

## Analisis Kedalaman Sumber Anomali Gravitasi menggunakan *Spectral Statistical Technique* di daerah Godean Yogyakarta

Muhammad Faizal Zakaria

Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta

Email Korespondensi: [mfaizal@upnyk.ac.id](mailto:mfaizal@upnyk.ac.id)

DOI: <https://doi.org/10.20527/flux.v18i1.8526>

Submitted: 27 Mei 2020; Accepted: 14 Agustus 2020

**ABSTRAK** - Analisis kedalaman sumber anomali gravitasi menggunakan *Spectral Statistical Technique* telah dilakukan di daerah Godean, Yogyakarta. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kedalaman formasi di daerah penelitian. Penelitian ini menggunakan 56 titik pengukuran gravitasi yang tersebar dalam 2 lintasan sepanjang 12 km berarah timur barat. Analisa kedalaman dilakukan dari profil data Gravitasi hasil pengolahan, yaitu profil Anomali Bouguer Lengkap. *Spectral Statistical Technique* digunakan sebagai metode penentuan kedalaman dengan menghitung kemiringan grafik Ln (PS) vs k. Hasil dari perhitungan tersebut diperoleh kemiringan 2 jenis anomali, yaitu anomali dalam dan anomali dangkal. Anomali dalam memiliki kemiringan -9704, sedangkan anomali dangkal memiliki kemiringan -279. Kedalaman sumber anomali di daerah penelitian memiliki nilai 770 m untuk anomali dalam yang diinterpretasikan sebagai formasi Nanggulan, dan 22 m untuk anomali dangkal yang diinterpretasikan sebagai Endapan Gunungapi Merapi Muda.

**KATA KUNCI:** *Spectral Statistical Technique*, kedalaman sumber anomali, metode Gravitasi, Godean

**ABSTRACT** - Depth analysis of the gravity anomaly source using *Spectral Statistical Technique* has been carried out in the Godean area, Yogyakarta. This research was conducted to determine the depth of the formation in the study area. This study used 56 gravity acquisition points spread over 2 lines along 12 km east-west direction. Depth analysis is carried out from the Complete Bouguer Anomaly profile. *Spectral Statistical Technique* is used as a method of determining depth by calculating the slope of the graph Ln (PS) vs k. The results of these calculations are obtained slope of 2 types of anomalies, namely deep anomalies and shallow anomalies. The deep anomaly has a slope of -9704, while the shallow anomaly has a slope of -279. The depth of the anomalous source in the study area has a value of 770 m for deep anomalies interpreted as Nanggulan formations, and 22 m for shallow anomalies interpreted as the Merapi Muda Volcano Deposition.

**KEYWORDS:** *Spectral Statistical Technique*, Depth of Gravity Anomaly Source, Gravity Method, Godean

### PENDAHULUAN

Kedalaman sumber anomali merupakan salah satu parameter penting dalam analisis data gravitasi. Kedalaman sumber anomaly gravitasi dapat diartikan sebagai kedalaman batuan yang ingin diketahui. Penelitian mengenai batuan secara mendetail di Kecamatan Godean belum banyak dilakukan. Kedalaman lapisan batuan dapat digunakan sebagai dasar penentuan daerah

pengembangan wilayah terkait dengan potensi kegunaan (Amelia, S.T. & Indraw, 2017; Wahyudin Wahyudin et al., 2019)

Penentuan kedalaman sumber ini biasanya menggunakan penyederhaanan sumber anomali. Analisis kedalaman sumber dapat dibagi menjadi 2 cara, yaitu teknik grafik dan pendekatan semi-otomatis (Hinze et al., 2010). Teknik grafik meliputi *half-width method* (Bruckshaw, 1941; Nettleton, 1942), *straight-*

*slope method* (Dampney, 1977), serta *smith rules* (Bott & Smith, 1958; Smith, 1959, 1960). Teknik grafik membutuhkan model *a priori* dalam penentuan kedalaman. Model yang digunakan cenderung sederhana sehingga membatasi dalam interpretasi anomali-anomali yang lebih kompleks. Pendekatan yang lebih baik dilakukan dengan menggunakan pendekatan semi-otomatis. Beberapa teknik pendekatan ini meliputi *Euler Deconvolution* (Thompson, 1982), *Werner Deconvolution* (Kilty, 1983), serta *Statistical Spectral Techniques* (Hinze et al., 2010).

