 0.1 sampai 7.9 mGal ditunjukkan oleh skala warna kuning sampai merah muda. Tinggi rendahnya nilai anomali yang ada pada kontur anomali residual berkaitan langsung dengan sebaran rapat massa batuan dekat permukaan yang bervariasi, anomali yang tinggi akan merepresentasikan batuan dengan rapat massa yang relatif tinggi, begitupun sebaliknya. Selanjutnya, dari anomali residual dilakukan analisis derivatif untuk menganalisa struktur bawah permukaan pada daerah penelitian.

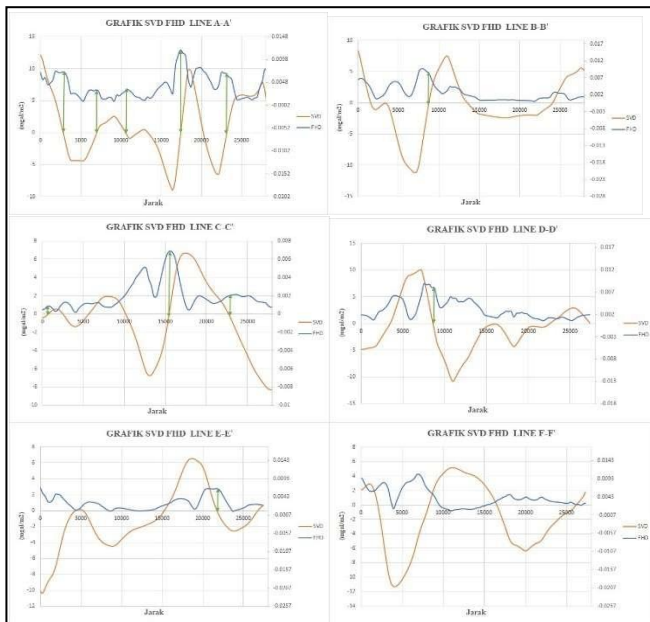


Gambar 9. Peta anomali First Horizontal Derivative (FHD)



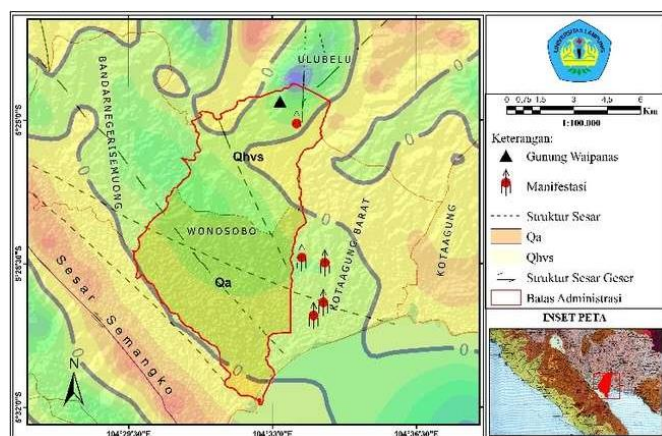
Gambar 10. Peta anomali Second Vertical Derivative (SVD)

Analisis FHD dan SVD merupakan turunan pertama dan kedua dari nilai Gradien anomali pada Anomali Bouguer Lengkap yang digunakan untuk mengidentifikasi struktur dan mengetahui jenis struktur geologi pada daerah penelitian. Untuk sayatan FHD dan SVD dilakukan pada enam lintasan yang sama dengan sayatan yang dilakukan pada analisis spektrum.



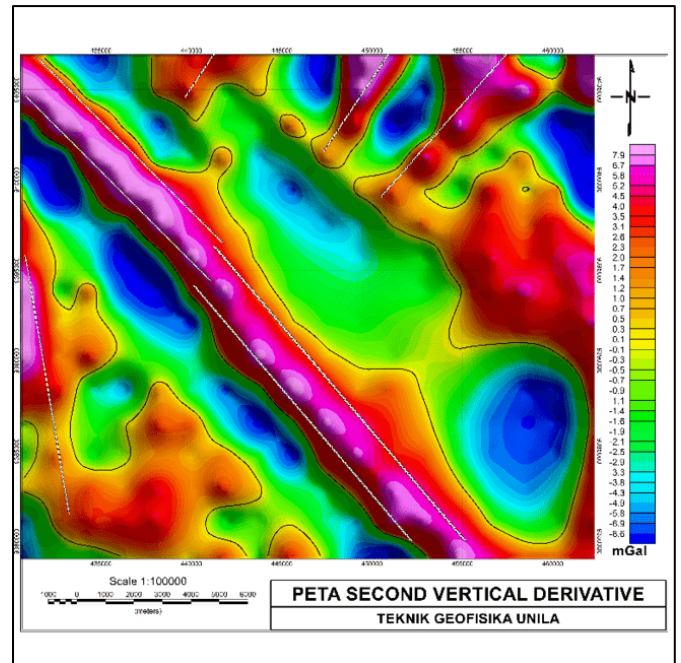
Gambar 11. Grafik Korelasi anomali SVD dengan FHD pada enam lintasan

Daerah yang diidentifikasi sebagai zona patahan dapat diidentifikasi dengan melihat grafik korelasi pada sayatan anomali *Second Vertical Derivative* dan *First Horizontal Derivative*. Dimana suatu yang perlu diperhatikan dalam menganalisis adanya sebuah struktur yaitu dengan memperhatikan nilai kontur nol pada anomali SVD dan juga grafik puncak pada anomali FHD yang dimana nilai tersebut merupakan nilai penanda keberadaan sebuah perbedaan dari suatu struktur geologi.



