



# Interpretasi Struktur Bawah Permukaan Gunung Sinabung pada Model Dua-Dimensi (2D) Menggunakan Data WGM 2012 dan Metode *First Horizontal Derivative*

Amandah<sup>1\*</sup>, Nanang Dwi Ardi<sup>1</sup>, Waslaluddin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Fisika, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia.

\*[amandah@upi.edu](mailto:amandah@upi.edu)

## Abstrak

Gunung Sinabung merupakan salah satu gunung api teraktif di Indonesia dan berada di Provinsi Sumatera Utara. Karakteristik sebuah gunung api aktif adalah dengan diketahuinya keberadaan kantong magma atau dapur magma di bawah permukaannya. Metode gravitasi adalah salah satu metode geofisika yang dapat digunakan untuk mengetahui struktur bawah permukaan dengan memanfaatkan gaya berat yang dipengaruhi oleh rapat massa batuan penyusun. Tujuan dari penelitian ini adalah membuat model struktur bawah permukaan Gunung Sinabung sehingga dapat mengetahui keberadaan dapur magma. Penelitian ini menggunakan data gravitasi anomali udara-bebas dari *World Gravity Map 2012*, menggunakan metode kontinuitas ke atas untuk memisahkan anomali regional dan residual, dan menggunakan metode *first horizontal derivative* untuk melakukan pendugaan keberadaan patahan di bawah permukaan. Sehingga diketahui keberadaan magma berada pada kedalaman 3-9 km dan memiliki nilai densitas 2,55 gr/cc termasuk ke dalam jenis magma riolit-andesit. Penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai salah satu langkah untuk mitigasi bencana gunung api ataupun menunjang eksplorasi geofisika.

Kata kunci: dapur magma, *first horizontal derivative*, Gunung Sinabung, Metode gravitasi, *World Gravity Map 2012*

## 1. Pendahuluan

Gunung Sinabung merupakan salah satu gunung api aktif tertinggi di Provinsi Sumatera Utara dengan ketinggian 2460mdpl. Gunung Sinabung berada pada koordinat 3,17°N 98,392°E dan merupakan gunung api dengan bentuk stratovulkanik-andesit. Keberadaan Gunung Sinabung pada di atas busur vulkanik sunda dari aktivitas tektonik lempeng Indo-Australia di bawah lempeng Eurasia (Afnimar dkk., 2020). Selain itu, Gunung Sinabung juga berada di atas salah satu sesar besar Sumatera yaitu, Sesar Semangko (Sutanto, 2003).

Gunung Sinabung dikenal sebagai gunung api teraktif di Indonesia sejak erupsi yang terjadi pada Agustus 2010. Terjadinya erupsi pada Agustus 2010 tersebut, menjadikan Gunung Sinabung berada dalam kategori waspada dan menjadi gunung api dengan tipe A. Gunung api dengan tipe A merupakan gunung api yang telah mengalami erupsi setelah tahun 1600. Sebelumnya, Gunung Sinabung sempat berada pada kategori gunung api dengan tipe B dan tidak menunjukkan tanda-tanda kemungkinan terjadinya erupsi magmatik. Gunung api tipe B merupakan gunung api yang mengalami erupsi sebelum tahun 1600 tidak memperlihatkan gejala erupsi magmatik namun masih memperlihatkan kegiatan vulkanik dengan terdapatnya solfatara, mata air panas, dsb (Mulyaningsih, 2015).



Eksplorasi geofisika memiliki beberapa metode yang mendukung dalam kegiatan eksplorasi. Metode gravitasi merupakan metode geofisika dengan memanfaatkan gaya berat yang disebabkan dari nilai densitas massa batuan penyusun bawah permukaan (Anggraeni dan Sulistyorini, 2021). Metode gravitasi yang menghasilkan perbedaan densitas massa batuan dapat dimanfaatkan untuk mengetahui beberapa hal seperti, struktur batuan bawah permukaan, menemukan patahan pada bawah permukaan, ataupun mengetahui potensi panas bumi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui struktur bawah permukaan Gunung Sinabung sehingga dapat mengetahui keberadaan kantong magma dan batuan penyusunnya. Penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai informasi mitigasi bencana ataupun dapat dimanfaatkan untuk menunjang eksplorasi panas bumi.

