

## TEKNIK PEMISAHAN ANOMALI MAGNETIK RESIDUAL-REGIONAL BERBASIS MATLAB : STUDI KASUS STUDI UNGARAN

Syamsurijal Resimeng<sup>1</sup>, Dewi Wijayanti<sup>1</sup>, Luthfi Rahmawati<sup>1</sup>, Annur Istikomah<sup>1</sup>, Rahmat Catur  
Wibowo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Universitas Lampung  
e-mail : rahmat.caturwibowo@eng.unila.ac.id

**Abstrak.** Penelitian ini menggunakan data pengukuran magnetik di daerah Gunung Ungaran, Kabupaten Semarang, Provinsi Jawa Tengah. Tujuan dari penelitian ini membandingkan teknik inversi dengan persamaan polynomial orde 1, orde 2 dan orde 3 dalam pemisahan anomali residual dengan anomali regional. Pada penelitian ini dilakukan kajian komputasi dengan membuat program komputer menggunakan software MatLab 2017. Data pengukuran magnetic yang digunakan merupakan data yang telah dilakukan koreksi sehingga telah didapatkan nilai anomali totalnya. Pemisahan anomali residual-regional ini selanjutnya akan disesuaikan dengan kondisi geologi sekitar daerah penelitian dengan menggunakan model sintetik orde 1, orde 2 dan orde 3 yang telah didapatkan dari *forward modelling* (pemodelan kedepan). Hasil *forward modeling* ini akan disesuaikan dengan model anomali regional yang muncul setelah diinversi. Setelah dilakukan pemisahan anomali residual-regional, selanjutnya adalah menyesuaikan antara kontur dan nilai anomali regional dengan keadaan geologi sekitar daerah penelitian. Gunung Ungaran merupakan bagian dari Pengunungan Serayu Utara yang berada pada bagian tengah Pola Jawa yang mana pada pola ini terdapat sesar naik dari arah Barat ke Timur. Dari hasil penyesuaian antara anomali regional orde 1, orde 2 dan orde 3 dengan kondisi geologi daerah sekitar didapatkan bahwa pada penelitian ini perhitungan inversi dengan orde 2 menunjukkan hasil pemisahan anomali yang paling sesuai.

**Kata Kunci:** Anomali Regional; Anomali Residual; Gunung Ungaran; Inversi; Matlab

**Abstract.** This study uses magnetic measurement data in Mount Ungaran, Semarang Regency, Central Java Province. The aim of this study is to compare the inversion technique with polynomial equations of order 1, order 2, and order 3 in separating residual anomaly from regional anomaly. In this study, a computational study was carried out by creating a computer program using MatLab 2017. The magnetic measurement data used has been corrected, so the total anomaly value has been obtained. Separation of these residual-regional anomalies will then be adjusted to the geological conditions around the study area based on synthetic models for 1st, 2nd, and 3rd order calculations, which have been obtained from forward modeling. The results of this forward modeling will be adjusted to the regional anomaly model that appears after inversion. After separating the residual-regional anomalies, the next step is to adjust the contours and regional anomaly values with the geological conditions around the study area. Mount Ungaran is part of the North Serayu Mountains, which is in the middle of the Java Pattern, where in this pattern, there is an upward fault from West to East. From the results of adjustments between regional anomalies of order 1, order 2, and order 3 with the geological conditions of the surrounding area, it was found that in this study, the inversion calculation with order 2 showed the most suitable separation of anomalies.

**Keywords:** Regional Anomaly; Residual Anomaly; Mt. Ungaran; Inversion; Matlab

## PENDAHULUAN

Propinsi Jawa Tengah terdiri dari 29 kabupaten dan enam kota yang salah satunya yaitu Kabupaten Semarang. Luas wilayah Semarang adalah 95.020,674 hektar, yaitu 2,92% luas wilayah Provinsi Jawa Tengah. Secara geografis Gunung Ungaran terletak di Kecamatan Ungaran, Kabupaten Semarang dengan ketinggian 2.050 meter dan merupakan gunung berapi jenis *stratovolcano*.

Menurut Indarto (2006), Gunung Ungaran merupakan gunung api Kuarter yang berada di bagian paling timur Pegunungan Serayu Utara. Gunung Ungaran berbatasan dengan dataran Jawa Utara di utara, sabuk vulkanik Kuarter (Sindoro, Sumbing, Telomoyo, Merbabu) di selatan, dan pegunungan Kendeng di timur. Pulau Jawa bagian utara merupakan garis geografis yang membentang dari barat ke timur.

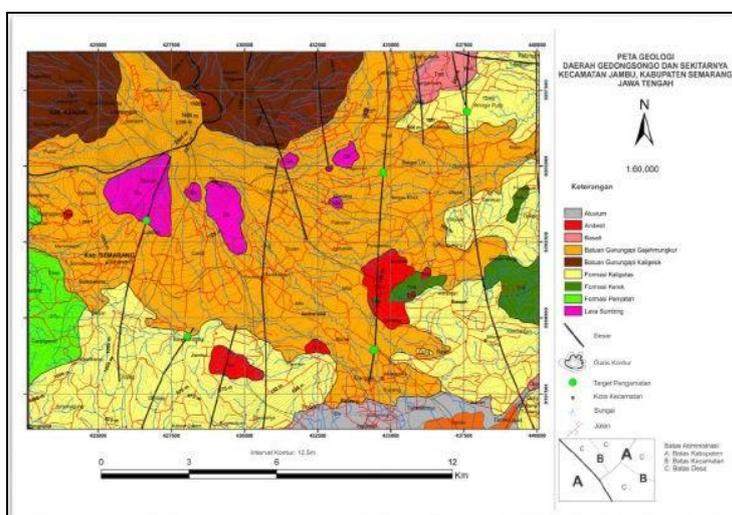
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui teknik pemisahan anomali yang tepat berdasarkan stratigrafi Gunung Ungaran menggunakan metode inversi dengan persamaan polynomial orde-1, orde-2, dan orde-3. Metode inversi digunakan untuk menunjukkan nilai dan pola kontur dari setiap ordenya. Dengan menggunakan persamaan polynomial orde berbeda, sehingga dapat ditentukan orde yang tepat untuk digunakan dalam teknik pemisahan anomali pada data magnetik.

