

ESTIMASI KEDALAMAN *MAGNETIC BASEMENT* DI NORTH QUEENSLAND, AUSTRALIA DENGAN MENGGUNAKAN METODE ANALISIS SPEKTRAL

^{1*}Anis Mawadah, ¹Piter Lepong, ²Adrianus Inu Natalisanto

¹Laboratorium Geofisika, Fakultas MIPA, Universitas Mulawarman

²Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Mulawarman

*Email: anismawadah@fmipa.unmul.ac.id

ABSTRACT

Magnetic method is a geophysical method based on the variations in the magnetic field caused by differences in the magnetic properties of rocks. The aim of this study was to estimate the depth of the magnetic basement in North Queensland, Australia, based on Total Magnetic Intensity (TMI) data in the study area. Magnetic data was obtained from Commonwealth of Australia (Geoscience Australia) website. This study employed the spectral analysis method to separate magnetic anomalies generated by deeper sources (regional anomalies) and the magnetic anomalies generated by shallower sources (residual anomalies). Based on the study results, there were differences in anomalies obtained from 5 profiles/lines running from East to West on the study location map. The results of spectral analysis showed that the average depths of regional and residual anomalies were 36.75 km and 3.48 km, respectively. Indicating that the depth of the magnetic basement becomes shallower toward the northern part of the study area. In the southern part of the study area, a depth of 75.51 km was obtained, while further north, the magnetic basement becomes shallower, with a depth of 22.96 km. The results are expected to be useful in mapping the magnetic basement depth in the Mount Isa region, given that Mount Isa is a mineral-rich mining town. Therefore, estimating magnetic basement depth will be useful for determining basement and sedimentary boundaries to identify potentially mineralized basins.

Keywords: Magnetic Basement, Magnetic Method, Spectral Analysis

ABSTRAK

Metode magnetik adalah metode geofisika yang didasarkan pada variasi medan magnet yang disebabkan oleh perbedaan sifat magnetik batuan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui estimasi kedalaman *magnetic basement* di North Queensland, Australia, berdasarkan data Intensitas Magnetik Total (TMI) di lokasi penelitian. Data magnetik diperoleh dari *website* Commonwealth of Australia (Geoscience Australia). Penelitian ini menggunakan metode analisis spektral untuk memisahkan anomali magnetik yang dihasilkan oleh sumber yang lebih dalam (anomali regional) dan anomali magnetik yang dihasilkan oleh sumber yang lebih dangkal (anomali residual). Berdasarkan hasil penelitian, terdapat perbedaan anomali yang diperoleh dari 5 profil/garis yang mengarah dari Timur ke Barat pada peta lokasi penelitian. Hasil analisis spektral menunjukkan bahwa rata-rata kedalaman anomali regional dan residual masing-masing adalah 36,75 km dan 3,48 km yang menunjukkan kedalaman *magnetic basement* menjadi lebih dangkal ke arah utara pada lokasi penelitian. Di bagian selatan area penelitian, diperoleh kedalaman 75,51 km. Sedangkan semakin ke utara *magnetic basement* menjadi lebih dangkal yang diperoleh pada kedalaman 22,96 km. Hasil penelitian ini

diharapkan dapat berguna dalam memetakan kedalaman basement magnetik di wilayah Gunung Isa, mengingat Gunung Isa merupakan kota tambang yang kaya akan mineral. Oleh karena itu, estimasi kedalaman ruang bawah tanah magnetik akan berguna untuk menentukan batas ruang bawah tanah dan sedimen untuk mengidentifikasi cekungan yang berpotensi mengandung mineral.

Kata Kunci: *Magnetic Basement*, Metode Magnetik, Analisis Spektral

1. PENDAHULUAN

Bumi merupakan salah satu planet yang berada di sistem tata surya. Secara umum, bumi terdiri dari 3 lapisan yaitu lapisan terluar disebut kerak bumi (*crust*), lapisan yang berada di bawah kerak bumi disebut selimut bumi (*mantle*) dan lapisan terakhir yang terletak di bawah selimut bumi yakni inti bumi (*core*). (Turcotte, D.L. & Schubert, G., 2014). Tiap lapisan-lapisan tersebut tersusun atas berbagai macam batuan yang memiliki karakteristik dan sifat batuan yang kompleks salah satunya adalah sifat kemagnetan.