## 2. Metode

### 2.1 Gravity Data

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data gravitasi yang terdapat pada situs International Gravimetric Bureau (BGI). Data tersebut diambil dari kumpulan data World Gravity Model 2012 (WGM 2012) yang dilakukan pengukuran gravitasi berdasarkan satelit (BGI, 2009). Data gravitasi yang digunakan merupakan data gravitasi anomali bebas udara yang dikelola Kembali untuk mendapatkan data gravitasi anomali bouguer. Data gravitasi Gunung Sinabung dari WGM 2012 diambil menggunakan jarak sejauh 20km.

### 2.2 Metode

Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### 1) Penentuan Nilai Densitas

Tahap ini dilakukan dengan menggunakan metode Nettleton untuk mendapatkan nilai densitas rata-rata dan dapat digunakan penentuan nilai gravitasi anomali bouguer. Penentuan nilai densitas rata-rata menggunakan perangkat lunak Oasis Montaj dalam pengoperasiannya (Linsser, 1965; Yuliasuti dkk., 2017).

#### 2) Peta Kontur

Pembuatan peta kontur dilakukan agar dapat mengetahui penyebaran densitas batuan dengan diberi tanda pada garis kontur dan variasi warna. Peta kontur dilakukan menggunakan perangkat lunak Surfer 13. Proses pembuatan peta kontur meliputi input data gravitasi pada surfer 13, merubah koordinat data, dan melakukan gridding data.

Metode *Gridding* adalah proses pengambilan data XYZ yang berjarak tidak teratur dan menghasilkan *grid* nilai Z yang berjarak dan teratur pada setiap *node grid* dengan interpolasi ataupun ekstrapolasi nilai data. Metode *gridding* dilakukan untuk mengetahui dan mendapatkan nilai Z pada suatu data (Gerovska dkk., 2010).

#### 3) Analisis Spektral

Metode analisis spectral digunakan untuk mengetahui estimasi kedalaman anomali bouguer serta dapat mengetahui estimasi kedalaman anomali regional dan residual. Metode ini dilakukan dengan mengubah data jarak menjadi data spasial menggunakan operasional transformasi Fourier atau FFT (*Fast-Fourier Transform*).

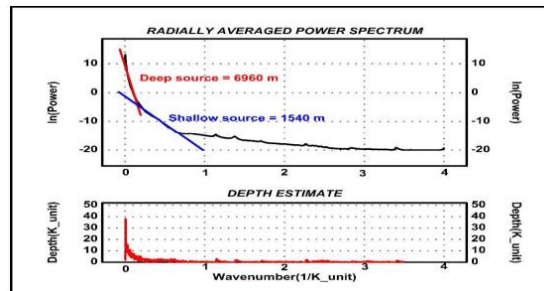
Analisis spectral dilakukan menggunakan perangkat lunak Oasis Montaj dengan melakukan operasi FFT dan membuat grafik



*RAPS (Radially Average Power Spectrum)*. Batas kedalaman anomali dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut:

$$h = -\frac{s}{4\pi} \quad (1)$$

dengan  $s$  adalah nilai gradien



**Gambar 1.** Analisis Spektral

#### 4) Pemisahan Anomali Residual-Regional

Pemisahan anomali ini dilakukan menggunakan metode kontinuitas ke atas atau *Upward Continuation*. Metode ini pada metode gravitasi dapat berfungsi untuk memperhalus dan dapat memisahkan anomali regional dan residual (Purnomo dkk., 2016; De Meyer, 1974). Anomali regional adalah anomali yang disebabkan oleh perbedaan rapat massa pada daerah yang lebih dalam di bawah permukaan (Guo dkk., 2013). Sedangkan anomali residual adalah anomali gravitasi yang dipengaruhi oleh perbedaan densitas batuan yang lebih dangkal dan dapat dipengaruhi oleh topografi lokal.

Metode kontinuitas ini dilakukan pada perangkat lunak Magpick. Tahapan untuk melakukan metode ini adalah dengan memasukkan data yang sudah di grid. Kemudian melakukan proses *upward continuation* dan menuliskan nilai elevasi yang ingin digunakan (Tchernychev, 2009). Hasil dari proses ini merupakan data grid untuk anomali regional dan residual. Hasil data grid tersebut kemudian dibuat dalam dua buah peta kontur.