Penelitian ini menggunakan *statistical spectral techniques* dalam analisis kedalaman sumber anomali. Metode ini memiliki kelebihan dibandingkan metode lain karena menghitung secara statistik, merata-ratakan kedalaman dalam suatu area sehingga dapat digunakan untuk model bawah permukaan yang kompleks. Metode ini juga tidak terlalu sensitif terhadap anomali yang saling tumpang tindih serta noise frekuensi tinggi karena menggunakan analisis panjang gelombang dari anomaly (Hinze et al., 2010). Metode ini terbukti dapat memberikan gambaran kedalaman sumber anomali dengan lebih baik dibandingkan metode yang lain sesuai dengan penelitian-penelitian terdahulu (Ali et al., 2017; Handyarso & Kadir, 2017; Mousa et al., 2017).

Penelitian Ali et al., (2017) menunjukkan bahawa struktur dangkal (<1 km) dan dalam (1-5 km) dapat terpisahkan dengan baik menggunakan metode *statistical spectral techniques*. Data residual gravitasi menunjukkan adanya *salt diaper* dan kemenerusan struktur berarah NW-SE pada kedalaman yang dangkal. Penelitian Handyarso & Kadir (2017) menunjukkan keberadaan Lengguru Fold and Thrust Belt (LFTB) tertutup respon lapisan sedimen pada cekungan Bintuni pada kedalaman kurang dari 6 km, dimana kedalaman ini didapatkan menggunakan metode *Statistical Spectral Techniques*. Penelitian Mousa et al., (2017) menunjukkan bahwa ketebalan dapat dicari menggunakan *Statistical Spectral Techniques*, dan menunjukkan adanya suatu lapisan

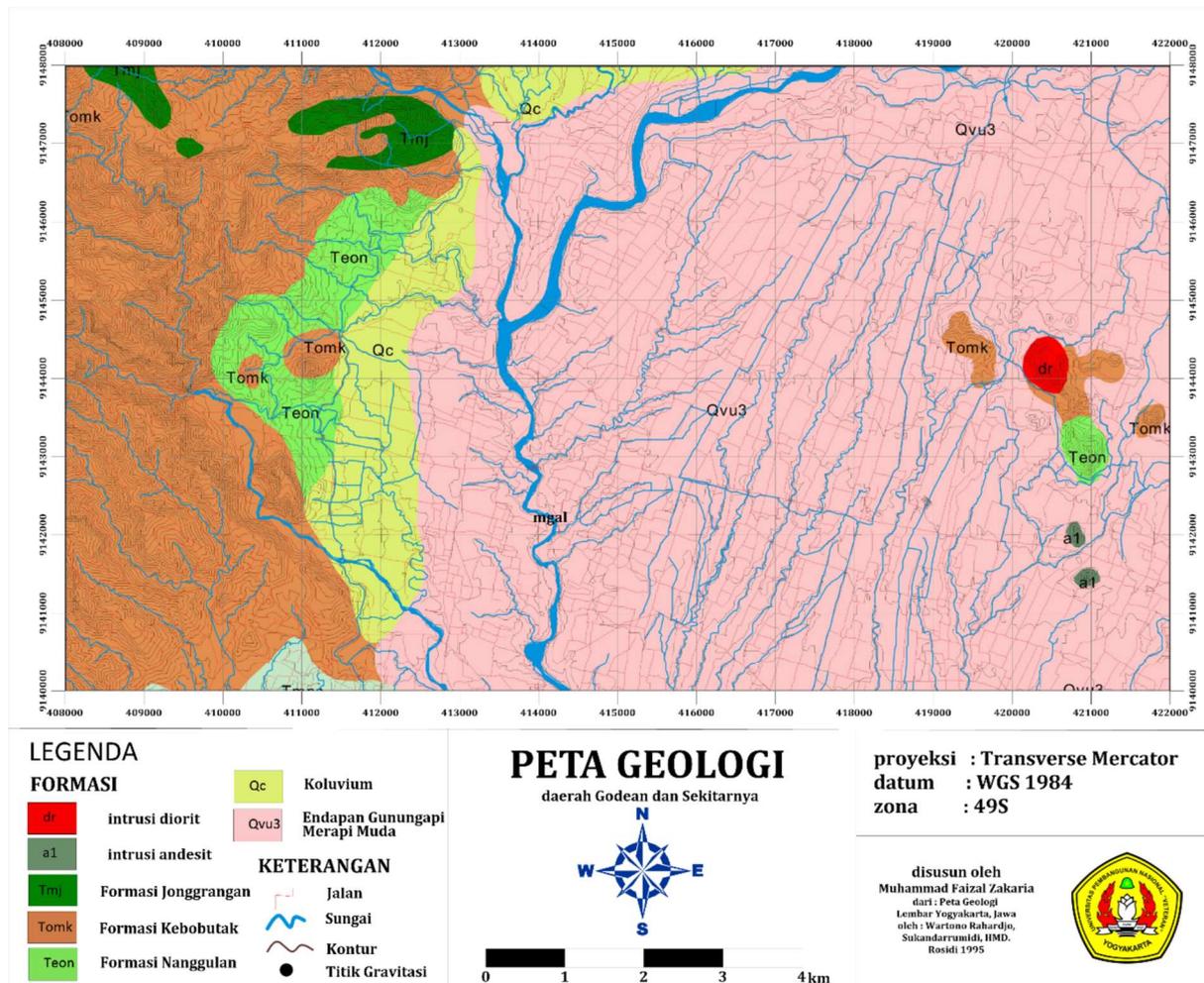
sedimen dengan tebal 4.5 km sampai dengan 11.5 km. Beberapa penelitian lain yang menggunakan Metode *Statistical Spectral Techniques* dengan daerah yang berbeda-beda ditunjukkan pada paper (Badarch & Tsermaa, n.d.; Kosaroglu et al., 2016; Nwankwo & Ene, 2020; Tao et al., 2019; Zaher et al., 2018)