Metode magnetik merupakan salah satu metode geofisika yang digunakan untuk memperoleh gambaran atau informasi mengenai bawah permukaan bumi berdasarkan karakteristik magnetiknya. Penggunaan metode magnetik didasarkan pada adanya anomali medan magnet bumi yang disebabkan oleh perbedaan nilai suseptibilitas (kerentanan) magnetik suatu batuan atau adanya perbedaan sifat kemagnetan dari batuan yang ada di bawah permukaan bumi. Objek pengamatan dari metode ini adalah sifat kemagnetan batuan yang berada dalam formasi batuan dan mempengaruhi pemetaan struktur bawah permukaan secara magnetik.

Untuk mengetahui keadaan bawah permukaan di suatu daerah, dengan salah satu targetnya *magnetic basement*, dapat digunakan metode magnetik dengan menerapkan teknik atau metode tertentu pada proses pengolahan data. Beberapa teknik dapat digunakan, antara lain: Analisis Spektral, *Euler Deconvolution*, *Werner Deconvolution* dan *Source Parameter Imaging* (SPI).

Dalam penelitian ini dilakukan kajian terhadap data anomali medan magnet total dengan menggunakan analisis spektral. Analisis spektral diterapkan karena metode ini dapat memisahkan anomali regional dan residual dengan cara menganalisis logaritma amplitudo terhadap bilangan gelombang sehingga menghasilkan persamaan garis lurus, dimana kemiringan grafik atau *slope* menunjukkan kedalaman sumber anomali (Nugraha, 2016). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui estimasi kedalaman *magnetic basement* di North Queensland, Australia.

2. TEORI

2.1 Metode Magnetik

Metode magnetik merupakan metode geofisika yang didasarkan pada pengukuran variasi intensitas medan magnet di permukaan bumi yang disebabkan oleh adanya variasi distribusi benda termagnetisasi di bawah permukaan bumi (suseptibilitas). Metode ini sangat efektif untuk memisahkan anomali massa yang memiliki perbedaan konduktivitas dan suseptibilitas yang signifikan terhadap lingkungan sekitarnya, atau pada kondisi pembebanan massa tanah (*overburden mass*) yang relatif dangkal (Telford *et al*, 1990). Metode magnetik merupakan salah satu metode geofisika yang sering digunakan untuk survei pendahuluan pada eksplorasi gas bumi, minyak bumi dan penyelidikan batuan mineral (Yuliyanto, 2001).

2.2 Suseptibilitas Magnetik

Suseptibilitas dinyatakan sebagai tingkat/derajat termagnetisasinya suatu

benda/bahan karena pengaruh medan magnetik. Nilai suseptibilitas sangat berperan penting dalam pencarian benda penyebab anomali magnetik karena setiap batuan dan mineral mempunyai sifat magnet yang berbeda. Nilai suseptibilitas pada batuan semakin besar apabila dalam batuan tersebut semakin banyak dijumpai mineral-mineral bersifat magnetik (Telford *et al*, 1990).

Tabel 1. Nilai Suseptibilitas Magnetik dari Beberapa Batuan (Telford, 1990)

Type	Susceptibility $\times 10^3$ (SI)	
	Range	Average
Sedimentary		
Dolomite	0 - 0.9	0.1
Limestones	0 - 3	0.3
Sandstones	0 - 20	0.4
Shales	0.01 - 15	0.6
Av. 48 sedimentary	0 - 18	0.9
Methamorphic		
Amphibite		0.7
Schist	0.3 - 3	1.4
Pheyllite		1.5
Gneiss	0.1 - 25	
Quartzite		4
Serpentine	3 - 17	
Slate	0 - 35	6
Av. 61 methamorphic	0 - 70	4.2
Igneous		
Granite	0 - 50	2.5
Rhyolite	0.2 - 35	
Dolorite	1 - 35	17
Augite – syenite	30 - 40	
Olivine – diabase		25
Diabase	1 - 160	55
Phorphyry	0.3 - 200	60
Gabbro	1 - 90	70
Basalts	0.2 - 175	70
Diorite	0.6 - 120	85
Pyroxenite		125
Peridotite	90 - 200	150
Andesite		160
Av. Acidic igneous	0 - 80	8
Av. Basic igneous	0.5 - 97	25