## GEOLOGI REGIONAL

Menurut Faturrakhman dkk. (2022), *kondisi geologi Gunung Ungaran didominasi batuan andesit dan basalt*. Hal ini disebabkan Gunung Ungaran merupakan gunung dengan tipe strato vulkanik yang bersinggungan langsung dengan formasi tersier serta merupakan deretan pegunungan Serayu Utara dan zona anticlinorium Kendeng. Gunung Ungaran tercatat aktivitas tertua pada Pleistosen Awal – Tengah dengan singkapan breksi lahar di Perbukitan Candi bentukan dari formasi Damar. Kemudian tererosi sehingga membentuk batupasir tufan, konglomerat, breksi vulkanik dan bagian atas merupakan tuf (Kusuma dkk., 2019), selain itu dua kekuatan pertumbuhan terlihat di Gunung Ungaran, dipisahkan oleh dua keruntuhan.

Pada Pliosen Bawah, Ungaran pertama menghasilkan batuan andesit; di Pliosen Tengah, hasilnya adalah tambahan andesit, yang mengarah ke reruntuhan. Pada Pliosen Atas dan Holosen, siklus kedua dimulai. Tindakan ini menghasilkan angsuran kedua dan ketiga dari siklus.

Menurut Fujimitsu dkk. (2007), morfologi utama Gunung Ungaran terbagi menjadi tiga yaitu morfologi Gunung Ungaran Tua, Muda dan data alluvial. Adapun struktur geologi yang terdapat di daerah Gunung Ungaran dan sekitarnya di dominasi oleh sesar turun dan kekar. Dapat dilihat pada Gambar 1 Sesar turun Ringin terbentuk akibat runtuhnya tubuh Gunung Ungaran Tua yang terjadi karena proses *volcano tectonic depression*.



Gambar 1. Peta Geologi Regional Gunung Ungaran dan Sekitarnya (Fatimah, 2018)

Beberapa sesar yang telah ditemukan antara lain Sesar Gintungan yang merupakan poros utara-selatan-selatan yang memisahkan Gunung Gendol dan Gunung Lapak. Sesar Gongso, merupakan sesar turun yang disebabkan oleh adanya dorongan di barat daya gunung berapi yang memotong sesar Gintungan. Sesar Tarukan, sesar ini terbentuk akibat longsor selatan-selatan yang memotong sesar Gongso. Di lapangan, terlihat ciri-ciri yang relatif tajam antara pijakan dan dinding gawir. Rekahan akibat erosi menimbulkan jurang yang dalam dan terjal. Sesar Panjang, sesar ini juga disebabkan oleh adanya longsor yang membelah sesar Tarukan. Itu berbatu dan curam, dan perbukitan di bawah lembah membentang ke selatan (Jatmiko dkk., 2022).

## GEOMAGNETIK

Dikutip dari Rasimeng (2008), metode geomagnetik pada umumnya dapat dimanfaatkan untuk proses deteksi batuan atau mineral yang memiliki susceptibilitas magnetik, hal tersebut tidak hanya dipengaruhi oleh mineral-mineral ferromagnetik yang terkandung di dalamnya, tetapi juga sifat-sifat kemagnetan batuan. Contohnya pada batuan sedimen, gaya – gaya hidrolis saat terjadi proses deposisi sedimen sangat mempengaruhi struktur dan teksturnya.

Data geomagnetik yang dihasilkan pada saat pengumpulan data di lapangan merupakan data geomagnetik yang dipengaruhi oleh banyak faktor. Ada tiga faktor utama: medan magnet inti bumi, medan magnet luar bumi, dan medan magnet bumi. Untuk menentukan komposisi permukaan bumi, dua pengaruh utama harus dikesampingkan: medan magnet inti bumi dan medan magnet luar bumi (Hermansyah dkk., 2020).

Anomali regional bersifat tidak merata akibat perbedaan kepadatan batuan di wilayah yang lebih dalam, sedangkan anomali wilayah lainnya tidak merata karena perbedaan kepadatan batuan di wilayah dangkal. Proses pemisahan wilayah sangat penting: anomali sisa (atau anomali sisa) (Rongkonusa dkk., 2017). Proses mengisolasi anomali lokal dipandang oleh sebagian orang sebagai cara untuk mempertajam anomali dan dianggap sebagai bagian dari pemrosesan lanjutan. Beberapa orang memasukkan ini sebagai bagian dari definisi mereka. Meski tidak sepenuhnya bertentangan, namun banyak komentar dan pendapat tentang salah satu aspek pengolahan data geomagnetik (Hadisurya dkk., 2017).

Pemodelan kebelakang (*inversion*) merupakan pembalikan dari pemodelan ke depan (*forward*) karena parameter model diperoleh langsung dari data observasi. Teori inversi adalah metode matematika dan statistik yang digunakan untuk memperoleh informasi berguna tentang sistem fisik dari pengamatan sistem (Menke, 2012).

