



Analisis Data Gravitasi Untuk Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Daerah Potensi Panas Bumi Cipari

Ninik Agustin¹, Agung Wibawa¹

¹Universitas Nahdlatul Ulama Al Ghazali Cilacap, Jl. Kemerdekaan Barat No. 17 Kesugihan, Cilacap, 53274, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 22 November 2021

Accepted: 9 January 2022

Published: 13 January 2022

Keywords:

Bouguer Anomaly; Cipari; GGMPPlus; Gravity Data

Corresponding author:

Ninik Agustin

Email: ninik.agustin@unugha.id

Read online:



Scan this QR code with your smart phone or mobile device to read online.

ABSTRACT

Geothermal prospect in Cipari has been shown by spring who has a temperature of about 50°C and is categorized as a low temperature. The presence of spring on Cipari earth's surface is an indication of geothermal structures' existence on the surface and a geothermal system below the surface. Geophysical methods can be used for subsurface structures identification, one of them is the density method with gravity data. This study has an objective to identify the subsurface structures in Cipari geothermal potential area using GGMPPlus gravity data. Terrain and Bouguer corrections were used to obtain Complete Bouguer Anomaly (CBA). Separation of regional and residual anomalies using Butterworth and Bandpass filters. The rock contact boundary was obtained by the FHD method and geological structures such as faults were obtained by the SVD method. FHD and SVD results were used as information for 2D forward modeling. The ABL map shows anomalous contrasts in areas that have rock contacts and geological faults. The high anomaly in the center of the study area indicates the Cipari anticline. Data processing and analysis concluded that the area around the Cipari hot spring has anticline, several rock contacts, and normal fault structures. The fault in the study area is part of the geothermal system which is confirmed by GGMPPlus data.

How to cite: Agustin, N., & Wibawa, A. (2022). Analisis Data Gravitasi Untuk Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Daerah Potensi Panas Bumi Cipari. *Jambura Geoscience Review*, 4(1), 22-32. <https://doi.org/10.34312/jgeosrev.v4i1.12114>

1. PENDAHULUAN

Indonesia tercatat memiliki 31 titik potensi Panas Bumi hingga tahun 2017. Kabupaten Cilacap memiliki satu titik potensi panas bumi yang berlokasi di Kecamatan Cipari. Pemanfaatan potensi panas bumi Cipari berupa adanya wisata pemandian air panas. Titik potensi panas bumi tersebut diduga merupakan sistem panas bumi non magmatik atau sumber panas bukan berasal dari aktivitas vulkanik (Direktorat Panas Bumi, 2017). Hal ini juga selaras dengan hasil studi analisis Vp/Vs yang menyatakan bahwa sumber panas bumi Cipari tidak berkorelasi dengan sumber panas bumi vulkanik terdekat, yaitu titik potensi panas bumi Guci dan Gunung Slamet (Raharjo et al., 2016). Potensi panas bumi di Cipari memiliki kenampakan dengan adanya mata air bersuhu sekitar 50°C dan suhu reservoir sekitar 70°C yang termasuk digolongkan dalam kategori temperatur rendah. Luas daerah prospek panas bumi sekitar 1 km² dengan potensi sumber daya spekulatif sebesar 5 Mwe (Direktorat Panas Bumi, 2017). Munculnya sumber air di permukaan bumi merupakan indikasi adanya struktur panas bumi di permukaan, serta adanya sistem panas bumi di bawah permukaan.

Tahun 2015, studi geofisika menggunakan metode geomagnet di wilayah Cipari menghasilkan interpretasi adanya *source rock* di atas batuan basaltik (Raharjo & Sehad, 2015). Selanjutnya pada tahun 2016, studi geologi mengenai air panas Cipari menyebutkan bahwa letak sumber air panas (*hot spring*) terletak dekat dengan sumbu antiklin sehingga diindikasikan adanya sistem hidrotermal aktif yang mempengaruhi kematangan hirokarbon (Oryzavica et al., 2016). Studi geokimia pada kawasan tersebut menyimpulkan bahwa kawasan panas bumi Cipari merupakan *upflow* sistem panas bumi yang berkaitan dengan cekungan sedimen dan tidak berhubungan dengan aktivitas magmatisme (Permana & Mulyadi, 2014).

Penggunaan metode geologi, geokimia, dan geofisika diperlukan untuk saling mendukung identifikasi sistem panas bumi. Metode geofisika yang diterapkan untuk investigasi sistem panas bumi antara lain metode resistivitas seperti *magnetotelluric* (MT), *audiomagnetotellurics* (AMT) dan *controlled source audiomagnetotellurics* (CSAMT), metode gravitasi, metode seismik refleksi, metode *aeromagnetic*, dan metode *self-potential* (SP)(Moeck, 2014). Penelitian ini menggunakan metode densitas atau gravitasi untuk mengidentifikasi struktur bawah permukaan sistem panas bumi Cipari. Metode gravitasi didasarkan pada data gravitasi bumi yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi litologi batuan, alterasi berat dan struktur cekungan pada sistem panas bumi non-magmatik (Moeck, 2014). Data gravitasi berupa nilai perubahan percepatan gravitasi yang merepresentasikan adanya perbedaan nilai densitas batuan bawah permukaan. Perbedaan nilai densitas berhubungan dengan adanya sumber panas serta struktur geologi seperti sesar dan kekar.

Penelitian ini menggunakan data gravitasi satelit GGMPlus (*Global Gravity Model Plus*) 2013. Data GGMplus merupakan model medan gravitasi yang dihasilkan oleh data dari satelit GRACE (ITG2010), satelit GOCE (TIM-4), EGM2008 dan gravitasi topografi. GGMplus memiliki lima fungsi medan gravitasi antara lain *gravity disturbance*, percepatan gravitasi, defleksi vertikal utara-selatan dan timur-barat dan ketinggian *quasigeoid*. Data GGMPlus memiliki keunggulan resolusi spasial paling rapat dibandingkan data gravitasi satelit lainnya seperti TOPEX dan BGI (Suprianto et al., 2021). GGMPlus memiliki resolusi spasial 200 m dapat digunakan untuk pemetaan awal suatu wilayah sebagai gambaran umum suatu wilayah sebelum pengambilan data primer yang lebih lokal (Hirt et al., 2013).