#### 5) Analisis Turunan

Tahap analisis turunan atau *derivative* dilakukan untuk mengetahui daerah tepian pada peta kontur gravitasi. Analisis *derivative* dilakukan dengan menggunakan metode *First Horizontal Derivative* (FHD) atau Turunan Horizontal pertama (Hartati, 2012). Metode ini dapat digunakan untuk mendeteksi perbedaan yang signifikan pada data anomali gravitasi secara horizontal dengan melihat nilai maksimum dan minimum data tersebut (RFA, 2021). Perbedaan yang ditunjukkan pada metode FHD diperlihatkan pada peta kontur gravitasi. Kontras densitas yang ditunjukkan, kemungkinan diakibatkan oleh variasi struktur bawah permukaan yang diakibatkan oleh adanya patahan, kemiringan dataran dan batas struktur batuan (Maimuna dkk., 2021).

Analisis *Derivative* dilakukan pada perangkat lunak Surfer 13 dengan menghitung secara matematis. Perhitungan turunan horizontal yang digunakan menggunakan metode *simple finite-difference* dengan persamaan operasional FHD seperti pada persamaan (1) berikut (Blakely, 1996):



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

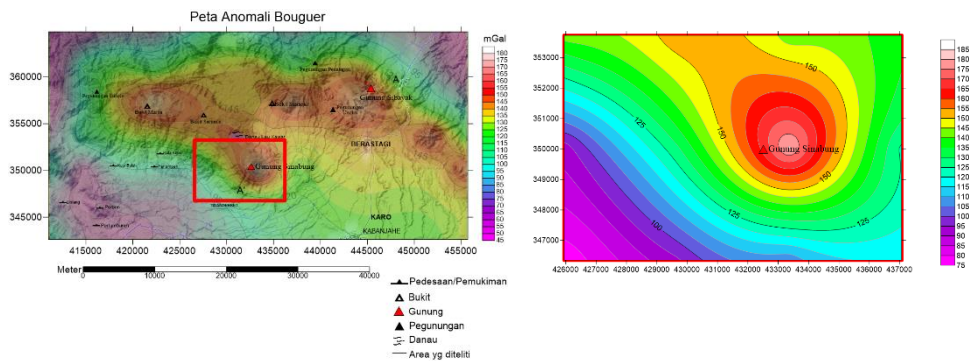
6) Pemodelan Struktur Bawah Permukaan

Struktur bawah permukaan kemudian dimodelkan menggunakan metode pemodelan maju, yaitu pemodelan yang dilakukan setelah diketahui nilai parameter model sehingga hasil perhitungannya secara teoritis dapat teramati pada kondisi lapangan. Pemodelan struktur bawah permukaan dilakukan menggunakan fitur menu GM-SYS yang terdapat di perangkat lunak Oasis Montaj.

Pembuatan model struktur bawah permukaan menggunakan hasil digitasi profil peta kontur residual sebagai nilai parameter model. Setelah itu pemodelan maju ini dilakukan secara teoritis mengacu pada artikel yang ditulis oleh Talwani 1967. Pembuatan struktur batuan bawah permukaan ditinjau dari peta geologi, referensi geologi daerah penelitian (Talwani, 1965).

3. Hasil dan Pembahasan

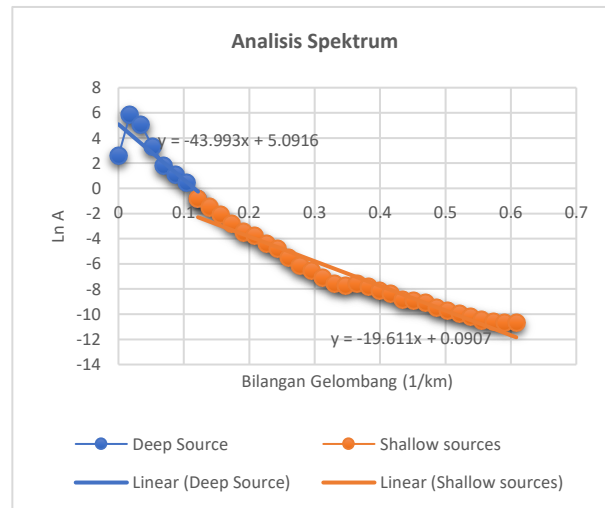
Interpretasi data gravitasi yang dihasilkan diharapkan dapat memberikan gambaran dan informasi yang sesuai dengan tujuan penelitian. Penentuan nilai densitas rata-rata yang di dapatkan dari metode pengolahan Nettleton adalah 2,6 gr/cc. Sehingga dapat menghasilkan gambar (1) yang merupakan gambar peta kontur penyebaran nilai densitas anomali bouguer.