Penelitian dilakukan untuk menganalisis kedalaman sumber di daerah Godean, Yogyakarta Penelitian ini berfokus pada penggunaan metode *Statistical Spectral Techniques* pada penentuan kedalaman lapisan di daerah Godean.

### **Geologi daerah penelitian**

Daerah Istimewa Yogyakarta terletak di bagian tengah dari pulau Jawa, bagian selatan dari daerah Jawa Tengah. Daerah penelitian dibatasi pada koordinat UTM 49 S 408000 E – 422000 E pada arah timur barat dan UTM 49 S 9142000 U – 9145000 U. Daerah ini terbentuk dari cekungan *central depression* yang dibatasi oleh *tertiary volcanic* dan *carbonate massif*, yaitu Pegunungan Kulonprogo pada bagian barat, Pegunungan Gunungkidul pada bagian timur, Gunung api aktif Merapi pada bagian utara serta Samudra Hindia pada bagian selatan (Barianto et al., 2009).

Daerah penelitian berada di bagian barat dari kota Yogyakarta, memanjang dari kecamatan Godean sampai dengan pegunungan Kulonprogo. Pegunungan Kulonprogo merupakan area pegunungan dengan kontur yang cukup terjal yang berada di bagian barat dari daerah Yogyakarta. Berdasarkan Peta Geologi Lembar Yogyakarta (Rahardjo et al., 1995) (Gambar 1), batuan tersier muncul secara tidak selaras di atas batuan Pra-Tersier. Batuan tersier yang paling awal adalah batuan sedimen laut dangkal berumur Eoesen (formasi Nanggulan/Teon). Batuan ini ditemukan sebagai singkapan kecil yang tersebar pada pegunungan Kulonprogo. Aktifitas vulkanisme telah aktif pada masa *Oligocene*, sehingga sebagian besar batuan yang terendapkan setelah masa ini mengandung batuan material vulkanik. Sedimentasi selanjutnya didominasi oleh suksesi vulkanisme laut pada masa Paleogene akhir (Barianto et al., 2009). Termasuk formasi



Gambar 1 Peta Geologi Daerah Penelitian (Rahardjo et al., 1995).

kebobutak (Tomk) yang berisi breksi andesit, tuff, tuff lapilli, aglomerat serta sisipan lava andesit. Batuan batuan ini diterobos oleh batuan beku diorite (dr) pada masa *Miocene*. Seluruh formasi ini tertutup secara tidak selaras oleh batuan *Quaternary fluvio-volcanic* yang merupakan produk Merapi, yaitu Qvu3 dan Qc.