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi struktur bawah permukaan daerah potensi panas bumi Cipari menggunakan data gravitasi GGMPlus. Identifikasi struktur menggunakan analisis *First Horizontal Derivative* (FHD) untuk menentukan batas kontak vertikal antar lapisan batuan dan *Second Horizontal Derivative* (SVD) sebagai identifikasi patahan (Daud et al., 2019; Wahyudi et al., 2017). Hasil penelitian diharapkan dapat menunjang hasil penelitian-penelitian sebelumnya yang telah dilakukan di daerah tersebut, serta memberikan gambaran umum struktur bawah permukaan yang terdapat pada wilayah panas bumi Cipari.

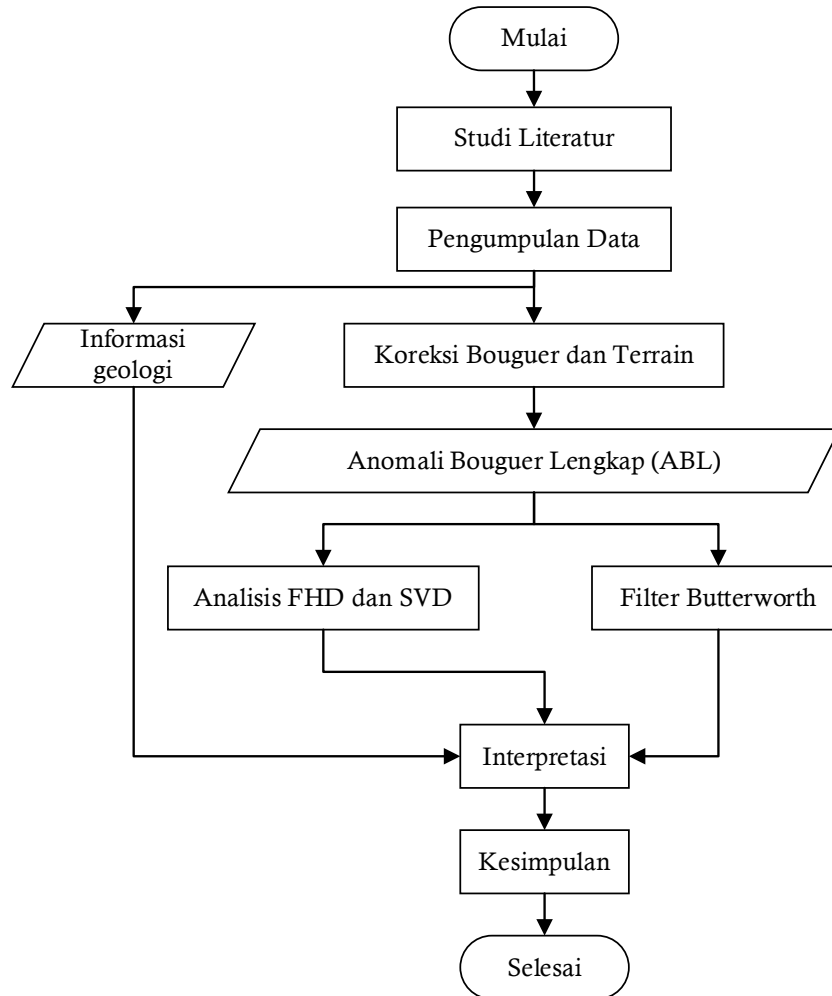
2. METODE

2.1. Data

Penelitian dilakukan di wilayah sekitar sumber mata air panas Cipari, Kecamatan Cipari dan Sidareja, Kabupaten Cilacap dengan lokasi geografis 108.67° BT 7.50°LS hingga 108.92° BT 7.33° LS. Penelitian ini menggunakan data gravitasi satelit yaitu data GGMPlus. Data satelit gravitasi GGMPlus diunduh dari laman <http://ddfe.curtin.edu.au/gravitymodels/GGMplus/>.

2.2. Metode Penelitian

Metode penelitian ini digambarkan dalam diagram alir pada Gambar 1. Penelitian diawali dengan studi literatur mengenai penelitian-penelitian sebelumnya pada daerah Cipari. Pengumpulan data dilakukan dengan mengunduh data gravitasi GGMPlus sesuai dengan wilayah penelitian. Data gravitasi GGMPlus yang telah diunduh selanjutnya diekstrak hingga didapatkan anomali *free air* dan topografi. Koreksi *terrain* dan koreksi Bouguer dilakukan pada anomali *free air* dan data topografi dengan hasil berupa Anomali Bouguer Lengkap (ABL). Selanjutnya, pemisahan ABL dilakukan untuk mendapatkan Anomali regional dan residual.