Gambar 2. Peta Kontur Anomali Bouguer



Pada gambar (2) menunjukkan penyebaran nilai densitas pada daerah penelitian berada pada rentang 45 – 180 mgal. Hal tersebut menunjukkan bahwa Gunung Sinabung memiliki nilai gravitasi yang tinggi sekitar 135 – 180 mgal dan di tandai dengan mayoritas warna merah sampai putih.

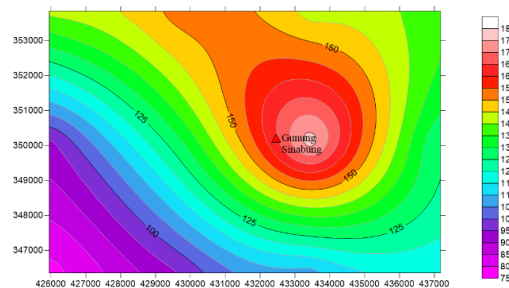


**Gambar 3.** Grafik Analisis Spektrum

Anomali Bouguer merupakan superposisi dari anomali yang diakibatkan oleh anomali dalam dan dangkal. Oleh sebab itu, analisis spektrum dilakukan untuk mengetahui batas kedalaman anomali-anomali tersebut. Berdasarkan gambar (3) diketahui batas kedalaman anomali regional adalah 35000 meter dan batas kedalaman anomali residual adalah 15600 meter. Batas kedalaman anomali regional dan residual didapatkan berdasarkan persamaan (1).

Dalam mengetahui penyebaran nilai gravitasi disebabkan oleh nilai densitas batuan bawah permukaan. Maka dilakukan proses pemisahan anomali regional dan residual untuk mengetahui pengaruh massa jenis batuan penyusun yang berada jauh di bawah permukaan ataupun yang berada di kedalaman yang dangkal. Anomali residual dan regional dipisahkan berdasarkan kontinuitas ke atas (*upward continuation*). Sehingga didapatkan dua peta kontur seperti pada gambar berikut:

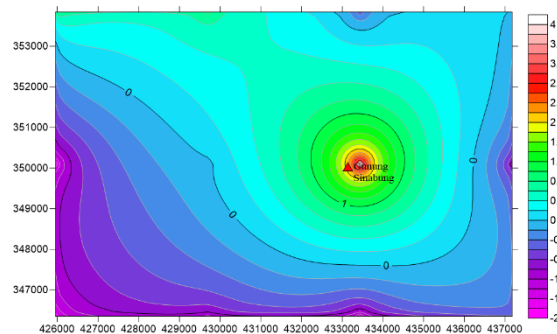
Peta anomali regional menunjukkan penyebaran anomali gravitasi yang disebabkan oleh densitas batuan yang dalam. Penyebaran nilai anomali gravitasi berada pada rentang 55 – 160 mgal dan pada Gunung Sinabung memiliki rentang nilai gravitasi pada 135 – 160 mgal. Hal tersebut berkemungkinan diakibatkan oleh Gunung Sinabung yang tersusun atas batuan dengan massa jenis tinggi seperti, batuan vulkanik tua, dsb.



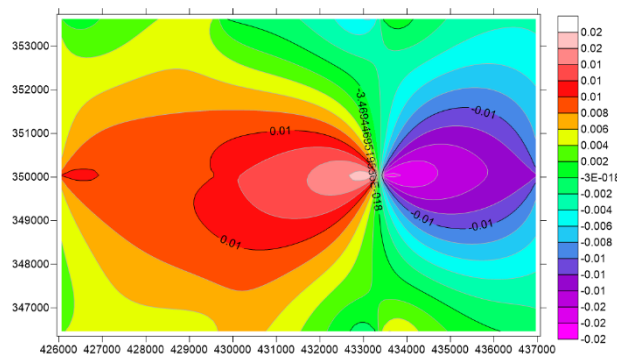
**Gambar 4.** Peta Kontur Anomali Regional



Peta anomali residual menunjukkan penyebaran nilai anomali gravitasi yang disebabkan oleh batuan pada kedalaman yang dangkal. Pada gambar (5) menunjukkan nilai anomali pada rentang -12 – 20 mgal. Sedangkan pada Gunung Sinabung terlihat berada pada warhan hijau hingga merah dengan rentang nilainya 6 – 20 mgal. Hal tersebut menunjukkan bahwa Gunung Sinabung tersusun oleh batuan dengan nilai densitas yang cukup tinggi dibandingkan sekitarnya pada kedalaman yang dangkal.