Gambar 12. Peta *overlay* antara peta anomali SVD dengan peta geologi daerah penelitian.

Pada hasil *overlay* antara peta anomali *Second Vertical Derivative* dengan peta geologi daerah penelitian didapatkan sebuah hasil dimana terdapat kesamaan yang cukup terlihat jelas antara kedua peta tersebut. Dimana daerah yang digambarkan memiliki sebuah struktur patahan pada peta geologi memiliki korelasi yang cukup baik dengan nilai kontur nol SVD yang telah diperoleh.



Gambar 13. Peta Struktur Sesar hasil analisis SVD dan FHD

Hasil dari korelasi antara nilai FHD dan SVD didapatkan sebuah hasil dimana terdapat enam struktur patahan. Dimana 3 Patahan ber-arah Tenggara-Barat Laut dan 3 ber-arah Barat daya- Timur Laut yang terdapat pada daerah penelitian, dimana keseluruhan perkiraan keberadaan patahan telah terkonfirmasi secara data geologi.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan, diperoleh estimasi kedalaman zona regional sedalam 2834,3 meter dan kedalaman zona anomali residual sedalam 378.06 meter. Rentang nilai anomali pada zona regional didapatkan nilai 30 sampai 92 mGal, sedangkan rentang nilai anomali zona residual didapatkan nilai-20 sampai 14 mGal. Analisis Derivative menunjukkan adanya struktur sesar yang terdapat

pada daerah penelitian dengan arah dominan tenggara-barat laut dan barat daya-timur laut. Hasil korelasi struktur antara SVD dan peta geologi memiliki korelasi yang cukup baik.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian ini.

References

- Bellier, O., Bellon, H., Sébrier, M., & Maury, R. C. (1999). K-Ar age of the Ranau Tuffs: implications for the Ranau caldera emplacement and slip-partitioning in Sumatra (Indonesia). *Tectonophysics*, 312(2-4), 347-359.
- Daud, Y., Sudarman, S., & Ushijima, K. (2000). Integrated geophysical studies of the Ulubelu geothermal field, south Sumatera, Indonesia. In *Proceedings World geothermal congress* (Vol. 28).
- Daud, Y., Sulistyono, A., Fahmi, F., Nuqramadha, W. A., Sesese, R. S., Rosid, S., ... & Subroto, W. (2019). First horizontal derivative and Euler Deconvolution in application for reconstructing structural signature over the Blawan-Ijen Geothermal area. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 254, No. 1, p. 012008). IOP Publishing.
- Duprat, A. (1985). Geophysics in geothermal prospecting. *International journal of energy research*, 9(3), 241-276.
- Fitriani, D. S., Putri, S. N. A., & Putrajy, I. F. (2020). Metode Gravitasi Untuk Identifikasi Sesar Weluki Dengan Analisis First Horizontal Derivative Dan Second Vertical Derivative. In *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal)* (Vol. 9, pp. SNF2020FA-53).
- Husein, S., Setianto, A., Nurseto, S. T., & Koestono, H. (2015). Tectonic control to geothermal system of Way Panas, Lampung, Indonesia. In *Proceedings World Geothermal Congress. Melbourne: Australia*.
- Imam, S. (2014). Struktur Bawah Permukaan Sekaran dan Sekitarnya Berdasarkan Data Gaya Berat. *Unnes Physics Journal*. 3(1).
- Kusumah, Y. I., & Suryantini, H. H. (2010). Horizontal derivative from gravity data as a tool for drilling target guide in Wayang Windu Geothermal Field, Indonesia. In *Proceedings World Geothermal Congress* (pp. 25-29).
- Pramumijoyo, S. (2008). Geometri Dan Kinematika Sesar Semangko Dam Citra Radar Dan Pengamatan Mikrotektonik Di Lapangan. *Media Teknik*, 30(2008).
- Rosid, M. S., & Siregar, H. (2017). Determining fault structure using first horizontal derivative (FHD) and horizontal vertical diagonal maxima (HVDM) method: A comparative study. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1862, No. 1). AIP Publishing.
- Sarkowi, M. (2010). Identifikasi struktur daerah panasbumi ulubelu berdasarkan analisa data svd anomali bouguer. *J. Sains MIPA*, 16(2), 111-118.
- Sarkowi, M. (2014). Eksplorasi Gayaberat.
- Setyawan, A., Yudianto, H., Nishijima, J., & Hakim, S. (2015). Horizontal gradient analysis for gravity and magnetic data beneath gedongsongo geothermal manifestations, ungaran, Indonesia. In *Proceedings World Geothermal Congress* (pp. 1-6).
- Sieh, K., & Natawidjaja, D. (2000). Neotectonics of the Sumatran fault, Indonesia. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 105(B12), 28295-28326.
- Suharno. (2003). Geophysical, geological, and paleohydrological studies of the Rendingan-Ulubelu-Way Panas (RUW) geothermal system, Lampung, Indonesia. *Thesis*, Auckland Universities.
- Sumintadireja, P., Dahrin, D., & Grandis, H. (2018). A Note on the Use of the Second Vertical Derivative (SVD) of Gravity Data with Reference to Indonesian Cases. *Journal of Engineering & Technological Sciences*, 50(1).
- Yusuf, M. (2011). Analisis Data Gayaberat Kombinasi Gravimeter Absolut(A10) dan Gravimeter Relatif (Lacoste Romberg). Tesis. Institut Teknologi Bandung.