2.3 Magnetic Basement

Blakely (1996) menyatakan bahwa secara umum mantel bumi bersifat nonmagnetik. Berdasarkan pandangan ini,

tingkat kedalaman batuan magnetik yang berada pada bidang batas antara kerak bumi dengan mantel bumi atau yang berada pada suhu *Curie* masih cenderung dangkal. Beberapa penelitian menyebutkan bahwa batuan yang berada pada mantel bumi bagian atas (*upper mantle*) memiliki tingkat magnetisasi yang signifikan, terutama pada daerah *oceanic*. Berdasarkan hal ini, dapat dikatakan bahwa bidang batas antara kerak bumi dengan mantel bumi merupakan *magnetic basement*, dengan asumsi bahwa batuan yang berada pada kerak bumi bagian atas berkontribusi terhadap medan magnetik bumi. Oleh karena itu, benda-benda yang berada pada suhu *Curie* (bidang batas antara *crust-mantle*) dan bidang batas antara *core* dan *mantle* umumnya dianggap bersifat nonmagnetik (Blakely, 1996).

Dalam survei geofisika, *magnetic basement* atau batuan dasar magnetik sering digunakan sebagai referensi untuk menentukan kedalaman dan struktur di bawah permukaan bumi berdasarkan data anomali magnetik. Studi mengenai *magnetic basement* penting dilakukan diantaranya untuk eksplorasi sumber daya alam, studi geologi regional, dan pemodelan geofisika.

2.4 Analisis Spektral

Analisis spektral merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengetahui estimasi kedalaman anomali regional dan anomali residual dari data anomali magnetik. Selain itu proses analisis spektral juga digunakan untuk mendapatkan lebar jendela yang akan digunakan pada proses pemisahan anomali regional dan residual (Nugraha, 2016).

Proses analisis spektral biasanya dilakukan dalam satu dimensi, dengan anomali magnetik yang terdistribusi pada penampang 1D diekspansikan pada deret Fourier. Proses transformasi Fourier dilakukan dengan tujuan mengubah data dari domain waktu atau jarak menjadi domain frekuensi atau bilangan gelombang. Dengan menganalisis bilangan gelombang

(k) dan amplitudo (A), dapat diperkirakan nilai kedalaman anomali regional dan residual (Nugraha, 2016).

Transformasi Fourier untuk penampang 1D yang diturunkan oleh Blakely (1996) yakni:

$$F(k) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)e^{-ikx} dx \quad (1)$$

dengan k adalah bilangan gelombang, yang nilainya:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2)$$

Nilai $F(k)$ merupakan fungsi spektrum dalam domain frekuensi dengan k adalah bilangan gelombang, sedangkan $f(x)$ merupakan fungsi spektrum dalam domain jarak dengan x adalah jarak.

Transformasi Fourier secara umum merupakan sebuah fungsi penjumlahan dari bilangan real dan imajiner, yaitu:

$$F(k) = \text{Re}F(k) + \text{Im}F(k) \quad (3)$$

atau dapat juga ditulis dalam persamaan:

$$F(k) = |F(k)|e^{i\theta(k)} \quad (4)$$

dengan:

$$|F(k)| = [(\text{Re}F(k))^2 + (\text{Im}F(k))^2]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

Persamaan (5) disebut juga persamaan *Power Spectrum* (Blakely, 1996).

Persamaan garis lurus dalam penentuan kedalaman anomali diturunkan dari potensial medan magnet yang teramati pada suatu bidang horizontal. Bentuk persamaannya adalah sebagai berikut:

$$\mathcal{F}(\phi) = \frac{\mu_0 m}{2} \left(\frac{e^{|k|(z_0 - z')}}{|k|} \right), \quad z' > z_0 \quad (6)$$

karena itu, transformasi Fourier pada lintasan yang diinginkan dan terkait anomali medan magnet yang bersesuaian (H_z) adalah:

$$\mathcal{F}(H_z) = \left(\frac{\mu_0 m}{2} \right) e^{|k|(z_0 - z')} \quad (7)$$