**Prinsip Dasar Metode Gravitasi**

Prinsip dasar yang digunakan dalam metode gravitasi adalah hukum Newton tentang gaya tarik menarik antar partikel. Hukum tersebut menyatakan bahwa gaya tarik antara dua titik massa  $m_0$  dan  $m$  yang berjarak  $\vec{r} - \vec{r}_0$  dinyatakan dalam persamaan(Telford et al., 1990):

$$\vec{F}(\vec{r}) = -G \frac{(m_0 m)}{|\vec{r}_0 - \vec{r}|^2} \times \frac{(\vec{r}_0 - \vec{r})}{|\vec{r}_0 - \vec{r}|} \tag{1}$$

dimana  $\vec{F}(\vec{r})$  adalah gaya yang dialami oleh benda  $m$  karena adanya  $m_0$  dan berlawanan dengan  $|\vec{r}_0 - \vec{r}|$  yang berarah dari  $m_0$  ke  $m$ . Sedangkan  $G$  adalah konstanta gravitasi

universal yang besarnya  $6,672 \times 10^{-11} \text{ N}^2/\text{kg}^2$ .

Gaya persatuan muatan pada sembarang titik berjarak  $r$  dari  $m_0$  didefinisikan sebagai kuat medan gravitasi  $m_0$ . Bila  $m_0$  adalah massa bumi, maka kuat medan gravitasi bumi atau yang sering disebut dengan percepatan medan gravitasi bumi, dapat dirumuskan sebagai:

$$\vec{g} = \vec{E}(\vec{r}) = -G \frac{M_e}{R_e} \hat{r} \tag{2}$$

dengan  $M_e$  adalah massa bumi, dan  $R_e$  adalah jari-jari bumi.

Medan gravitasi merupakan medan konservatif yang arahnya selalu menuju ke pusat bumi. Medan gravitasi dapat dinyatakan sebagai turunan dari fungsi potensial skalar, yaitu:

$$\vec{g} = \vec{E}(\vec{r}) = -\nabla U(\vec{r}) \tag{3}$$

dengan  $U(\vec{r})$  merupakan potensial gravitasi dari masa  $m_0$  yang dirumuskan dengan:

$$U(\vec{r}) = -G \frac{m_0}{m|\vec{r}_0 - \vec{r}|} \tag{4}$$

$$U(\vec{r}) = \int_{\infty}^r (\nabla U) \cdot dr = -\int_{\infty}^r g \cdot dr \tag{5}$$

$$U(\vec{r}) = -Gm \int_{\infty}^r \frac{dr}{r^2} = G \frac{m}{r} \tag{6}$$

### Anomali Gravitasi

Secara matematis dapat didefinisikan bahwa anomali medan gravitasi di topografi atau di posisi (x,y,z) merupakan selisih dari medan gravitasi observasi di topografi terhadap medan gravitasi teoritis di topografi. Medan gravitasi teoritis yaitu medan yang diakibatkan oleh faktor-faktor non-geologi dan harganya dihitung berdasarkan rumusan-rumusan yang dijabarkan secara teoritis. Nilai medan ini dipengaruhi oleh letak lintang, ketinggian, dan massa topografi di sekitar titik tersebut.

Anomali medan gravitasi di topografi dapat dinyatakan dalam bentuk Persamaan (7):

$\Delta g(x, y, z) = g_{obs}(x, y, z) - g_{Teoritis}(x, y, z)$  (7)  
 dengan  $\Delta g(x, y, z)$  merupakan anomali medan gravitasi di topografi, dan  $g_{obs}(x, y, z)$  adalah medan gravitasi observasi di topografi yang sudah dikoreksikan terhadap koreksi pasang-surut, koreksi tinggi alat dan koreksi drift. Sedangkan  $g_{Teoritis}(x, y, z)$  merupakan medan gravitasi teoritis di topografi. Medan gravitasi teoritis yang ditentukan lebih awal

adalah medan gravitasi normal yang terletak pada bidang datum (pada ketinggian  $z = 0$ ) sebagai titik referensi geodesi.