Dalam masalah inversi berkaitan erat dengan parameter model (M) dan jumlah data (N), dan setiap jumlah data menentukan klasifikasi dan solusi masalah inversi. Jika jumlah parameter model lebih kecil dari data lapangan (MN), hal ini disebut *underdetermined*. Dalam hal ini, jika terdapat banyak sampel yang memenuhi kondisi data, maka disebut *non-uniqueness*. Dalam hal ini, solusi terbaik adalah model yang parameternya merupakan fungsi posisi kontinyu. Kasus terakhir ini, ketika jumlah parameter model sama atau hampir sama dengan jumlah data (M=N), dianggap sebagai *evendetermined*. Dalam hal ini, rumus sederhana dapat diperoleh dengan menggunakan inversi langsung.

## METODOLOGI

Penelitian ini merupakan kajian komputasi dengan menggunakan software MatLab tahun 2017 untuk memisahkan anomali regional dengan anomali residual pada data pengukuran geomagnetik di daerah Gunung Ungaran, Semarang, Jawa Tengah. Adapun metode yang digunakan untuk memisahkan anomali dalam penelitian ini adalah metode inversi.

Metode inversi menggunakan prinsip dasar persamaan berikut.

$$m = [G^T G]^{-1} G^T d \quad (1)$$

Dalam persamaan ini, nilai 'm' dihitung menggunakan matriks kernel 'G'. Setelah diperoleh nilai koefisien, langkah selanjutnya adalah mencari luas lahan pada wilayah tersebut dengan memasukkan nilai koefisien “m” ke dalam persamaan yang digunakan (Sumintadireja dkk., 2018).

Pada kenyataannya, semua kesalahan pengukuran pastilah besar. Oleh karena itu, data observasi tidak sama persis dengan model. Kita dapat menulis masalah ini sebagai persamaan:

$$d = Gm + e_i, \tag{2}$$

Satu-satunya cara untuk memperoleh solusi yang unik adalah dengan meminimalkan jumlah kuadrat residual. Untuk memperoleh nilai anomali residual, digunakan perhitungan berikut :

$$Anomaly\ Residual = d - Anomaly\ Regional \tag{3}$$

Sedangkan untuk memperoleh nilai anomali regional dapat menggunakan persamaan polinomial berikut yang sesuai dengan orde yang diinginkan.

Orde 1:

$$Anomali\ regional = m_1 + x_i m_2 + y_i m_3 \tag{4}$$

Orde 2:

$$Anomali\ regional = m_1 + x_i m_2 + x_i m_3 + x_i y_i m_4 + y_i m_5 + y_i^2 m_6 \tag{5}$$

Orde 3:

$$Anomali\ regional = m_1 + x_i^3 m_2 + x_i^2 m_3 + x_i m_4 + x_i^2 y_i m_5 + x_i y_i^2 m_6 + x_i y_i m_7 + y_i m_8 + y_i^2 m_9 + y_i^3 m_{10} \tag{6}$$

Blakely (1995) melakukan pemodelan dengan *rectangular prism method* kita dapat memodelkan benda tiga dimensi dengan kumpulan bilangan prima persegi panjang. Medan magnet prisma segi empat diturunkan dengan *Bhattachary*, masing-masing prisma berorientasi sejajar dengan sumbu x, y dan z dan memiliki magnetisasi.

$$M = M(\hat{i} \hat{M}_x + \hat{j} \hat{M}_y + \hat{k} \hat{M}_z) \tag{7}$$

$$\Delta T = C_m M \left[ \frac{\alpha_{23}}{2} \log \left( \frac{r-x'}{r+x'} \right) + \frac{\alpha_{13}}{2} \log \left( \frac{r-y'}{r+y'} \right) - \alpha_{12} \log(r+z_1) - \hat{M}_x \hat{F}_x \arctan \left( \frac{x'y'}{x'^2+r z_1+z_1^2} \right) - \hat{M}_y \hat{F}_y \arctan \left( \frac{x'y'}{r^2+r z_1-x'^2} \right) + \hat{M}_z \hat{F}_z \arctan \left( \frac{x'y'}{r z_1} \right) \right] \Big|_{x'=x_2 | y'=y_2}^{x'=x_1 | y'=y_1} \tag{8}$$

Persamaan (8) memberikan anomali medan total prisma dengan bagian atas di z1 dan bagian bawah di tak hingga. Jika persamaan ini dievaluasi dua kali, sekali untuk z1 = zt dan M = M0 dan sekali untuk z1=zb dan M = -M0, maka menurut prinsip superposisi, jumlah kedua perhitungan akan memberikan medan magnet prisma dengan magnetisasi M0, atas di zt, dan bawah di zb . subrutin B.8 pada lampiran B menyediakan algoritma untuk menghitung persamaan (8).

Dimana,

$$\begin{aligned} \alpha_{12} &= \hat{M}_x \hat{F}_y + \hat{M}_y \hat{F}_x, \\ \alpha_{13} &= \hat{M}_x \hat{F}_z + \hat{M}_z \hat{F}_x, \\ \alpha_{23} &= \hat{M}_y \hat{F}_z + \hat{M}_z \hat{F}_y, \\ r^2 &= x'^2 + y'^2 + z_1^2 \end{aligned}$$

Dengan membagi benda menjadi kumpulan prisma segi empat, persamaan (8) dapat digunakan untuk memodelkan benda berbentuk sembarang secara iteratif. prisma persegi panjang juga telah digunakan dalam metode invers untuk secara langsung menurunkan vektor M dari anomali medan total.

Berikut merupakan pemodelan sintetik yang dilakukan dengan *forward modeling* (pemodelan kedepan) yang dilakukan untuk menggambarkan bentuk anomali regional pada data magnetic yang telah dipisahkan dari data anomali residual dengan pendekatan polynomial orde 1, 2 dan 3. Adapun nilai 'd' yang digunakan adalah 20 titik yang dibuat secara random.