Jika $\left(\frac{\mu_0 m}{2} \right)$ merupakan konstanta C , maka transformasi Fourier anomali medan magnet menjadi:

$$\mathcal{F}(H_z) = C e^{|k|(z_0 - z')} \quad (8)$$

Untuk memperoleh hubungan antara nilai amplitudo ($\mathcal{F}(H_z)$) dengan bilangan gelombang (k) dan kedalaman anomali ($z_0 - z'$) dapat dilakukan dengan melogaritmakan persamaan (8) sehingga

bilangan gelombang (k) berbanding lurus dengan nilai spektrum amplitudo, yaitu:

$$\ln \mathcal{F}(H_z) = \ln C e^{|k|(z_0 - z')} \quad (9)$$

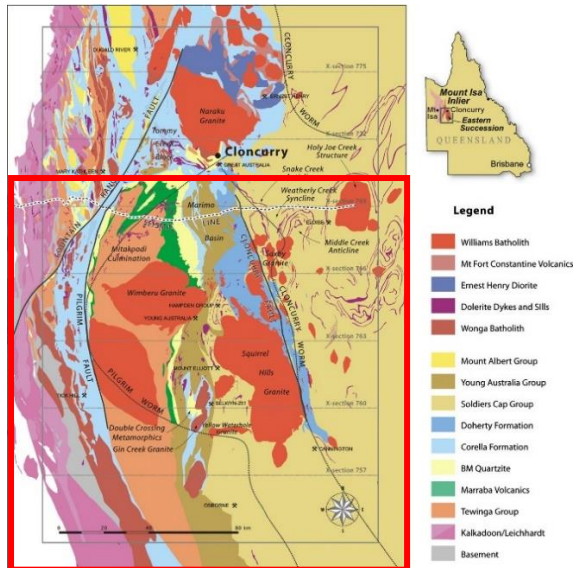
$$\ln \mathcal{F}(H_z) = |k|(z_0 - z') + C \quad (10)$$

Dengan menggunakan persamaan (10), dapat ditentukan bidang batas sumber anomali ($z_0 - z'$) dengan membuat grafik nilai amplitudo dengan bilangan gelombang (k), sehingga dapat langsung diketahui nilai kedalaman bidang batas sumber anomali dari kemiringan grafik atau *slope* grafik $\ln(A)$ terhadap k (Nugraha, 2016).

2.5 Geologi Regional

Lokasi penelitian merupakan daerah yang terletak di bagian timur Mount Isa, North Queensland, Australia, terdiri dari sebagian besar wilayah *Eastern Succession* dan termasuk didalamnya adalah Kalkadoon-Leichhardt dan *Eastern Fold Belts*. *Eastern Succession* sendiri terbagi menjadi 3 *cover sequences*. *Cover sequence* 1 (1850-1875 Ma) merupakan Kalkadoon-Leichhardt.

Tewinga Group, Marraba Volcanics, Ballara and Mitakoodi Quartzite, Corella Formation dan Doherty Formation termasuk kedalam *cover sequence* 2 (Gambar 1). Sedangkan untuk *cover sequence* 3 (1680-1610 Ma) terdiri dari batuan kuarsit, pelite, karbonat dan batuan vulkanik. Batuan-batuan ini termasuk kedalam Soldiers Cap, Young Australia dan Mount Albert Groups (Gambar 1) (Blenkinsop dkk., 2007).



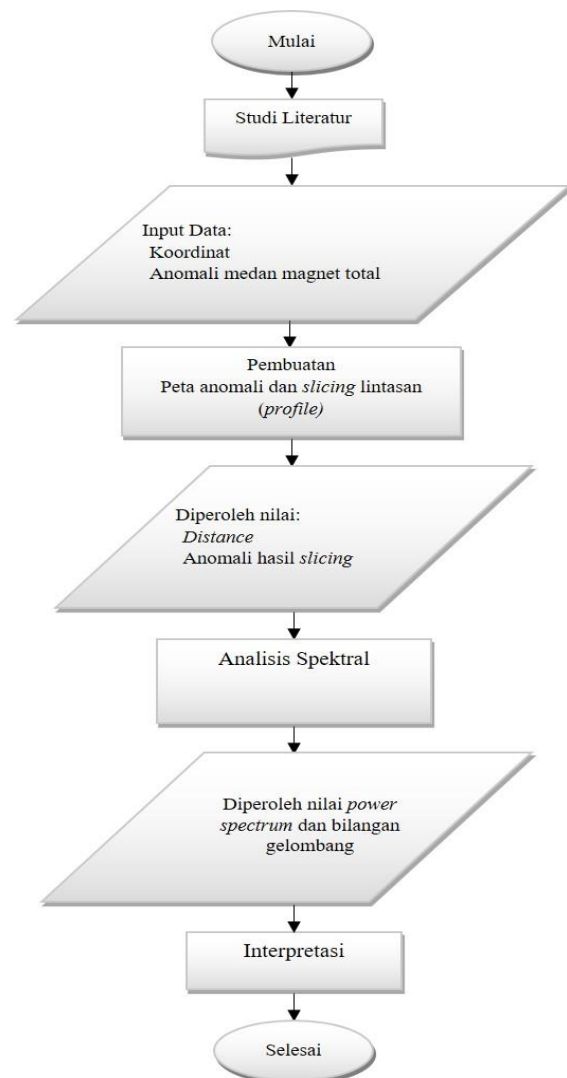
Gambar 1. Peta Geologi Lokasi Penelitian