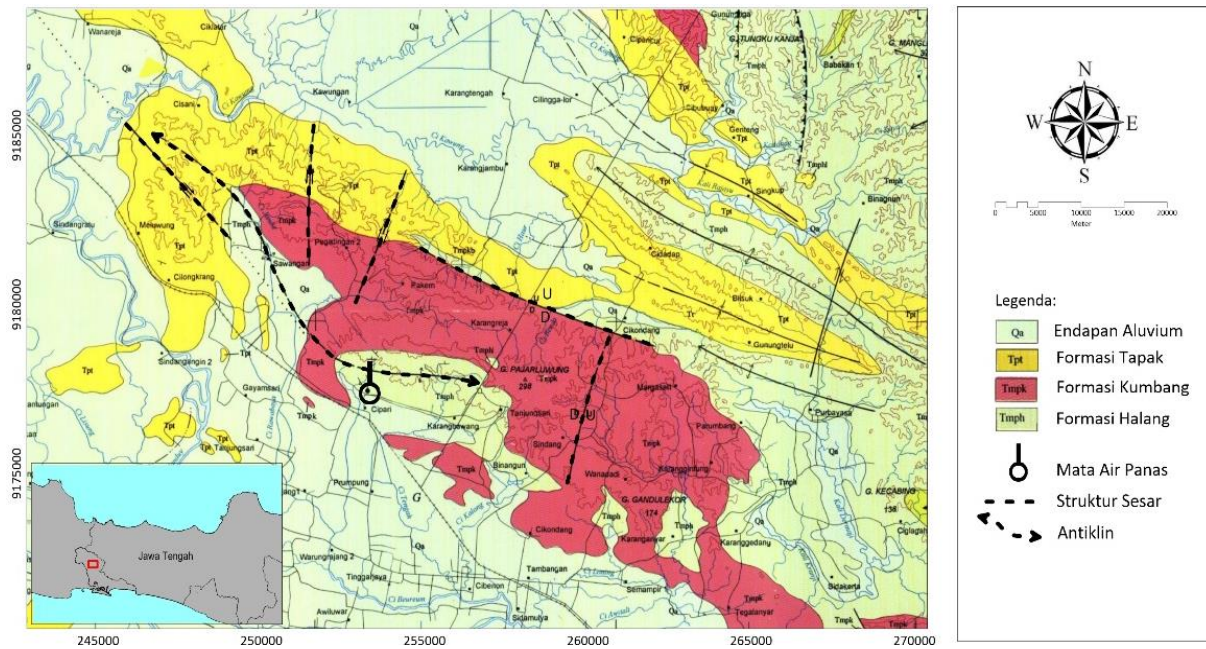


Gambar 1. Diagram alir penelitian

Pemisahan ini menggunakan filter Butterworth. Penggunaan filter Butterworth bertujuan agar dapat melakukan filter *highpass* dan *lowpass* pada data dengan panjang gelombang tetap (Geosoft Inc., 2015). Filter *bandpass* digunakan untuk mengurangi *noise* dari anomali regional yang dihasilkan oleh filter Butterworth (Zain et al., 2015). Pengurangan *noise* pada filter Bandpass dilakukan dengan meloloskan data yang memiliki panjang gelombang dengan jangkauan tertentu (Geosoft Inc., 2015).

Batas kontak batuan diperoleh dengan menggunakan metode *First Horizontal Derivative* (FHD) dan struktur geologi seperti patahan didapatkan dengan mengaplikasikan metode *Second Vertical Derivative* (SVD). FHD merupakan akar dari penjumlahan kuadrat turunan parsial pertama horizontal dari anomali gravitasi terhadap X dan Y (Rosid & Siregar, 2017). Metode FHD mengindikasikan batas-batas struktur geologi berdasarkan nilai maksimum atau minimum FHD (Daud et al., 2019). Metode SVD mengkonfirmasi adanya struktur pada nilai nol (Azkia & Daud, 2021). Penelitian ini menggunakan SVD dengan matriks Elkins untuk mengetahui jenis patahan. Patahan normal diindikasikan dengan nilai maksimum SVD lebih besar dibandingkan nilai minimalnya, sedangkan patahan naik ditunjukkan dengan nilai maksimum SVD lebih kecil dibandingkan nilai minimalnya (Fitriani et al., 2020; Sumintadireja et al., 2018).

Hasil FHD dan SVD digunakan sebagai informasi dalam melakukan pemodelan 2D secara *forward modelling*. *2D forward modelling* merupakan salah satu pemodelan yang digunakan untuk melakukan validasi pada interpretasi data gravitasi (Guglielmetti & Moscariello, 2021). Metode pemodelan yang digunakan untuk menghitung respon model terhadap data adalah metode Talwani. Pemodelan 2D dilakukan pada 3 profil sayatan ABL yang disesuaikan dengan struktur geologi dari hasil FHD dan SVD dan jenis lapisan batuan berdasarkan informasi geologi (Soleha et al., 2019).



Gambar 2. Peta geologi daerah penelitian (Kastowo & Sunarwa, 1996)

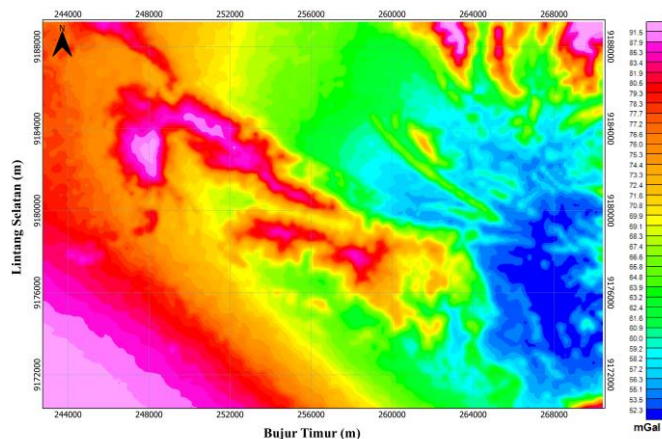
2.3. Geologi Wilayah Penelitian

Secara geologi, Cipari terletak di Pegunungan Serayu Selatan yang memiliki struktur geologi antiklin dengan tren arah Barat-Timur (Oryzavica et al., 2016). Struktur geologi tersebut terbentuk oleh aktivitas tektonik pada masa Pliosen hingga Pleistosen (Huwaina et al., 2018). Cipari terletak pada cekungan Banyumas yang didominasi oleh pola Meratus dan Jawa. Batuan pada daerah Cipari berupa batuan non vulkanik seperti satuan batupasir, breksi, dan alluvial dengan struktur berarah Barat-Timur dan Timurlaut-Baratdaya. Geomorfologi Cipari didominasi deretan perbukitan dengan lereng bergelombang hingga curam.