Dalam proses *forward modeling* untuk menghasilkan model sintetik anomali residual-regional digunakan parameter berikut.

Pada Anomali Regional:

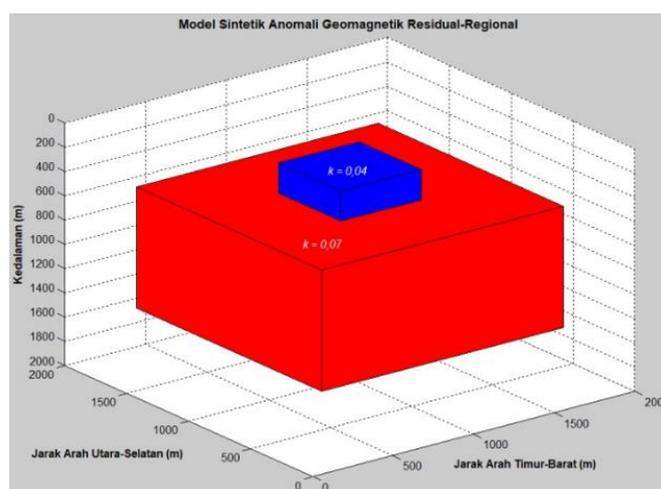
$$X \times Y = 2000 \times 2000$$

$$\begin{aligned} dX &= 250 - 1750 \\ dY &= 250 - 1750 \\ \text{depth} &= 500 - 1500 \end{aligned}$$

Pada Anomali Residual:

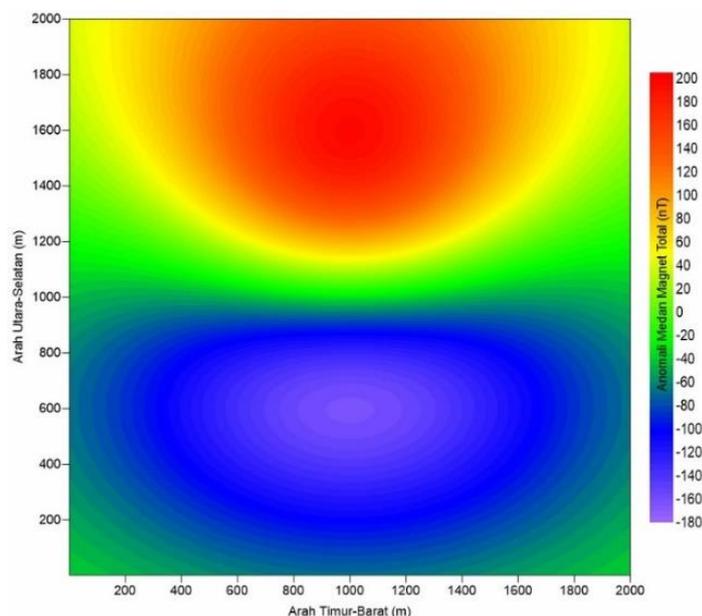
$$\begin{aligned} X \times Y &= 2000 \times 2000 \\ dX &= 750 - 1250 \\ dY &= 250 - 1750 \\ \text{depth} &= 250 - 500 \end{aligned}$$

Berdasarkan parameter-parameter yang digunakan pada model sintetik, maka didapatkan nilai  $k$ . Nilai  $k$  ini merupakan representasi hasil perpotongan linier dari kawasan regional dan residual yang menjadi acuan dalam melakukan pemisahan anomali. Maka didapatkan nilai  $k=0.04$  untuk anomali residual dan  $k=0.07$  untuk anomali regional (Dilihat pada Gambar 2).

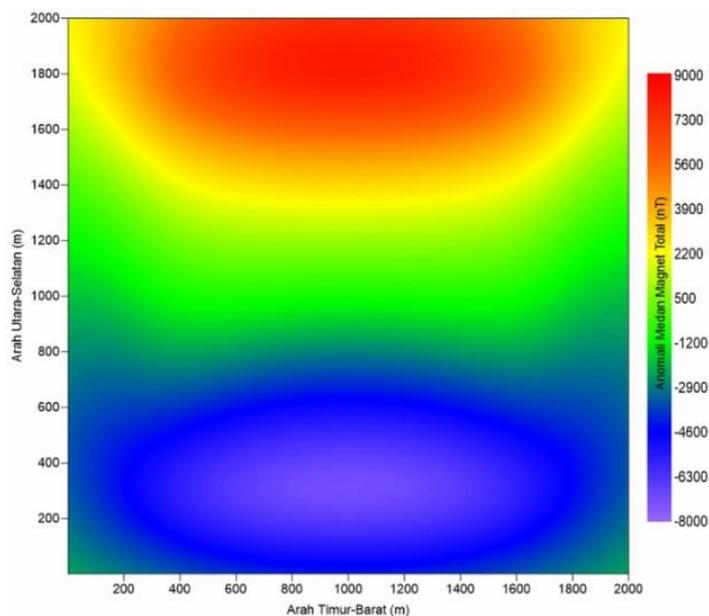


**Gambar 2.** Pemodelan Sintetik 3D

Model sintetik dibuat dengan pendekatan model (Blakely, 1995). Setelah pendekatan model, didapatkan hasil berupa data geometri yang selanjutnya ditampilkan penampang tiga dimensi pada MatLab seperti pada Gambar 2.