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang telah dikoreksi yakni *data Total Magnetic Intensity* (TMI) di North Queensland, Australia. Data tersebut diperoleh dari *website Geoscience Australia* pada tautan berikut <https://www.ga.gov.au/>.

Tahap awal dalam proses pengolahan data pada penelitian ini adalah membuat peta anomali medan magnet dari data TMI. Input dari proses ini adalah data koordinat dan nilai anomali. Proses selanjutnya adalah membuat beberapa *profile* atau *slicing* lintasan pada peta anomali tersebut. Kemudian diperoleh nilai jarak dan nilai anomali hasil *slicing*.

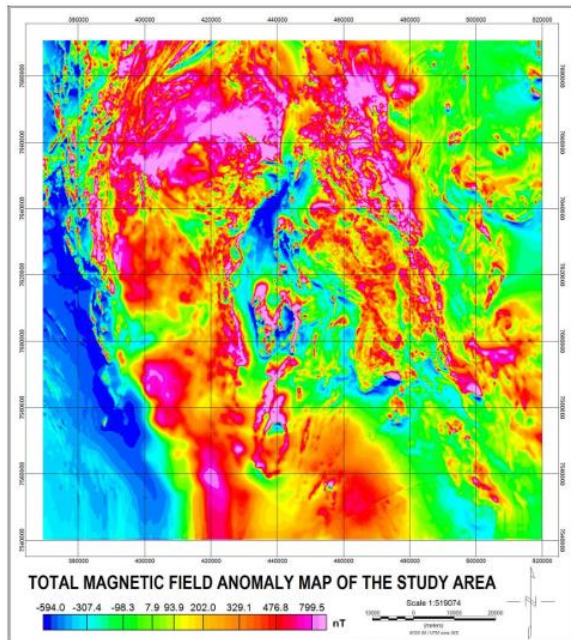
Tahap selanjutnya adalah proses analisis spektral yang bertujuan untuk mengetahui kedalaman bidang anomali regional dan residual. *Input* dari proses ini adalah jarak antar titik pengukuran dan nilai anomali magnetik total hasil dari *slice* lintasan yang memotong kontur anomali magnetik total secara horizontal. Kemudian didapatkan bilangan *real* dan imajiner. Dari nilai-nilai tersebut dapat dihitung nilai amplitudo dan bilangan gelombang sehingga dapat dibuat grafik $\ln A$ terhadap k . Dari grafik tersebut dapat diketahui kedalaman bidang batas antara zona regional dan residual dengan membuat regresi linier pada kedua zona tersebut.



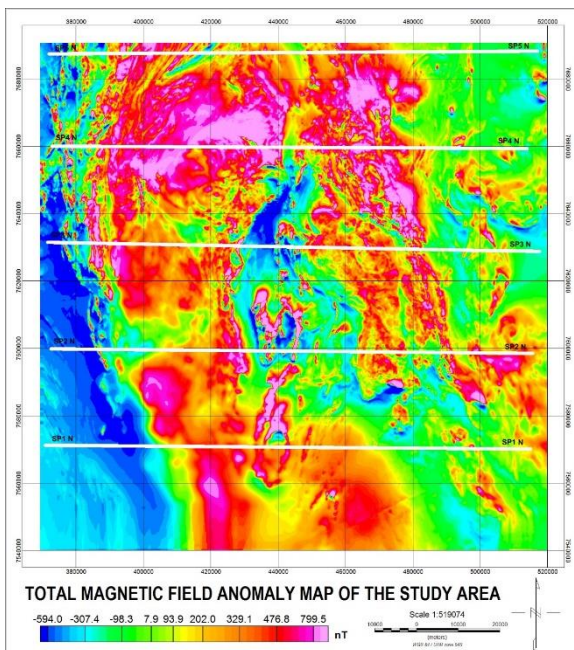
Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data *Total Magnetic Intensity* (TMI) diolah untuk menghasilkan Peta Anomali Medan Magnet Total Lokasi Penelitian (Gambar 3). Pada penelitian ini, dilakukan *slicing* atau sayatan pada peta anomali medan magnet sebanyak 5 *profile* dari bagian selatan ke utara yang mewakili nilai anomali daerah penelitian (Gambar 4). Pemilihan *profile* berdasarkan pada pola kontur anomali tinggi ke rendah atau rendah ke tinggi. Selanjutnya dilakukan analisis spektral terhadap *profile-profile* tersebut.