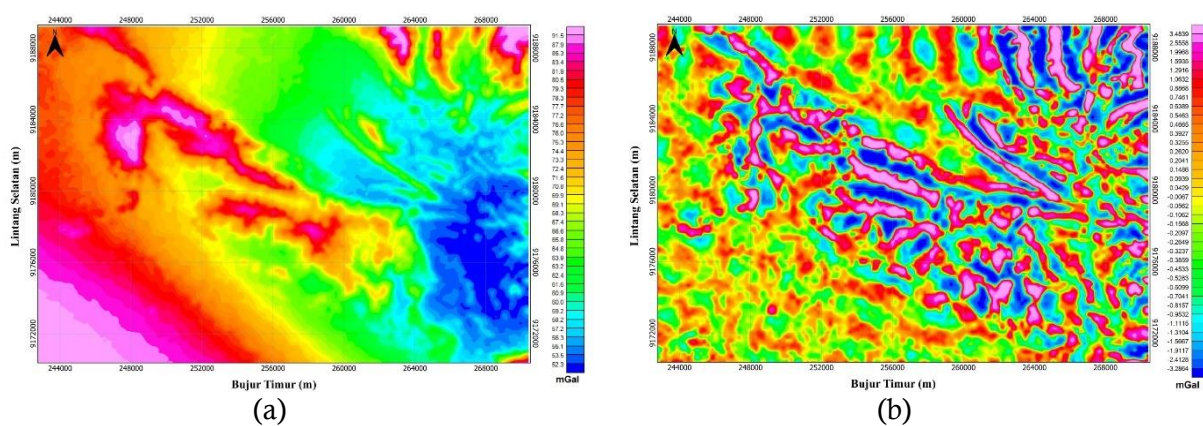
Peta Geologi pada Gambar 2 menginformasikan susunan lapisan batuan daerah Cipari terdiri atas Formasi Tapak (Tpk), Formasi Halang (Tpt), Formasi Kumbang (Tmpk), dan Endapan Aluvium (Qa) (Kastowo & Sunarwa, 1996). Berdasarkan urutan pembentukan formasi, formasi Kumbang dan Halang diperkirakan terbentuk paling awal yaitu sejak Miosen tengah hingga Pliosen. Formasi Tapak terbentuk pada masa Pliosen, dan selanjutnya endapan aluvium pada masa Holosen. Jenis batuan formasi Kumbang antara lain berupa breksi gunungapi, lava, retas, dan tuf bersusun andesit sampai basal, batupasir tuf, konglomerat, dan sisipan lapisan tipis magnetik. Tebal maksimal formasi Kumbang sekitar 2000 m dan menipis ke arah timur. Formasi Halang terdiri atas batupasir tufan, konglomerat, napal, dan batulempung. Ketebalan formasi Halang mencapai 2400 m dan menipis ke arah timur. Formasi Tapak tersusun oleh batupasir kasar yang semakin halus ke atas dengan sisipan napal pasiran. Formasi Tapak memiliki ketebalan sekitar 500 – 900 m. Endapan aluvium tersusun atas kerikil, pasir, dan lempung. Ketebalan lapisan endapan aluvium sekitar 5 m (Kastowo & Sunarwa, 1996).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengolahan data berupa Anomali Bouguer Lengkap (ABL) ditampilkan pada Gambar 3 menunjukkan rentang nilai 91.5 mGal hingga 52.3 mGal dengan rentang warna merah hingga biru. Anomali tinggi ditandai dengan warna merah muda hingga merah memiliki nilai berkisar 91.5 – 77.7 mGal terletak di sisi barat daya, barat laut memanjang ke timur pada bagian tengah, serta sebagian sisi timur laut. Anomali sedang dengan warna jingga hingga kuning berkisar antara 77.7 – 60.0 mGal terletak di sisi tengah wilayah penelitian. Anomali rendah didominasi oleh warna biru dengan nilai berkisar 60.0 – 52.3 mGal terletak di sisi timur berkaitan dengan jenis batuan permukaan yang berbeda dari batuan pada anomali tinggi, yaitu berupa batupasir tufan. Kontras ABL terlihat berkaitan dengan adanya kontak batuan permukaan dan patahan



Gambar 3. Peta Anomali Bouguer Lengkap (ABL) daerah Panasbumi Cipari

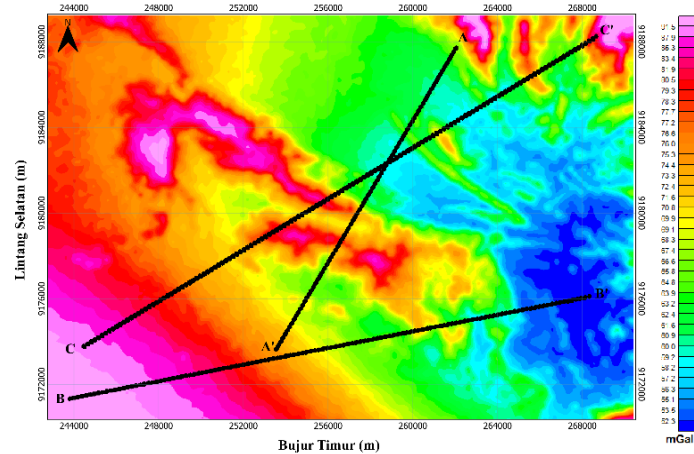


Gambar 4. Perbandingan pola, (a) peta ABL dengan (b) peta anomali residual

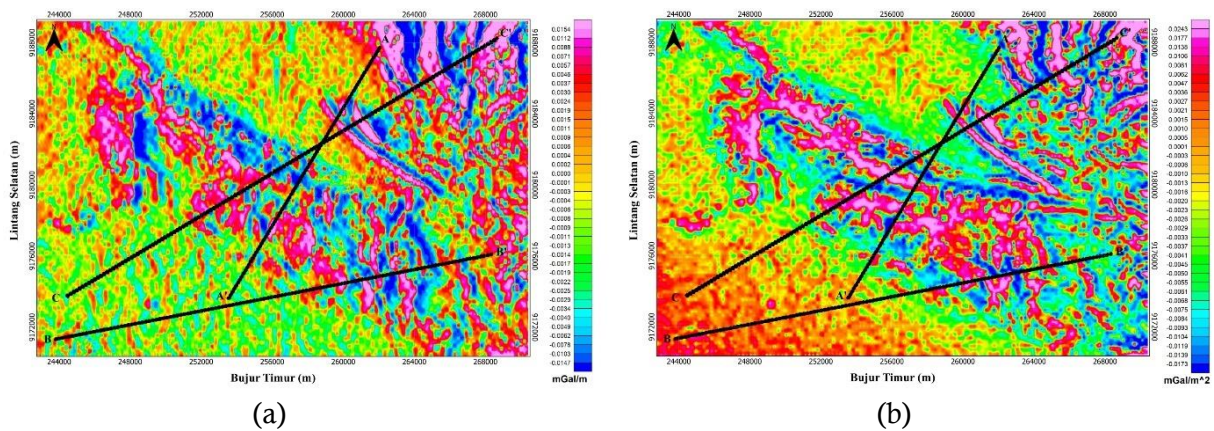
geologi. Berdasarkan peta geologi, terdapat kontak batuan permukaan pada sekitar antiklin dengan jenis batuan berupa batupasir dan breksi yang sebagian tertutup endapan aluvium (Kastowo & Sunarwa, 1996). Anomali sedang hingga rendah berlokasi pada wilayah dengan jenis batuan batupasir dan breksi, sedangkan anomali tinggi pada bagian barat hingga barat daya jenis batuan permukaannya tertutup endapan aluvium.