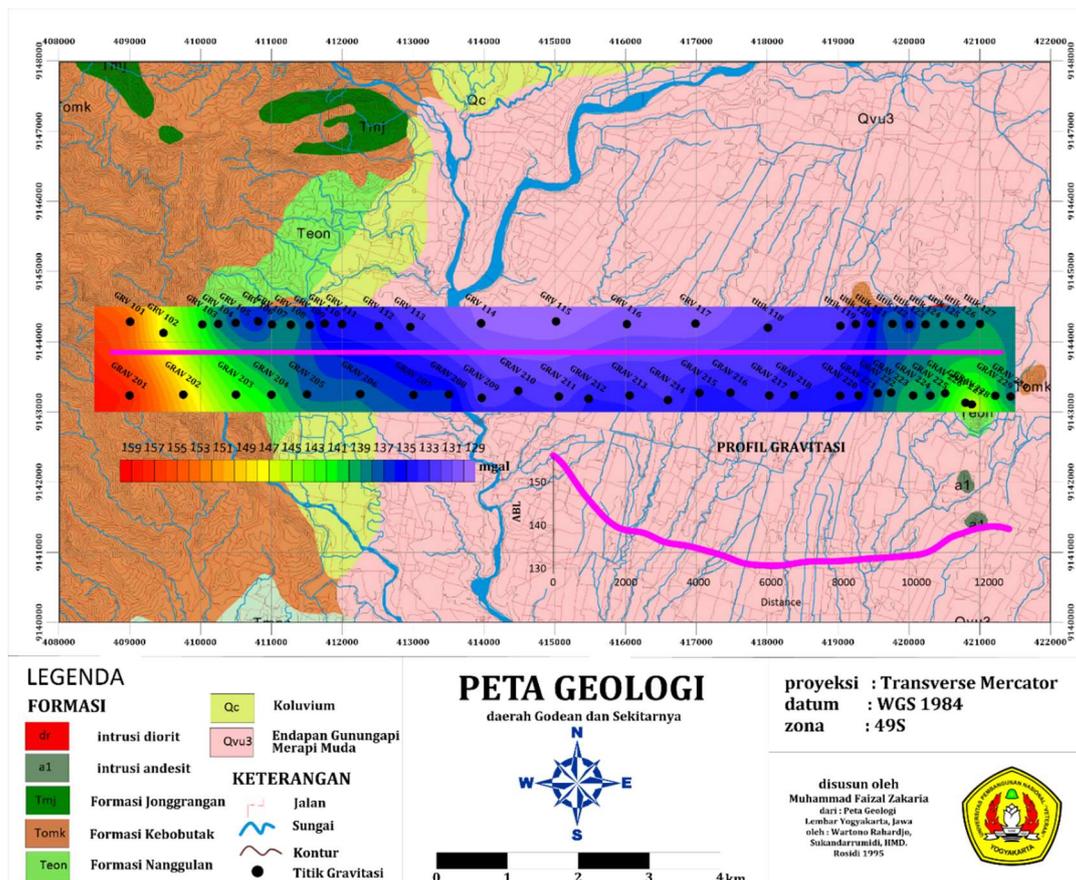
Estimasi kedalaman puncak sumber anomali gravitasi dapat dihitung dengan mempertimbangkan *Power Spectrum (PS)* profil data gravitasi sesuai dengan rumusan (Hinze et al., 2010):

$$PS(k) = Ce^{-4\pi zk} \quad (8)$$

dimana  $k$  adalah *wavenumber* ( $1/\lambda$  dimana  $\lambda$  adalah panjang gelombang) dalam *cycles/unit distance*.  $C$  adalah konstanta yang meliputi parameter lapangan serta parameter gravitasi. Rumusan ini mengasumsikan bahwa ketebalan dan besar dari sumber anomali diabaikan atau  $PS$  yang didapatkan sudah dikoreksi dari faktor-faktor tersebut. Secara umum, faktor paling berpengaruh adalah eksponensial jarak dari sumber anomali. Dengan mengaplikasikan natural logarithmic pada kedua sisi persamaan brapa, maka didapatkan:

$$\ln[PS(k)] = \ln[C] - 4\pi z \quad (9)$$

dimana  $\ln[C]$  adalah persinggungan grafik dengan sumbu  $Y$ , dan  $4\pi z$  merupakan



Gambar 2 Peta Anomali Bouguer Lengkap yang sudah di bidang datar

kemiringan dari grafik garis lurus  $\ln(PS)$  vs  $k$ . Sehingga, kedalaman rata-rata dari sumber anomali dapat dihitung dari kemiringan (*slope*) yaitu (Hinze et al., 2010):