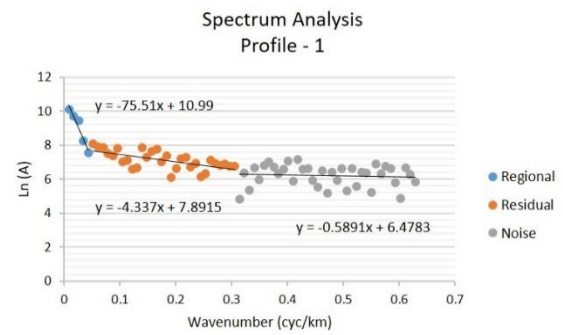


Gambar 3. Peta anomali medan magnet total lokasi penelitian

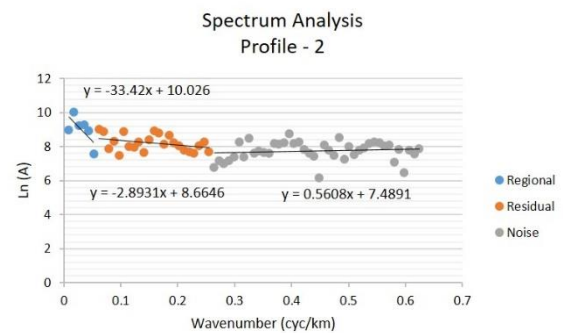


Gambar 4. Peta *slicing* lintasan lokasi penelitian

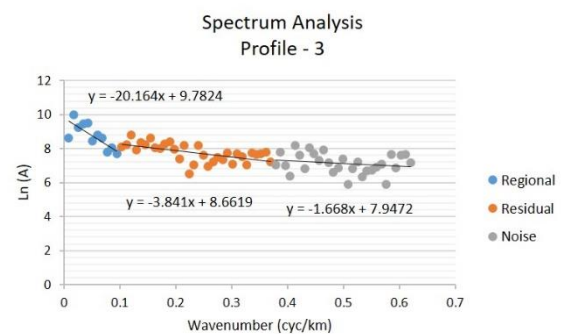
Hasil analisis spektral diperlihatkan pada Gambar 5 – 9.



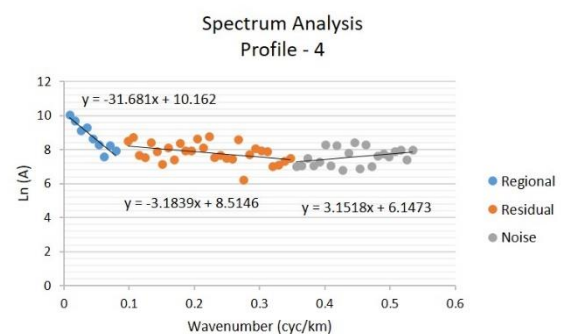
Gambar 5. Grafik Analisis Spektral *Profile 1*



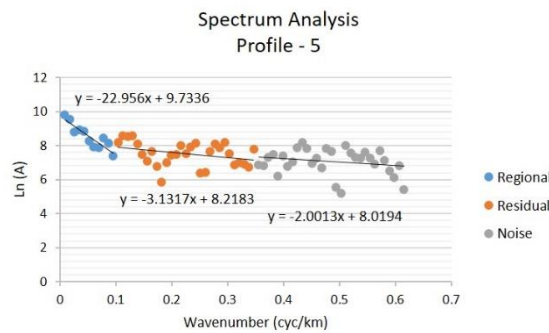
Gambar 6. Grafik Analisis Spektral *Profile 2*