Pemisahan anomali menghasilkan anomali residual dengan rentang nilai 3.48 mGal hingga -3.29 mGal. Anomali residual memiliki kontras anomali sangat lokal pada wilayah antiklin dan meluas ke timur. Perbandingan peta anomali residual dan ABL memperlihatkan adanya persamaan pola pada batas kontras batuan, tetapi terdapat perbedaan di arah Barat Daya dan Timur (Gambar 3). Peta ABL memiliki kontras anomali di arah Barat Daya, sedangkan peta anomali residual tidak memperlihatkan adanya pola kontras anomali. Anomali paling rendah pada peta ABL terletak di arah timur, sedangkan peta anomali residual didominasi oleh anomali tinggi. Anomali regional memperlihatkan nilai anomali tinggi pada wilayah antiklin dan kontras anomali pada titik-titik yang tidak jauh berbeda dengan ABL (Gambar 4). Kontras anomali pada anomali regional berkaitan dengan kontras batuan permukaan, yaitu batupasir tufan. Anomali regional masih terlihat sangat mirip dengan ABL, sehingga belum memberi gambaran regional daerah penelitian. Hal ini dapat dilihat kembali pada rentang nilai anomali residual yang sangat kecil. Oleh karena itu, pengolahan data selanjutnya kembali menggunakan peta ABL.

Pemilihan lintasan ditentukan berdasarkan pembahasan pola anomali pada peta ABL, anomali regional, dan anomali residual yang telah disebutkan. Pengambilan sayatan dilakukan pada peta ABL dengan sayatan melintas sepanjang pola kontras anomali. Tiga sayatan pada peta ABL terlihat pada Gambar 5, yaitu lintasan AA', lintasan BB', dan lintasan CC'. Lintasan AA' dibuat untuk mengonfirmasi sayatan pada peta Geologi. Lintasan BB' nilai tertinggi dan terendah pada peta ABL. Lintasan CC' mengonfirmasi lokasi terdekat dengan titik manifestasi mata air panas Cipari.

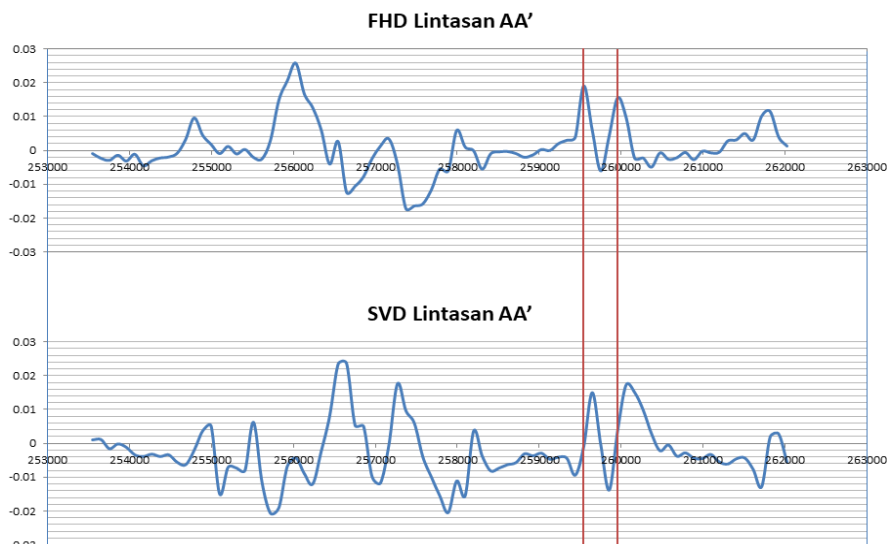


Gambar 5. Tiga lintasan sayatan pada Anomali Bouguer Lengkap

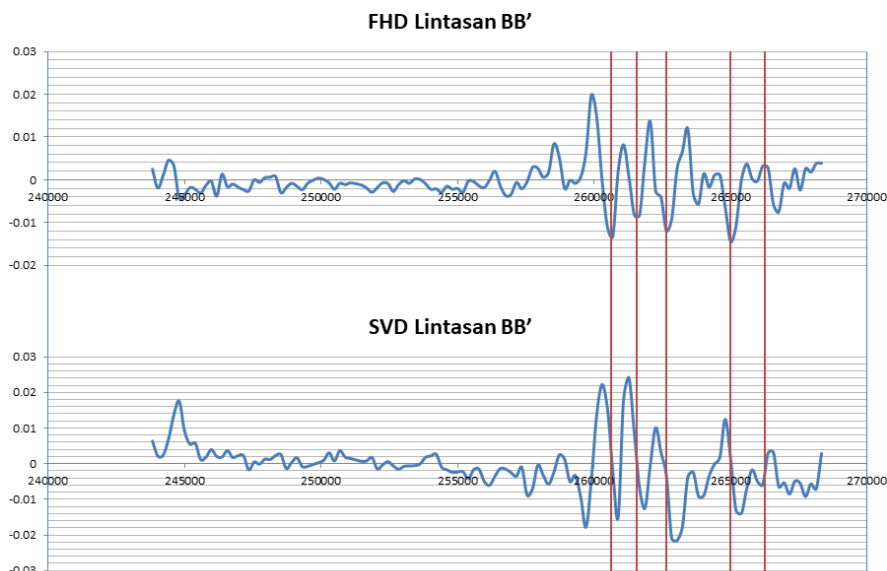


Gambar 6. Tiga lintasan sayatan pada peta ABL hasil FHD (a) dan hasil SVD (b)