$$z(k) = |slope|/4\pi \quad (10)$$

## METODE PENELITIAN

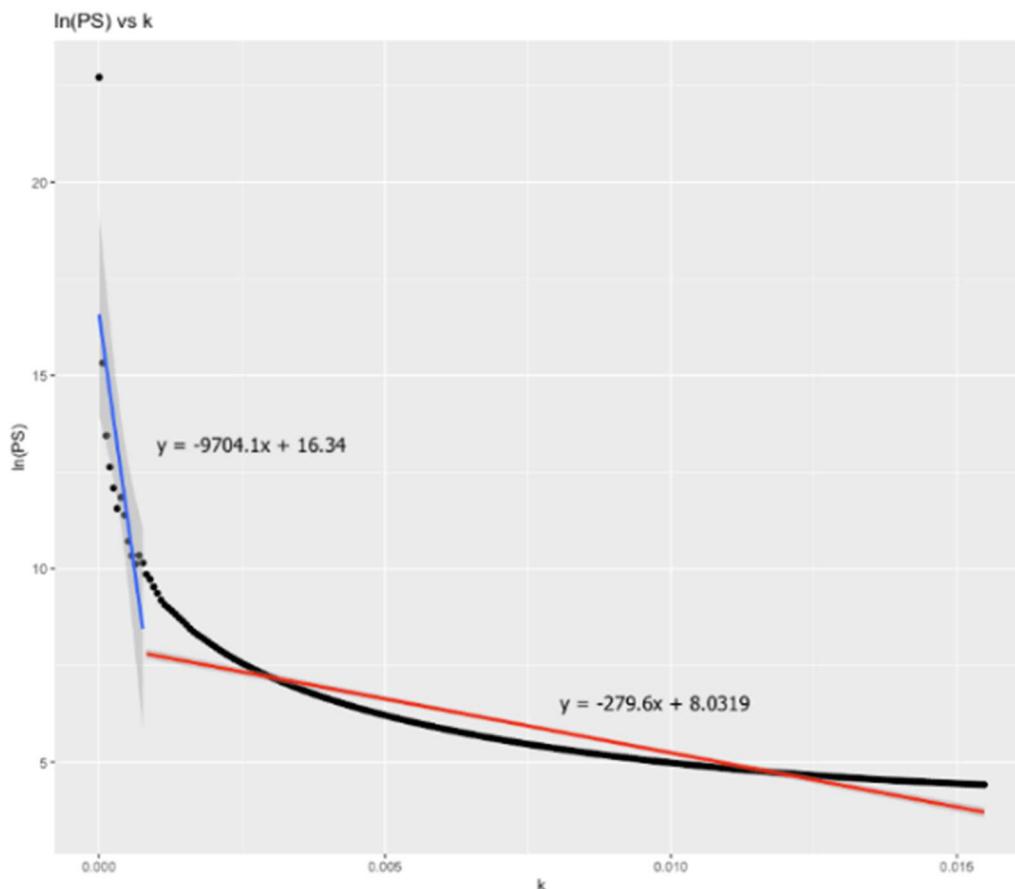
Data yang digunakan merupakan data primer yang diambil pada secara bertahap antara 2016-2017. Titik pengamatan gravitasi berjumlah 56 titik amat tersebar dalam 2 lintasan dengan panjang 12 km berarah timur barat (Gambar 2). Spasi antar titik adalah 200 m sampai dengan 500 m. Jarak antar lintasan adalah 1000 m. Pengambilan data dilakukan menggunakan *Gravimeter La Coste & Romberg G-1118 MVR Feedback system* dan *GPS Trimble 4600LS*. Peralatan penunjang lainnya meliputi *Tripod GPS trimble*, *GPS hand held*, mistar dan meteran. Data yang tersedia berupa data Anomali Bouguer Lengkap yang sudah dilakukan reduksi ke bidang datar serta data posisi hasil pengolahan *GPS Geodetic Tremble*.

Pengolahan data dilakukan menggunakan data Gravitasi Observasi, koreksi Free Air, Koreksi Bouguer untuk mendapatkan Anomali Bouguer Lengkap (ABL). Reduksi ke Bidang datar diterapkan pada data ABL untuk mendapatkan data Anomali Bouguer Lengkap di bidang datar.

Analisis kedalaman menggunakan *statistical spectral techniques* pada profil gravitasi. Teknik ini membutuhkan rumusan Fast Fourier Transfor (FFT) dalam prosesnya. Hasil nilai ABL di bidang datar vs Jarak akan dilakukan FFT. Syntak FFT yang digunakan adalah syntak FFT pada *software Matlab*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis kedalaman dilakukan untuk mengetahui respon batuan yang lebih dalam. Analisis kedalaman dilakukan dengan *statistical spectral techniques* (Hinze et al., 2010) [3]. Teknik ini menghitung kedalaman dari grafik *Natural Logarithmic Power Spectrum (Ln(PS))* vs bilangan gelombang ( $k$ ) data profil gravitasi.