Gambar 7. Grafik Analisis Spektral *Profile 3*



Gambar 8. Grafik Analisis Spektral *Profile 4*



Gambar 9. Grafik Analisis Spektral
Profile 5

Berdasarkan hasil analisis pada *profile* 1 sampai dengan *profile* 5, maka dapat ditampilkan nilai anomali regional dan anomali residual, ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Kedalaman Sumber Anomali
Tiap *Profile*

No	Profile	Anomali Regional (km)	Anomali Residual (km)
1	Profile 1	75,51	4,34
2	Profile 2	33,42	2,89
3	Profile 3	20,16	3,84
4	Profile 4	31,68	3,18
5	Profile 5	22,96	3,13
Rata-rata		36,746	3,476

Berdasarkan hasil analisis spektral tiap *profile* pada peta anomali medan magnet total, didapatkan hasil berupa nilai kedalaman anomali regional dan residual di lokasi penelitian seperti terlihat pada tabel 2. Nilai anomali regional terletak pada kedalaman yang bervariasi yakni antara 20,16 - 75,51 km dengan nilai rata-rata kedalamannya adalah 36,75 km yang diinterpretasikan sebagai *magnetic basement*. Sedangkan untuk anomali dangkal (residual) berada pada kedalaman antara 2,89 - 4,34 km dengan nilai rata-rata kedalamannya adalah 3,48 km.

Memetakan kedalaman *magnetic basement* di wilayah Mount Isa penting dilakukan untuk eksplorasi mineral dan pemahaman geologi regional, mengingat bahwa Mount Isa adalah sebuah kota pertambangan yang kaya akan mineral. Oleh karena itu, estimasi kedalaman *magnetic basement* akan sangat berguna untuk menentukan batas basement dan

sedimen untuk mengidentifikasi cekungan yang berpotensi mengandung mineralisasi.

Pada proses estimasi kedalaman *magnetic basement* diperoleh nilai kedalaman anomali rata-rata (36,75 km) mendekati nilai yang diperoleh dari hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Blenkinsop dkk., (2007). Hasil survei geologi oleh Blenkinsop dkk. (2007) mengidentifikasi keberadaan *lower crust* (kerak bumi bagian bawah) pada kedalaman sekitar 40 km dengan nilai ketebalan yang semakin dangkal ke arah utara. Hasil ini sesuai dengan hasil yang didapat menggunakan metode analisis spektral. Hasil analisis spektral menunjukkan nilai kedalaman *magnetic basement* yang semakin dangkal ke arah utara. Pada *profile* 1 yang terletak di bagian selatan lokasi penelitian, diperoleh nilai kedalaman yang cukup besar yakni 75,51 km. Sedangkan kedalaman yang cukup dangkal diperoleh pada *profile* 5 yang terletak di bagian utara lokasi penelitian yakni sebesar 20,16 km.

Kondisi topografi yang berbeda juga merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kedalaman *magnetic basement* di lokasi penelitian yang cenderung semakin dangkal ke arah utara. Merujuk pada prinsip isostasi yakni “Kecenderungan universal bagian kerak bumi untuk berada dalam keseimbangan gravitasi, yaitu untuk mengatasi perbedaan densitas dan ketebalan” sehingga diduga kondisi topografi bagian selatan lokasi penelitian cenderung tinggi atau berupa pegunungan sedangkan di bagian utara memiliki kondisi topografi yang rendah atau landai.

Berdasarkan kondisi geologi regional, lokasi penelitian merupakan wilayah yang termasuk kedalam *Eastern Succession* yang mana pada lokasi tersebut diketahui bahwa pada bagian selatan didominasi oleh batuan beku intrusif yakni batuan granit. Hal ini menyebabkan pada bagian selatan lokasi penelitian, ketebalan kerak bumi lebih tebal karena terisi oleh batuan-batuan intrusif.

Dalam penelitian ini, keberadaan *magnetic basement* di lokasi penelitian juga didukung dengan adanya data seismik dan data magnetotelurik. Berdasarkan *deep seismic survey*, *Mohorovicic Discontinuity* atau yang lebih dikenal dengan sebutan *Moho discontinuity* diketahui berada pada kedalaman sekitar 36-54 km. Dikatakan demikian, karena pada kedalaman tersebut terjadi perubahan kecepatan gelombang seismik (berakselerasi) di bidang batas antara kerak bumi bagian bawah (*lower crust*) yang bersifat *reflective* dan mantel bumi bagian atas (*upper mantle*) yang bersifat *nonreflective*. Bidang batas inilah yang disebut *Moho discontinuity* (Korsch dkk., 2012).