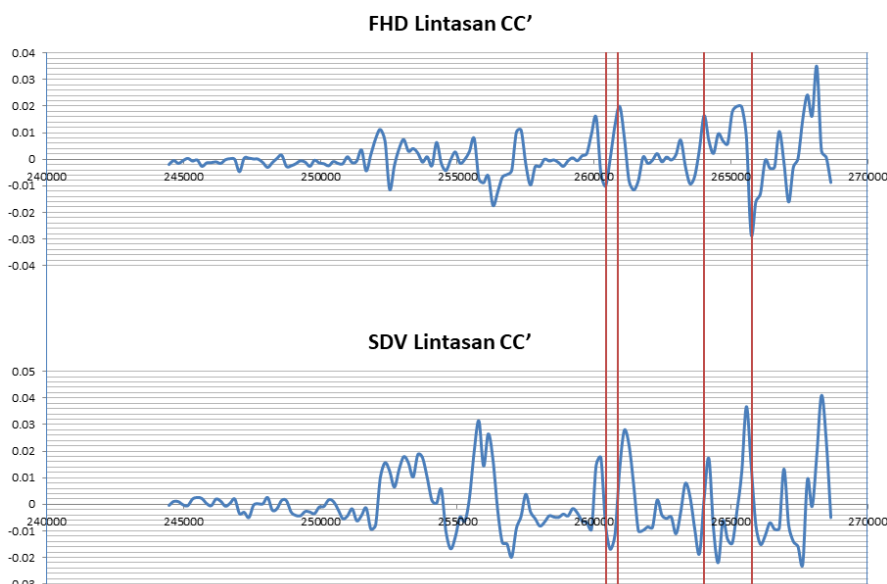
Filter FHD dan SVD yang diterapkan pada ABL untuk mendukung interpretasi struktur geologi profil sayatan. Sayatan FHD dan SVD dibuat di lokasi yang sama dengan sayatan pada peta ABL seperti yang terlihat pada Gambar 6. Nilai anomali gravitasi hasil FHD dan SVD sepanjang lintasan sayatan tersebut disajikan pada Gambar 7, 8, dan 9. Lintasan AA' terlihat memiliki dua titik bernilai FHD maksimum dan SVD nol (Gambar 7). Nilai FHD maksimum mengindikasikan adanya batas anomali yang dimungkinkan dengan adanya kontak batuan (Daud et al., 2019). Nilai absolut SVD maksimum sebesar 0.0205 mGal/m^2 dan absolut SVD minimumnya bernilai 0.0236 mGal/m^2 . Nilai absolut SVD maksimum lebih kecil dibandingkan nilai absolut SVD minimum mengindikasikan jenis patahannya merupakan patahan normal (Sumintadireja et al., 2018). Hasil FHD dan SVD lintasan BB' ditampilkan pada Gambar 8. Terdapat 5 titik batas struktur geologi yang diindikasikan oleh FHD dan SVD. Nilai absolut SVD maksimum sebesar 0.0216 mGal/m^2 dan nilai minimumnya sebesar 0.0242 mGal/m^2 , maka terindikasi jenis patahan pada lintasan BB' adalah patahan normal. Gambar 9 memperlihatkan empat titik pada lintasan CC' memiliki nilai maksimum dan minimum FHD dan nilai nol pada SVD. Hal ini mengindikasikan batas struktur berupa patahan. Lintasan CC' memiliki nilai absolut SVD maksimum sebesar 0.0411 mGal/m^2 dan nilai absolut SVD minimal sebesar 0.0226 mGal/m^2 , sehingga dapat diindikasikan jenis patahannya merupakan patahan normal (Sumintadireja et al., 2018). Secara keseluruhan, hasil analisis tersebut mengkonfirmasi bahwa analisis SVD menunjukkan adanya struktur patahan di daerah panas bumi Cipari sebagaimana hasil analisis SVD pengolahan data gravitasi lapangan (Hidayat et al., 2020).