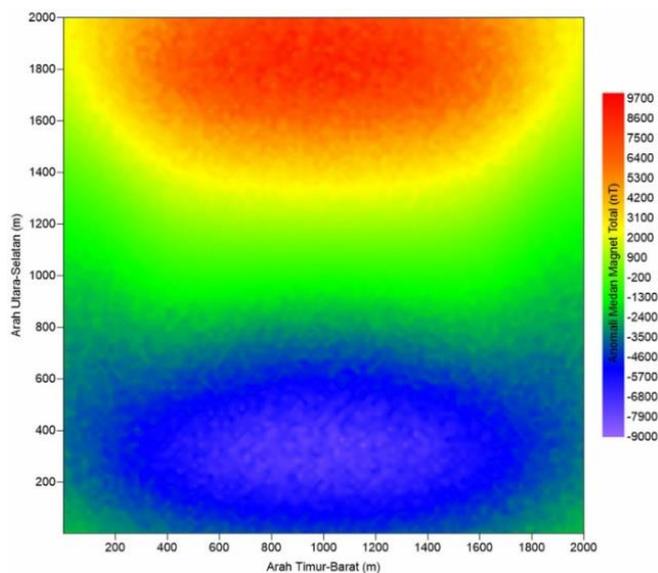


**Gambar 3.** Model Sintetik untuk Anomali Residual

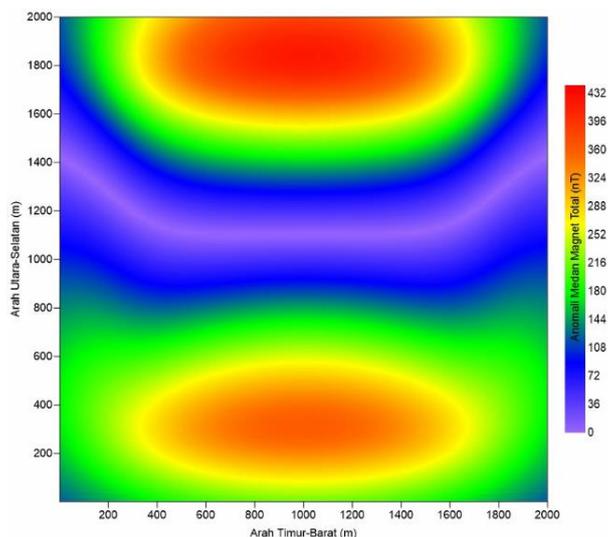


**Gambar 4.** Model Sintetik untuk Anomali Regional

Langkah selanjutnya yang dilakukan setelah memunculkan penampang tiga dimensi pada Matlab yaitu menginput data ke dalam software Surfer untuk menampilkan kontur pada anomali residual dan anomali regional. Seperti pada Gambar 3 dan Gambar 4. Pada model sintetik untuk anomali residual didapatkan nilai anomali magnetik dengan range -180 nT sampai 200nT. Sedangkan pada model sintetik untuk anomali regional didapatkan nilai anomali regional dengan range -8000 nT sampai 9000 nT.