Berdasarkan data magnetotelurik (Jiang and Duan, 2018) teridentifikasi adanya anomali yang bersifat konduktif di kerak bumi yakni berada pada kedalaman 2-5 km sampai ± 35 km dengan nilai resistivitas berkisar antara $< 5 \Omega\text{m}$ sampai dengan $101 \Omega\text{m}$. Anomali konduktif ini diduga disebabkan oleh deformasi atau mineralisasi yang berasosiasi dengan patahan. Sedangkan pada kedalaman yang lebih dalam yakni 30 km sampai dengan 60 km bersifat lebih resistif yang diduga merupakan zona transisi atau bidang batas antara kerak dengan mantel bumi (*magnetic basement*) dengan nilai resistivitas yang lebih tinggi yakni antara $185 \Omega\text{m}$ sampai dengan $> 2048 \Omega\text{m}$ (Jiang and Duan, 2018).

5. KESIMPULAN

Metode analisis spektral menghasilkan dua nilai kedalaman anomali, yakni anomali regional dan residual. Dari hasil rata-rata nilai kedalaman anomali di tiap *profile*, diperoleh kedalaman sumber anomali regional adalah 36,75 km dan kedalaman anomali residual adalah 3,48 km. Berdasarkan hasil tersebut terdapat kecenderungan kedalaman *magnetic basement* di lokasi penelitian semakin dangkal ke arah utara. Pada bagian selatan lokasi penelitian diperoleh kedalaman *magnetic basement* 75,51 km, sedangkan

pada bagian utara diperoleh kedalaman 22,96 km.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Laboratorium Geofisika FMIPA UNMUL untuk segala fasilitas yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Blakely, R. J. (1996). *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. Cambridge University Press: New York.
- [2] Blenkinsop, T. G., Huddleston-Holmes, C. R., Foster, D. R. W., Edmiston, M. A., Lepong, P., Mark, G., Austin, J. R., Murphy, F. C., Ford, A., Rubenach, M. J. (2007). *The Crustal Scale Architecture of the Eastern Succession, Mount Isa: The Influence of Inversion*. Precambrian Research 163 (2008) 31-49.
- [3] Geoscience Australia. Mt. Isa Magnetic Data. Diperoleh melalui situs <https://www.ga.gov.au/>. Diunduh pada Januari 2019.
- [4] Jiang, W. and Duan, J. (2018). Electrical Conductivity Structure Derived from Magnetotelluric Data in the South-Eastern Mount Isa Region. Record 2018/004. Geoscience Australia, Canberra.
- [5] Korsch, R. J., Huston, D. L., Henderson, R. A., Blewett, R. S., Withnall, I. W., Fergusson, C. L., Collins, W. J., Saygin, E., Kositsin, N., Meixner, A. J., Chopping, R., Henson, P. A., Champion, D. C., Hutton, L. J., Wormald, R., Holzschuh, J. and Costelloe, R. D. (2012). *Crustal Architecture and Geodynamics of North Queensland, Australia: Insights from Deep Seismic Reflection Profiling*. Tectonophysics, 572-573 (N/A), 76-99.
- [6] Nugraha, P. (2016). *Penentuan Kedalaman Optimum Anomali Gaya*

- Berat dengan Metode Korelasi Antara Analisis Spektrum dan Continuation Studi Kasus Semarang Jawa Tengah.* Skripsi Sarjana Sains Bidang Fisika, Universitas Negeri Semarang.
- [7] Telford, M. W., Geldart L. P., Sheriff R. E. and Keys D. A. (1990). *Applied Geophysics 2nd Edition*. Cambridge University Press: New York.
- [8] Turcotte, D. L., & Schubert, G. (2014). *Geodynamics 3rd Edition*. Cambridge University Press.
- [9] Yuliyanto, G., Hartantyo, E., Sudarmaji dan Ismulhadi, A. (2001). *Penentuan Batas Kontak Batuan Gunung Pendul dan Gunung Semangu, Bayat, Klaten Menggunakan Metode Magnetik*. Berkala Fisika. Vol. 4, No. 3, Hal. 63-68. ISSN: 1410-9662.