Gambar 7. Profil lintasan AA' hasil FHD dan SVD

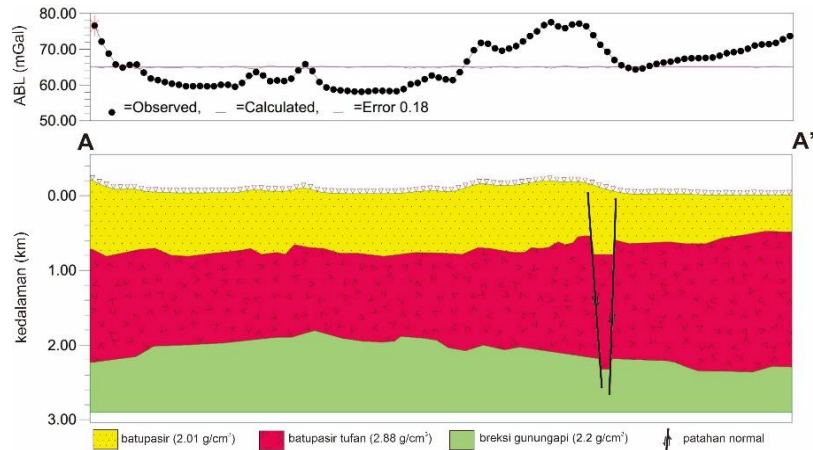


Gambar 8. Profil lintasan BB' hasil FHD dan SVD

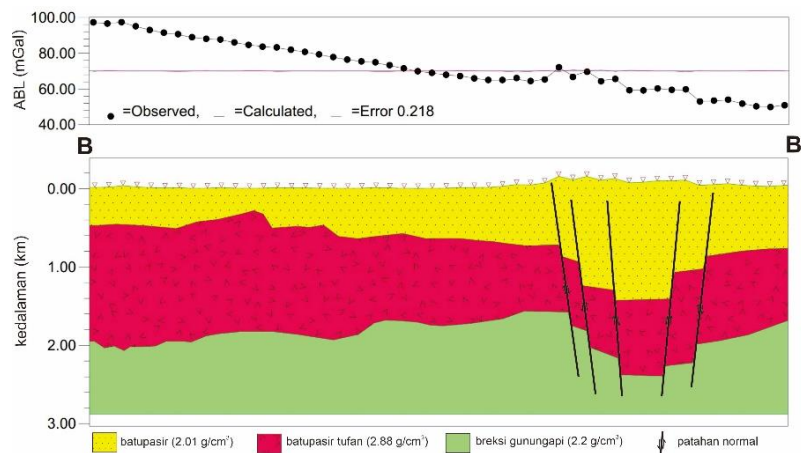


Gambar 9. Profil lintasan CC' hasil FHD dan SVD

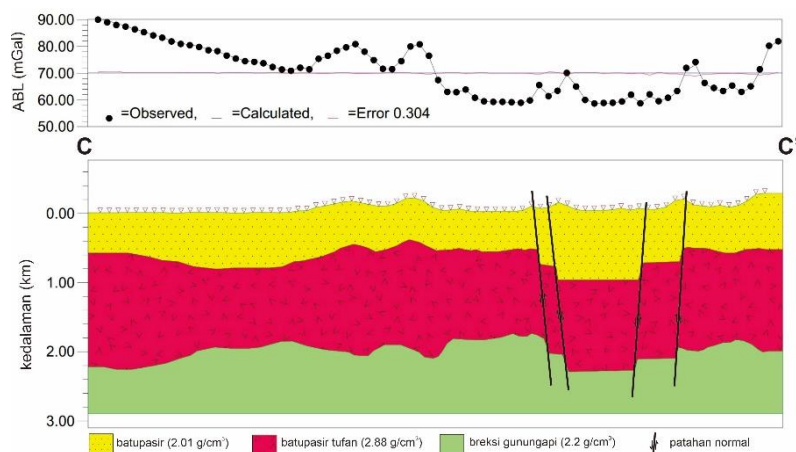
Setiap lintasan dimodelkan dengan menggunakan 2D *forward modelling* dengan menambahkan informasi geologi berupa jenis batuan penyusun lapisan bawah permukaan yang disesuaikan dengan nilai densitas tiap jenis batuan dari literatur dan adanya struktur patahan normal dari hasil analisis FHD dan SVD. Tiga lintasan sayatan tersusun atas formasi batuan yang sama, yaitu formasi Tapak (Tpt), formasi Halang (Tmph), formasi Kumbang (Tmpk) (Kastowo & Sunarwa, 1996). Jenis batuan yang mendominasi formasi Tapak adalah batupasir, sementara formasi Halang didominasi oleh batupasir tufan dan batulempung, dan formasi Kumbang adalah breksi gunungapi dan tuf. Struktur patahan yang telah teridentifikasi melalui tahap filter SVD dan FHD menjadi informasi yang juga diinputkan dalam pembuatan model. Hasil pemodelan masing-masing profil lintasan ditampilkan pada Gambar 10, 11, dan 12.



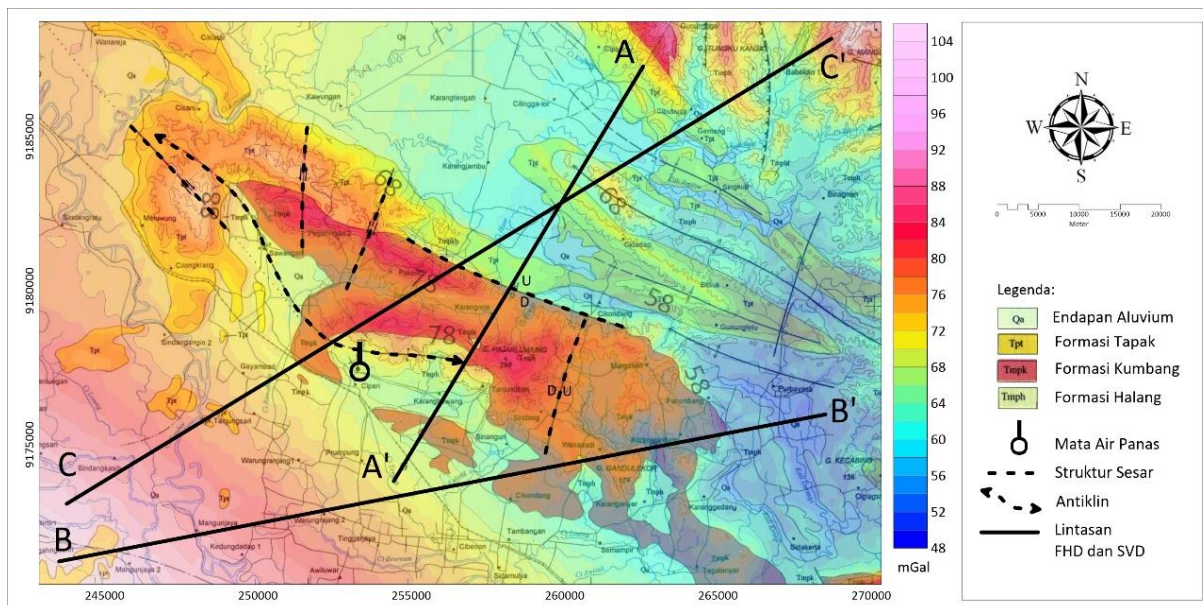
Gambar 10. Hasil pemodelan 2D struktur bawah permukaan lintasan AA'



Gambar 11. Hasil pemodelan 2D struktur bawah permukaan lintasan BB'



Gambar 12. Hasil pemodelan 2D struktur bawah permukaan lintasan CC'



Gambar 13. Peta geologi *overlay* ABL pada daerah penelitian (Kastowo & Sunarwa, 1996)

Lintasan AA' mengonfirmasi sayatan pada peta geologi yang menyebutkan adanya struktur patahan dengan jenis patahan normal (Gambar 10). Lintasan BB' merupakan sayatan yang melintang dari anomali paling tinggi ke anomali paling rendah sejauh 25 km (Gambar 11). Hasil pemodelan menggambarkan struktur lapisan batuan dengan lapisan formasi Halang semakin tebal di permukaan, adanya patahan normal pada daerah dengan anomali rendah. Hasil pemodelan lintasan CC' sejauh 30 km melewati area mata air panas Cipari menunjukkan adanya patahan normal pada kontras anomali (Gambar 12). Formasi batuan yang mendominasi lintasan ini adalah formasi Kumbang dengan ketebalan yang semakin tipis ke arah timur laut.

Struktur geologi lainnya seperti struktur antiklin dan kontak batuan permukaan di daerah penelitian dimungkinkan menjadi salah satu faktor adanya anomali gravitasi. Pengamatan lapangan yang menunjukkan terlihatnya struktur geologi patahan dan antiklin seperti yang disebutkan oleh Kastowo dan Sunarwa (1996) dalam peta Geologi lembar Majenang yang di-*overlay* dengan peta Anomali Bouguer Lengkap (ABL) daerah penelitian pada Gambar 13. Berdasarkan Gambar 13, kontras nilai tinggi dan rendah ABL berasosiasi dengan struktur patahan dan antiklin di daerah panas bumi Cipari.