**Gambar 5.** Model Sintetik untuk Anomali Residual dengan Noise Gaussian 5%

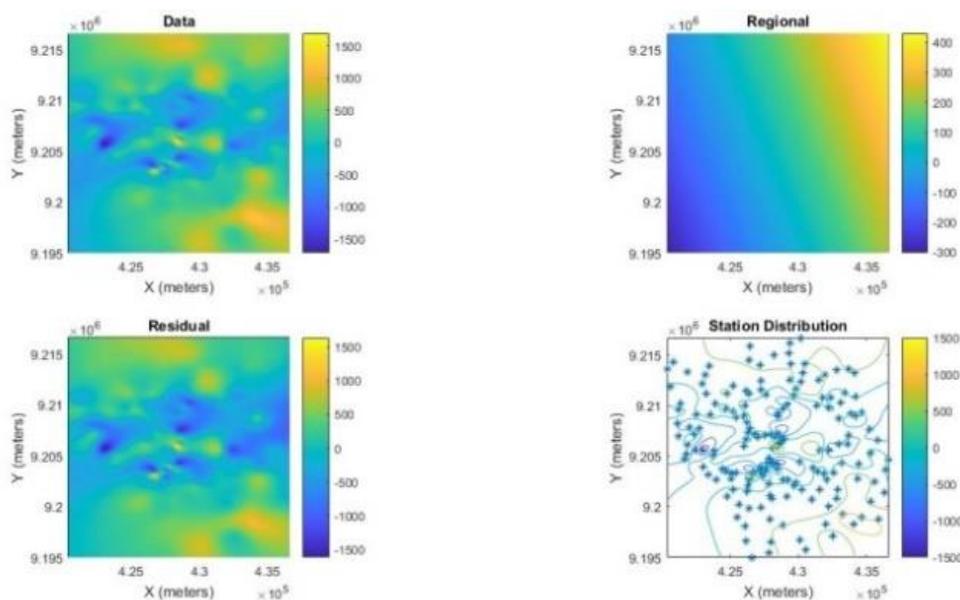


Gambar 6. Noise Gaussian 5%

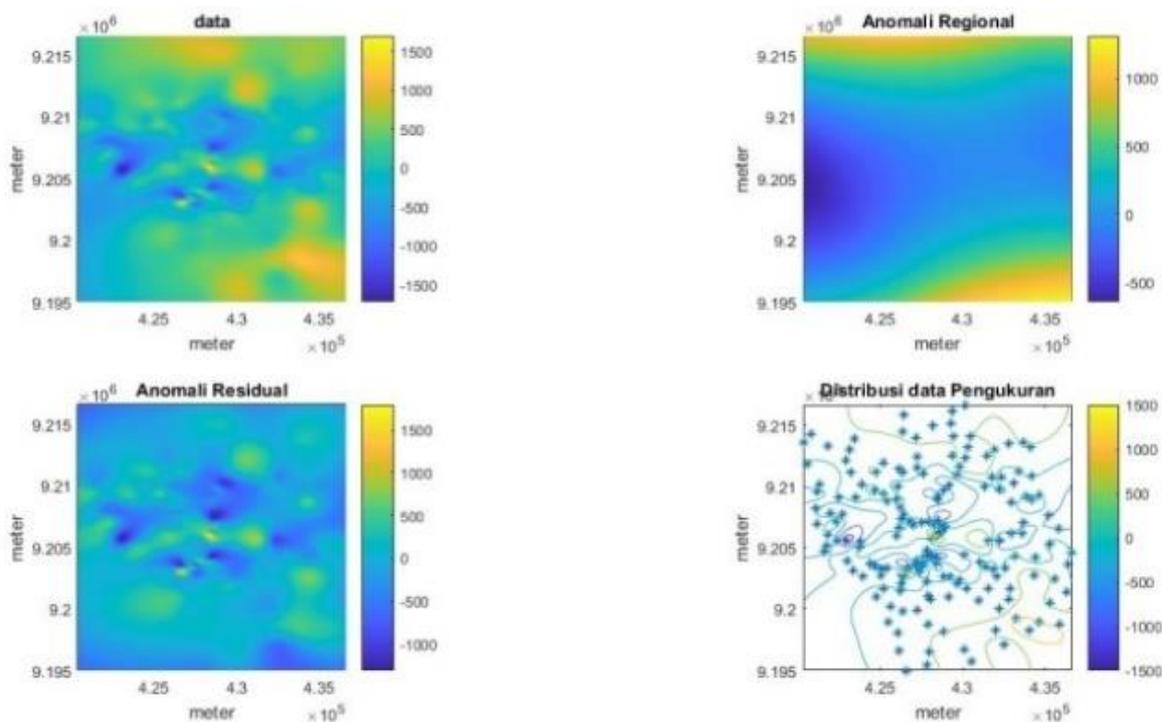
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan pemisahan anomali regional dan residual pada data hasil pengukuran magnetik pada 173 titik yang sebelumnya telah dikoreksi sehingga didapatkan nilai anomali totalnya. Sebelumnya telah dilakukan pemodelan kedepan (*forward modeling*) yang menjadi acuan hasil inversi pada anomali regional menggunakan perhitungan polynomial orde 1, orde 2 dan orde 3.

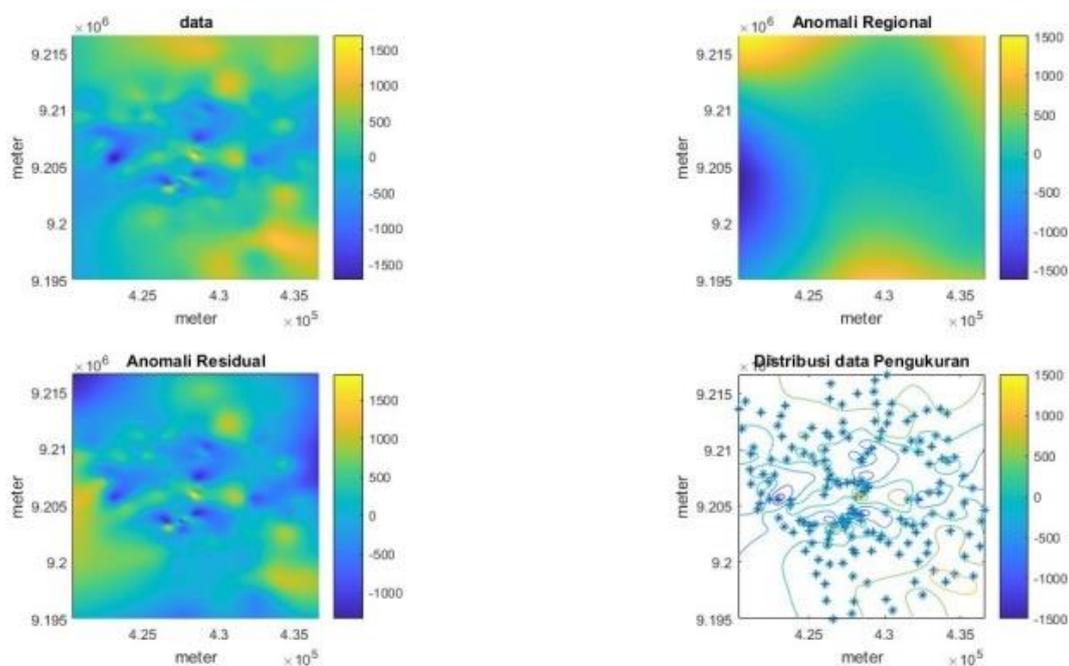
Anomali regional pada orde 2 memperlihatkan gradasi warna yang membentuk seperti gelombang, begitupun pada anomali regional orde 3 yang juga gradasi warnanya menunjukkan bentuk seperti gelombang dan hampir sama seperti anomali regional pada orde 2, untuk mendapatkan nilai anomali residual, dilakukan pengurangan antara nilai anomali magnetic dengan nilai anomali regional seperti pada persamaan (3). Dimana anomali regional sendiri bisa didapatkan dengan menggunakan persamaan polynomial yang secara umum dirumuskan sebagai  $y = ax + b$ . Pada penelitian ini, dilakukan perbandingan hasil anomali regional dengan pendekatan inversi orde 1, orde 2 dan orde 3 seperti pada persamaan (4), persamaan (5) dan persamaan (6). Hasil perbandingan tiap orde nantinya akan disesuaikan dengan kondisi geologi daerah penelitian.