Gambar 3 Grafik  $\ln(PS)$  vs  $k$  hasil FFT.

Grafik tersebut didapatkan dengan mengaplikasikan FFT terhadap data profil Gravitasi. Grafik Natural Logarithmic Power Spectrum ( $\ln(PS)$ ) vs bilangan gelombang ( $k$ ) dapat dilihat pada Gambar 3.

Bilangan gelombang yang rendah berasosiasi dengan kedalaman anomali yang lebih dalam (anomali regional). Sedangkan bilangan gelombang yang tinggi berasosiasi dengan kedalaman anomaly yang lebih dangkal (anomali lokal). Kemiringan (*slope*) dari grafik tersebut merupakan fungsi dari kedalaman sesuai dengan Persamaan 2. Garis biru merupakan kemiringan (*slope*) dari anomali regional. Garis ini memiliki *slope* -9704, kedalaman yang didapatkan dengan menggunakan rumus (10) adalah 770 m. Garis merah merupakan kemiringan (*slope*) dari anomali dangkal. Garis ini memiliki *slope* -279, dan kedalaman yang didapatkan adalah 22 m.

Hasil pengolahan data gravitasi berupa Anomali Bouguer Lengkap (ABL) yang sudah reduksi ke bidang datar. Variasi nilai ABL berkisar antara 129 mgal – 159 mgal. Anomali tinggi pada bagian barat berkorelasi dengan pegunungan Kulonprogo yang didominasi oleh formasi kebobutak. Formasi ini memiliki densitas yang relative lebih besar dibandingkan formasi lainnya sehingga memberikan respon ABL tinggi. Anomali sedang (kontur berwarna hijau) di bagian timur berkorelasi dengan adanya intrusi diorite pada daerah tersebut. Intrusi diorit memiliki densitas yang lebih tinggi daripada batuan yang diterobos, yaitu batuan Endapan Gunungapi Merapi Muda. ABL di daerah penelitian didominasi oleh nilai rendah yaitu pada bagian tengah daerah penelitian (Kontur warna biru). Nilai anomaly rendah ini berkorelasi dengan batuan endapan Gunungapi merapi muda yang memiliki densitas rendah.

Geologi di daerah penelitian menunjukkan bahwa daerah penelitian didominasi oleh batuan Endapan merapi muda. Terdapat kemunculan formasi kebobutak dan formasi nanggulan di bagian barat serta intrusi diorite di bagian timur. Formasi Nanggulan berada dibawah batuan Endapan Gunungapi Merapi

Muda. Kedalaman regional pada data gravitasi diidentifikasi sebagai lapisan yang lebih dalam, yaitu formasi Nanggulan. Formasi ini memiliki kedalaman 770 m. kedalaman lokal diidentifikasi sebagai lapisan yang lebih dangkal, yaitu Endapan Gunungapi Merapi Muda dengan kedalaman 22 m.

## KESIMPULAN

Analisis kedalaman terhadap data gravitasi menunjukkan hasil yang cukup relevan dengan keadaan geologi daerah penelitian. Anomali dalam merupakan respon formasi yang lebih dalam, yaitu formasi Nanggulan. Formasi Nanggulan berada dibawah lapisan paling atas di daerah penelitian (endapan gunungapi merapi muda). Hasil perhitungan kedalaman menunjukkan bahwa kedalaman lapisan ini adalah 770 m. Sedangkan anomali dangkal merupakan respon dari formasi yang lebih dangkal, yaitu Endapan Gunungapi Merapi Muda. Lapisan ini memiliki kedalaman 22m.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ali, M. Y., Fairhead, J. D., Green, C. M., & Noufal, A. (2017). Basement structure of the United Arab Emirates derived from an analysis of regional gravity and aeromagnetic database. *Tectonophysics*, 712–713, 503–522.  
<https://doi.org/10.1016/j.tecto.2017.06.006>
- Amelia, S.T., R., & Indraw, I. G. B. (2017). *Penyelidikan Geologi Teknik Lokasi Bandara Baru Di Daerah Istimewa Yogyakarta*.
- Badarch, D., & Tsermaa, B. (n.d.). *Estimation Of Sedimentary Cover Thickness By Using Spectral Analysis Of Gravity Anomalies*.
- Bariato, D. H., Aboud, E., & Setijadji, L. D. (2009). Structural analysis using landsat TM, gravity data, and paleontological data from tertiary rocks in yogyakarta, Indonesia. *Memoirs of the Faculty of Engineering, Kyushu University*.
- Bott, M. H. P., & Smith, R. A. (1958). The Estimation Of The Limiting Depth Of Gravitating Bodies. *Geophysical Prospecting*, 6(1), 1–10.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365->