**Gambar 5.** Peta kontur anomali residual



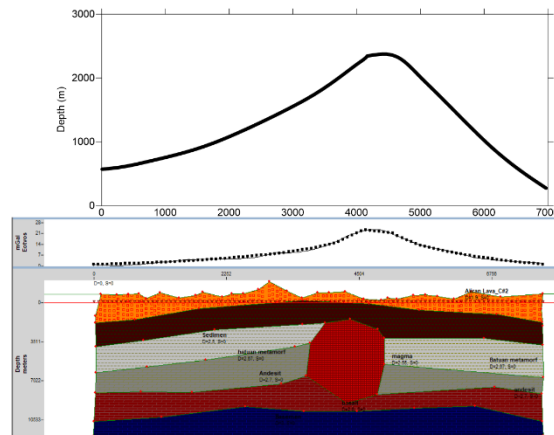
**Gambar 6.** Peta hasil metode *first horizontal derivative*

Analisis keberadaan patahan dilakukan menggunakan metode *derivative* atau turunan. Menganalisis besar kontras densitas pada peta kontur anomali sehingga diduga karena variasi susunan batuan penyusun. Keberagaman struktur batuan penyusun di bawah permukaan dapat disebabkan oleh keberadaan sebuah patahan. Interpretasi metode *derivative* ditunjukkan pada gambar (6) merupakan hasil dari pengolahan metode *first horizontal derivative*.

Gambar (6) menunjukkan peta kontur *first horizontal derivative* yang memperlihatkan sebaran nilai densitas. Pada daerah sekitar Gunung Sinabung terlihat daerah yang memiliki kontras densitas cukup besar dan berada pada jarak yang berdekatan (F1).



Model struktur bawah permukaan pada Gunung Sinabung di dapatkan seperti pada gambar (7).



**Gambar 7.** Model struktur bawah permukaan Gunung Sinabung

Pada gambar (7) terlihat hasil model bawah permukaan gunung Sinabung dilakukan pada kedalaman 0 – 13 km. Selain itu, penentuan struktur batuan penyusun dilakukan berdasarkan referensi peta geologi dan penelitian sebelumnya.

Penampang model struktur bawah permukaan didapatkan berdasarkan peta kontur anomali residual. Sehingga model struktur bawah permukaan merupakan model struktur batuan yang berada pada kedalaman cukup dangkal. Hasil pemodelan menunjukkan susunan batuan terdiri dari batuan dasar dengan densitas 3,0 gr/cc, batuan basalt dengan 2,8 gr/cc, batuan andesit dengan densitas 2,7 gr/cc dan batuan metamorf dengan 2,67 gr/cc, batuan sedimen dengan densitas 2,4 gr/cc. Namun pada struktur bawah permukaan gambar (7) memperlihatkan bahwa terdapat kantong magma yang menyebabkan nilai gravitasi naik. Keberadaan kantong magma ini mengindikasikan bahwa Gunung Sinabung masih dapat berkemungkinan terjadi erupsi magmatik ataupun erupsi freatik.

Hasil pemodelan struktur bawah permukaan, didapatkan kantong magma dengan densitas 2,55 gr/cc. Berdasarkan nilai densitas tersebut, magma yang terkandung merupakan jenis magma riolit-andesit. Hal tersebut didukung berdasarkan kejadian erupsi yang lebih sering dialami oleh Gunung Sinabung merupakan erupsi freatik. Erupsi freatik merupakan erupsi yang didominasi oleh keluarnya abu, asap, dan gas dari gunung api. Magma jenis riolit-andesit mengandung SiO<sub>2</sub> yang tinggi dan memiliki viskositas yang tinggi juga.

#### 4. Simpulan

Penutup berisi simpulan dan saran. Simpulan memuat jawaban atas Hasil pemodelan struktur bawah permukaan Gunung Sinabung didapatkan keberadaan yang diduga dapur magma. Keberadaan dapur magma berada pada kedalaman sekitar 3-9 km di bawah permukaan dengan densitas yang dimiliki adalah 2,55 gr/cc. Sehingga keberadaan magma tersebut dapat diklasifikasikan ke dalam magma jenis riolit-andesit.