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisis penelitian ini menunjukkan rentang nilai ABL berkisar dari 48 mGal hingga 104 mGal. Pemisahan anomali menggunakan Butterworth dan Bandpass belum menunjukkan hasil anomali yang bersifat regional. Struktur bawah permukaan yang terkonfirmasi menggunakan analisis FHD dan SVD pada ABL data gravitasi GGMPPlus di daerah panas bumi Cipari berupa batas kontak batuan, antiklin, dan patahan normal. Daerah penelitian tersusun atas batuan breksi gunungapi dan tuf dari formasi Kumbang, batuan batupasir tufan dan batulempung dari formasi Halang, serta batupasir dari formasi Tapak. Struktur geologi yang terkonfirmasi merupakan struktur dekat permukaan dengan kedalaman model tidak lebih dari 3 km.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan keseluruhan analisis yang telah dilakukan, Anomali Bouguer Lengkap (ABL) di daerah sekitar mata air panas Cipari memiliki rentang nilai 91.5 mGal hingga 52.3 mGal. Kontras anomali berasosiasi dengan struktur geologi seperti antiklin, kontak batuan, dan struktur patahan normal. Hasil analisis FHD dan SVD menunjukkan batas kontak batuan dan patahan normal. Patahan normal di daerah penelitian merupakan salah satu bagian dari sistem panas bumi yang dapat terkonfirmasi oleh data GGMPPlus.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami sampaikan kepada Dirjen Dikti Kemendikbudristek atas hibah penelitian dosen pemula atas pendanaan yang diberikan. Terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu semua proses dalam penelitian ini.

6. REFERENSI

- Azkiya, H. A., & Daud, Y. (2021). Integrated geophysical and geological methods to identify structure existence as a permeable zone in a geothermal field. *AIP Conference Proceedings*, 2320(March), 1–7. <https://doi.org/10.1063/5.0038802>
- Daud, Y., Sulistyono, A., Fahmi, F., Nuqramadha, W. A., Fitriani, F., Sesesega, R. S., Rosid, S., Pati, G. P., Maulana, M. R., Khoiroh, M., Rahman, K. R., & Subroto, W. (2019). First horizontal derivative and Euler Deconvolution in application for reconstructing structural signature over the Blawan-Ijen Geothermal area. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 254(1), 1–8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/254/1/012008>
- Direktorat Panas Bumi, D. J. E. (2017). *Potensi Panas Bumi Indonesia* (1st ed.). Direktorat Panas Bumi KESDM.
- 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. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF2020*, IX, 53–60. <https://doi.org/10.21009/03.snf2020.01.fa.10>
- Geosoft Inc. (2015). *MAGMAP Filtering How-To Guide*. www.Geosoft.Com.
- Guglielmetti, L., & Moscariello, A. (2021). On the use of gravity data in delineating geologic features of interest for geothermal exploration in the Geneva Basin (Switzerland): prospects and limitations. *Swiss Journal of Geosciences*, 114(15), 1–20. <https://doi.org/10.1186/s00015-021-00392-8>
- Hidayat, H., Subagio, S., & Praromadani, Z. S. (2020). Interpretasi Struktur Geologi Bawah Permukaan Berdasarkan Updating Data Gaya Berat Cekungan Banyumas, Jawa Tengah. *Jurnal Geologi Dan Sumberdaya Mineral*, 21(3), 111–118. <https://doi.org/10.33332/jgsm.geologi.v21i3.524>
- 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*, 40(16), 4279–4283. <https://doi.org/10.1002/grl.50838>
- Huwaina, M. A., Putranto, T. T., & Santi, N. (2018). Zonasi Potensi Airtanah Akuifer Bebas Di Cekungan Airtanah Majenang, Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah. *Promine*, 5(1), 41–50. <https://doi.org/10.33019/promine.v5i1.118>
- Kastowo, & Sunarwa, N. (1996). *Peta Geologi Lembar Majenang, Jawa*.
- Moeck, I. S. (2014). Catalog of geothermal play types based on geologic controls. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 37, 867–882. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2014.05.032>
- Oryzavica, V., Aulia, K. N., Hendrawan, R. N., & Chandra, A. (2016). What happen in Banyumas Basin? An overview of geological condition in Cipari Area. *Geosea XIV and IAGI Annual Convention*, 1–7.
- Permana, L. A., & Mulyadi, E. (2014). Studi Geokimia Fluida Panas Bumi Daerah Jawa Tengah Bagian Selatan Provinsi Jawa Tengah. In *Penelitian Panas Bumi, Badan Geologi, PSDG*. <http://psdg.bgl.esdm.go.id/kolokium/2015/pabum/4.pdf>
- Raharjo, S. A., & Sehad. (2015). Interpretasi Lokasi Source Rock Rembesan Minyak di Desa Cipari, Kecamatan Cipari, Kabupaten Cilacap Berdasarkan Survei Magnetik. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 5(2), 80–89.
- Raharjo, W., Palupi, I. R., Nurdian, S. W., Giamboro, W. S., & Soesilo, J. (2016). Poisson's ratio analysis (Vp/Vs) on volcanoes and geothermal potential areas in Central Java using tomography travel time method of grid search relocation hypocenter. *Journal of Physics: Conference Series*, 776(1), 1–7. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/776/1/012114>
- Rosid, M. S., & Siregar, H. (2017). Determining fault structure using first horizontal derivative (FHD) and horizontal vertical diagonal maxima (HVD) method: A comparative study.

- AIP Conference Proceedings*, 1862(030171), 1–8. <https://doi.org/10.1063/1.4991275>
- Soleha, K. P., Handyarso, A., Fitriani, D., & Supriyana, E. (2019). Modeling of subsurface based on gravity data with second vertical derivative (SVD) and euler deconvolution optimazitation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 311(012065), 1–5. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/311/1/012065>
- 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 and Technological Sciences*, 50(1), 127–139. <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2018.50.1.9>
- Suprianto, A., Supriyadi, Priyantari, N., & Cahyono, B. E. (2021). Correlation between GGMPlus, topex and BGI gravity data in volcanic areas of Java Island. *Journal of Physics: Conference Series*, 1825(012023), 1–6. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1825/1/012023>
- Wahyudi, E. J., Kynantoro, Y., & Alawiyah, S. (2017). Second Vertical Derivative Using 3-D Gravity Data for Fault Structure Interpretation. *Journal of Physics: Conference Series*, 877(1), 1–8. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/877/1/012039>
- Zain, M. A., Rozi, M. F., Septikasari, A. N., Nuruddianto, M., Supriyanto, & Zarkasyi, A. (2015). Studi Penerapan Metode Analisis Derivatif Pada Data Potensial Gravitasi. *Prosiding Seminar Nasional Fisika 2015, IV*, 65–70. <http://snf-unj.ac.id/kumpulan-prosiding/snf2015/>