- 2478.1958.tb01639.x
- Bruckshaw, J. M. (1941). Geophysical Prospecting for Oil. *Nature*, 148(3745), 151–152. <https://doi.org/10.1038/148151a0>
- Dampney, C. N. G. (1977). Gravity interpretation for hydrocarbon exploration? a workshop manual or learning to see geology in a gravity profile. *Exploration Geophysics*, 8(4), 161–180. <https://doi.org/10.1071/EG977161>
- Handyarso, A., & Kadir, W. G. A. (2017). Gravity data decomposition based on spectral analysis and halo wavelet transform, case study at bird's head Peninsula, west papua. *Journal of Engineering and Technological Sciences*. <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2017.49.4.1>
- Hinze, W. J., Von Frese, R. R. B., & Saad, A. H. (2010). Gravity and magnetic exploration: Principles, practices, and applications. In *Gravity and Magnetic Exploration: Principles, Practices, and Applications*. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511843129>
- Kilty, K. T. (1983). Werner deconvolution of profile potential field data. *Geophysics*, 48(2), 234–237. <https://doi.org/10.1190/1.1441463>
- Kosaroglu, S., Buyuksarac, A., & Aydemir, A. (2016). Modeling of shallow structures in the Cappadocia region using gravity and aeromagnetic anomalies. *Journal of Asian Earth Sciences*, 124, 214–226. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2016.05.005>
- Mousa, A., Mickus, K., & Al-Rahim, A. (2017). The thickness of cover sequences in the Western Desert of Iraq from a power spectrum analysis of gravity and magnetic data. *Journal of Asian Earth Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2017.02.022>
- Nettleton, L. L. (1942). Gravity And Magnetic Calculations. *GEOPHYSICS*, 7(3), 293–310. <https://doi.org/10.1190/1.1445015>
- Nwankwo, C. N., & Ene, E. C. (2020). Structural Investigation of Udi LGA of Enugu State, South Eastern Nigeria Using High Resolution Bouguer Gravity and Landsat Data. *Asian Journal of Research and Reviews in Physics*, 3(1), 17–32. <https://www.journalajr2p.com/index.php/AJR2P/article/view/30112>
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi, & Rosidi, H. M. D. (1995). *Peta geologi lembar Yogyakarta, Jawa [peta]*. <https://opac.perpusnas.go.id/DetailOpac.aspx?id=141772>
- Smith, R. A. (1959). Some Depth Formulae For Local Magnetic And Gravity Anomalies. *Geophysical Prospecting*, 7(1), 55–63. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2478.1959.tb01453.x>
- Smith, R. A. (1960). Some Formulae For Interpreting Local Gravity Anomalies. *Geophysical Prospecting*, 8(4), 607–613. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2478.1960.tb01736.x>
- Tao, G., Wang, G., & Zhang, Z. (2019). Extraction of Mineralization-Related Anomalies from Gravity and Magnetic Potential Fields for Mineral Exploration Targeting: Tongling Cu(–Au) District, China. *Natural Resources Research*, 28(2), 461–486. <https://doi.org/10.1007/s11053-018-9397-0>
- Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). Applied geophysics. 2nd edition. *Applied Geophysics. 2nd Edition*.
- Thompson, D. T. (1982). EULDPH: a new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data. *Geophysics*, 47(1), 31–37. <https://doi.org/10.1190/1.1441278>
- Wahyudin Wahyudin, Sulistiawaty Sulistiawaty, & Nasrul Ihsan. (2019). Analisis Kerentanan Bendungan Ponre-Ponre Kabupaten Bone Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor Dengan Metode HVSR. In *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika* (Vol. 15, Issue 2). <https://doi.org/10.35580/JSPF.V15I2.11041>
- Zaher, M. A., Saibi, H., Mansour, K., Khalil,

A., & Soliman, M. (2018). Geothermal exploration using airborne gravity and magnetic data at Siwa Oasis, Western Desert, Egypt. In *Renewable and*

*Sustainable Energy Reviews* (Vol. 82, pp. 3824–3832). Elsevier Ltd.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.088>