## Daftar Pustaka

- Afnimar, McCausland, W.A., Hamidah, N.N., Kristianto, Basuki, A., & Indrastuti, N. (2020). Local magnitude, coda magnitude, and radiated energy of volcanic tectonic earthquakes from October 2010 to December 2011 at Sinabung volcano, Indonesia. *Bull. Volcanol.*, 82(6). doi: 10.1007/s00445-020-01383-7.
- Anggraeni, F.K.A., & Sulistyorini. (2021). Two dimensional modeling (2D) gravity method for interpreting subsurface structure of mount Merapi. *J. Phys. Conf. Ser.*, 1832(1). doi: 10.1088/1742-6596/1832/1/012002.
- BGI. (2009). International Gravimetric Bureau (Bureau Gravimétrique International , BGI). *Rep. Int. Assoc. Geod. 2007-2009*, 10.
- Blakely, R.J. (1996). *Potential Theory in Gravity and Magnetic*.
- De Meyer, F. (1974). Filter Techniques in Gravity Interpretation. *Adv. Geophys.*, 17(C), 187–261. doi: 10.1016/S0065-2687(08)60254-X.
- Gerovska, D., Araúzo-Bravo, M.J., Whaler, K., Stavrev, P., & Reid, A. (2010). Three-dimensional interpretation of magnetic and gravity anomalies using the finite-difference similarity transform. *Geophysics*, 75(4). doi: 10.1190/1.3453765.
- Guo, L., Meng, X., Chen, Z., Li, S., & Zheng, Y. (2013). Preferential filtering for gravity anomaly separation. *Comput. Geosci.*, 51, 247–254. doi: 10.1016/j.cageo.2012.09.012.
- Hartati, A. (2012). Identifikasi Struktur Patahan Berdasarkan Analisa Derivative Metode GayaBerat di Pulau Sulawesi. 95.
- Linsser, H. (1965). a Generalized Form of Nettleton'S Density Determination. *Geophys. Prospect.*, 13(2), 247–258. doi: 10.1111/j.1365-2478.1965.tb01933.x.
- Maimuna, A.K., Pramesthi, E.A., Segoro, Y.A, dkk. (2021). Analisis Anomali Gaya Berat Menggunakan Metode SVD dan Pemodelan 3D (Studi Kasus Gempa di Kepulauan Togean, Kabupaten Tojo Una-Una, Sulawesi .... *J. Geofis.*, 19(1), 17–23, 2021, [Online]. Available: <https://178.128.59.82/index.php/jurnal-geofisika/article/view/466>.
- Mulyaningsih, S., (2015). *Vulkanologi*. Penerbit Ombak.
- Purnomo, J., Koesuma, S., & Yunianto, M. (2016). Pemisahan Anomali Regional-Residual pada Metode Gravitasi Menggunakan Metode Moving Average, Polynomial dan Inversion. *Indones. J. Appl. Phys.*, 3(1) 3, 10. doi: 10.13057/ijap.v3i01.1208.
- R.F.A. (PROGRAM S. F. F. S. D. T. Ghiffarii and U. I. N. S. H. JAKARTA). (2021). *Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Daerah Palu Menggunakan Metode First Horizontal Derivative ( FHD ) dan Fault Fracture Density ( FFD ) dengan Data Gayaberat Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Daerah Palu Menggunakan Metode First Horizontal Derivat*.
- Sutanto. (2003). GEOLOGI DAN UMUR BATUAN VOLKANIK DAERAH BERASTAGI DAN SEKITARNYA. *Wahana Tek.*, 5(3), 160–169.
- Talwani, M. (1965). Computation With The Help of a Digital Computer of Magnetic Anomalies Caused by Bodies of Arbitrary Shape. *Geophysics*, XXX(5), 792–817.
- Tchernychev, M. (2009). MAGPICK - magnetic map & profile processing. *User Guide*. 210.
- Yuliasuti, Y., Suntoko, H., & Susilo, Y.S.B. (2017). Bouguer Density Analysis using Nettleton Method at Banten NPP Site. *J. Pengemb. Energi Nukl.*, 19(1), 43. doi: 10.17146/jpen.2017.19.1.3565.