Gambar 7. Hasil Pemisahan Anomali Residual-Regional Orde 1



Gambar 8. Hasil Pemisahan Anomali Residual-Regional Orde 2



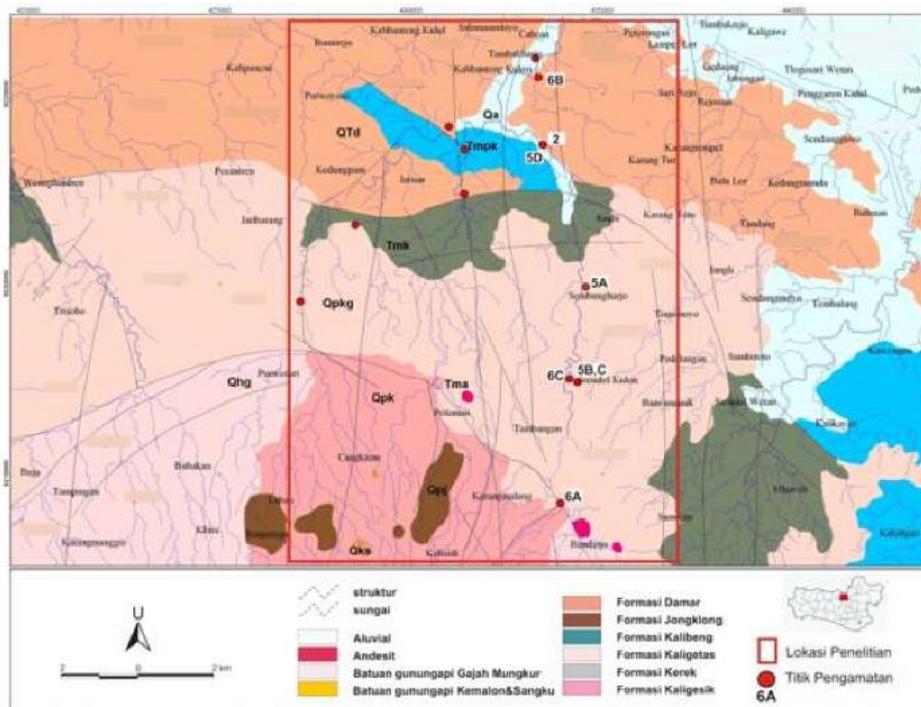
Gambar 9. Hasil Pemisahan Anomali Residual-Regional Orde 3

Diketahui bahwa Gunung Ungaran secara geologi merupakan bagian dari Pegunungan Serayu Utara yang letaknya berada di bagian paling Timur (Pada Gambar 1). Dijelaskan oleh Bemmelen pada tahun 1970, bahwa urutan stratigrafi Pegunungan Serayu Utara bagian timur yang mana termasuk Gunung Ungaran yaitu endapan Lutut Beds, endapan Merawu Beds, endapan Panjatan Beds, endapan Banyak Beds, endapan Cipluk Beds, endapan Batugamping, endapan Kalibluk Beds, endapan Damar Series, endapan Notopuro Breccias, Alluvial

dan endapan Ungaran Muda. Kemudian dilihat kembali pada Gambar 7, Gambar 8 dan Gambar 9 menunjukkan nilai anomali total dan anomali residual untuk perhitungan orde 1 sesuai dengan yang didapatkan dari distribusi sebarannya yaitu antara -1500 nT – 1500 nT. Lalu nilai anomali residual untuk perhitungan orde 2 dan orde 3 sebesar -1000 nT sampai 1500 nT. Sedangkan nilai anomali regional dari tiap orde berbeda. Hal ini sesuai dengan perhitungan anomali regional yang digunakan pada persamaan (3).

Pada perhitungan orde 1 (Gambar 7), didapatkan nilai anomali regional sebesar -300 nT sampai 400 nT dengan sebaran anomali terendah hingga tertinggi dari arah Barat Daya ke Timur Laut. Pada perhitungan orde 2 (Gambar 8), didapatkan nilai anomali regional sebesar -500 nT sampai 100 nT dengan anomali yang rendah berada pada bagian Barat dan Timur, sedangkan anomali yang tinggi berada pada bagian Utara dan Selatan. Kemudian pada perhitungan orde 3 (Gambar 9), didapatkan nilai anomali regional sebesar -1500 nT sampai 1500 nT. Dengan pola sebaran anomalnya yaitu anomali bernilai rendah berada pada daerah Barat menuju Barat Daya, dan anomali bernilai sedang hingga tinggi tersebar di daerah Selatan, Timur Laut dan Barat Laut. Anomali dengan nilai tinggi ditandai dengan warna kuning sedangkan anomali dengan nilai rendah ditandai dengan warna biru tua.

Stratigrafi dan litologi yang berada di Gunung Ungaran dari tua ke muda diantaranya Batugamping vulkanik Breksi vulkanik III, Batupasir vulkanik, Batulempung vulkanik, Lava andesitic, Andesit porfiritik, Breksi vulkanik II, Breksi vulkanik I, Andesit porfiritik, Lava andesit (Sugiharto, 2007).



**Gambar 10.** Peta Geologi Kompleks Gunung Ungaran (Thanden, 1996)

Jika disesuaikan dengan keadaan geologi daerah sekitar Gunung Ungaran, bagian utara Pulau Jawa diketahui terdapat geosinklin yang memanjang dari barat ke timur (Indarto, 2006). Dengan melihat dari keadaan tektonik regionalnya, daerah Pulau Jawa memiliki pola-pola yang teratur salah satunya ialah pola jawa. Seperti yang diketahui bahwa Gunung Ungaran merupakan bagian dari Serayu Utara yang mana pada pegunungan ini termasuk dalam pola jawa bagian tengah. Pola jawa merupakan pola termuda yang menunjukkan adanya pola sesar naik dari arah Barat ke Timur yang sampai saat ini masih aktif. Apabila disesuaikan antara kontur anomali regional orde 1, orde 2 dan orde 3 dengan kondisi geologi daerah penelitian memiliki nilai anomali yang rendah dan berada dari arah Barat ke Timur. Sehingga kontur anomali regional yang paling sesuai dengan identifikasi tersebut adalah anomali regional hasil pemisahan dengan inversi polynomial orde 2 (Gambar 10).

## **PENUTUP**

### **Simpulan dan Saran**

Dari keseluruhan proses penelitian dapat diambil kesimpulan, pada penelitian ini menggunakan metode *geomagnetic* yang mana pada 173 titik yang kemudian dilakukan pemisahan anomali regional dan residual nya. Berdasarkan nilai anomali total dan anomali residual untuk orde 1, didapatkan distribusi sebarannya sekitar -1500nT-1500nT. sedangkan untuk anomali residual orde 2 dan 3 didapatkan sebesar -1000nT-1500nT dengan nilai anomali regional pada setiap orde berbeda. Berdasarkan hasil pengolahan, maka hasil pemisahan antara anomali residual dan regional di sesuaikan dengan kondisi geologi regional daerah penelitian (Gunung Ungaran) maka pemisahan anomali yang tepat yaitu anomali regional jika dilihat dari stratigrafi daerah tersebut.

### **Ucapan Terima Kasih**

Terima kasih kami ucapkan kepada Laboratorium PPDG Jurusan Teknik Geofisika Unila dan seluruh pihak yang telah membantu hingga terselesaikannya penelitian dan artikel ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Blakely, R.J., 1995. *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*, Program. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511549816>
- Fatimah, F., 2018. Analisis Potensi Panas Bumi Dengan Metode Geomagnet Di Daerah Gedong Songo Ungaran Jawa Tengah. *Kurvatek* 2, 35–43. <https://doi.org/10.33579/krvtk.v2i2.548>
- Faturrahman, M.L., Rattyanda, N.P., Rijani, S., Maryanto, S., 2022. Analisis Geologi dan Geomorfologi Kuantitatif Daerah Vulkanik Menggunakan Citra Landsat 8 dan TerraSAR-X (Studi Kasus Gunungapi Ungaran). *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral* 23, 53–60. <https://doi.org/10.33332/jgsm.geologi.v23i1.677>
- Fujimitsu, Y., Setyawan, A., Fukuoka, K., Nishijima, J., Ehara, S., Saibi, H., Saibi, & H., 2007. Geophysical Investigations of Ungaran Volcano, Central Java, Indonesia, in: *Proceedings 29th NZ Geothermal Workshop 2007*. New Zeland.
- Hadisurya, D., Sapto Mulyatno, B., Rustadi, 2017. Identifikasi Magma Chamber Berdasarkan Analisis Data Magnetik Total Di Gunung Ili Lewotolo Kabupaten Lembata, Nusa Tenggara Timur Berdasarkan Data Survei Tahun 2010. *Jurnal Geofisika Eksplorasi* 3, 1.
- Hermansyah, D., Sukrisna, B., Minardi, S., 2020. Identifikasi Patahan Di Desa Taman Ayu Kecamatan Gerung Kabupaten Lombok Barat Menggunakan Metode Geomagnet. *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)* 6, 145–155. <https://doi.org/10.23960/jge.v6i2.70>
- Indarto, S., 2006. Studi Batuan Vulkanik Dan Batuan Ubahan Pada Lapangan Panasbumi Gedongsongo Kompleks Gunungapi Ungaran Jawa Tengah. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan* 16, 30. <https://doi.org/10.14203/risetgeotam2006.v16.175>
- Jatmiko, B.W., Assiddiqy, M.H., Ediatmaja, P., Prabowo, R., Sutopo, Pratama, H.B., Hamdani, M.R., 2022. Resource Assessment of Ungaran Geothermal Field Using Numerical model and Monte Carlo Simulation. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci* 1031. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1031/1/012021>
- Kusuma, M.B.C., Aji, A., Sanjoto, T.B., 2019. Model Penyajian Unit Geomorfologi Gunung Ungaran dan Sekitarnya Menggunakan Sistem Informasi Geografis Berbasis Web Info Artikel. *Geo Image (Spatial-Ecological-Regional)* 8, 80–89.
- Menke, W., 2012. Chapter 1 - Describing Inverse Problems, *Geophysical Data Analysis: Discrete Inverse Theory (Third Edition)*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-397160-9.00001-1>
- Rasimeng, S., 2008. Daerah Prospek Geothermal Berdasarkan Data Anomali Medan. *Jurnal Sains MIPA* 14, 67–72.
- Rongkonusa, M., Tamuntuan, G., Pasau, G., 2017. Analisis Anisotropi Suseptibilitas Magnetik Batuan Beku Lengan Utara Sulawesi. *Jurnal MIPA* 6, 8. <https://doi.org/10.35799/jm.6.1.2017.15846>
- Sugiharto, Y.E., 2007. The Ungaran geothermal field, in: Jakarta (Ed.), *INDONESIAN PETROLEUM ASSOCIATION Thirty-First Annual Convention & Exhibition*. <https://doi.org/10.29118/ipa.644.07.sg.008>
- 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* 50,127–139. <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2018.50.1.9>
- Thanden R.E., 1996, Sumadirdja H., Richards P.W., Sutisna K., Amin T.C., 1996, Peta geologi lembar Magelang dan Semarang, Jawa, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung

-----