

## Interpretasi Struktur Bawah Permukaan Menggunakan Data Anomali Medan Magnet Daerah Manifestasi Panas Bumi Sampuraga Kabupaten Mandailing Natal

Rita Ummi Sahida Tanjung, Dwi Pujiastuti\*, Ardian Putra  
Laboratorium Fisika Bumi, Departemen Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas  
Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

### Info Artikel

#### Histori Artikel:

Diajukan: 23 Februari 2023

Direvisi: 04 Mei 2023

Diterima: 15 Agustus 2023

#### Kata kunci:

anomali medan magnet

caprock

outflow

panas bumi

reservoir

#### Keywords:

anomaly magnetic

caprock

outflow

geothermal

reservoir

#### Penulis Korespondensi:

Dwi Pujiastuti

Email: [dwipujiastuti@sci.unand.ac.id](mailto:dwipujiastuti@sci.unand.ac.id)

### ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi distribusi anomali medan magnet sebagai dasar penentuan struktur bawah permukaan daerah di sekitar mata air panas Sampuraga. Data medan magnet diukur menggunakan magnetometer di area berdimensi 1400 m x 1100 m dengan 154 titik. Data hasil pengukuran berupa medan magnet total dan untuk memperoleh nilai anomali medan magnet dilakukan koreksi variasi harian dan IGRF. Nilai anomali medan magnet berkisar antara -668,7 nT sampai 14587,7 nT. Data anomali medan magnet diolah menggunakan *software Oasis Montaj* dengan melakukan reduksi ke kutub, kontinuasi ke atas, dan pemodelan 2D. Hasil pemodelan 2D menunjukkan terdapat tiga lapisan tanah di daerah penelitian. Bagian teratas (lapisan pertama dan kedua) diinterpretasikan sebagai batuan tudung (*caprock*). Lapisan ini memiliki struktur batuan berupa batuan sedimen jenis batu pasir dan lempung serta batuan beku berupa granit yang berada pada kedalaman hingga 1700 m. Bagian di bawahnya (lapisan ketiga) diinterpretasikan sebagai reservoir. Lapisan ini memiliki struktur batuan berupa batuan vulkanik metasedimen, alterasi lempung, lava andesit, dan lava dasitik dengan kedalaman hingga 2030 m dari permukaan tanah. Hasil pemodelan ini juga menginterpretasikan zona sesar sebagai zona *outflow* sehingga membentuk manifestasi di permukaan. Ketiga komponen sistem panas bumi ini menunjukkan bahwa daerah Sampuraga dapat dikembangkan dan dieksplorasi lebih lanjut.

*This research was conducted to identify the distribution of magnetic field anomalies to determine the subsurface structure of the area around Sampuraga hot springs. Magnetic field data was measured using a magnetometer in an area with dimensions of 1400 m x 1100 m with 154 points. The measurement data is a total magnetic field, and to obtain magnetic field anomaly values, corrections are made for diurnal variation and IGRF correction. Magnetic field anomaly values range from 353,1 nT to 7622,0 nT. Magnetic field anomaly data were processed using the Oasis Montaj software by reducing to the poles, upward continuation, and 2D modeling. The 2D modeling results show three layers of soil in the study area. The upper part (first and second layers) is interpreted as a caprock. This layer consists of sedimentary rock types of sandstone and clay and igneous rock in the form of granite at a depth of up to 1700 m. The lower part (third layer) is interpreted as a reservoir. This layer consists of metasedimentary volcanic rock, clay alteration, andesitic lava, and dacitic lava with a depth of up to 2030 m from the ground surface. The results of this model also interpret the fault zone as an outflow zone so that it forms manifestations on the surface. These three geothermal system components show that the Sampuraga area can be further developed and explored.*

Copyright © 2023 Author(s). All rights reserved

## I. PENDAHULUAN

Indonesia adalah salah satu negara yang mengalami aktivitas vulkanik dan tektonik yang sangat tinggi. Aktivitas tersebut disebabkan oleh posisi Indonesia yang berada diantara pertemuan antar lempeng yang bergerak aktif (Widodo *et al.*, 2016). Kondisi ini menyebabkan Indonesia memiliki potensi panas bumi yang sangat besar. Berdasarkan data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral potensi panas bumi di Indonesia sebesar 23,9 GW dan baru dimanfaatkan sebesar 8,9% atau 2130,6 MW (KESDM, 2017). Salah satu daerah di Indonesia yang memiliki potensi panas bumi adalah Mandailing Natal, Sumatera Utara yang ditandai dengan manifestasi panas bumi berupa Gunung Sorik Merapi. Keberadaan panas bumi di daerah Sampuraga diindikasikan oleh adanya fumarol, lumpur panas, dan mata air panas Sampuraga, Longat, dan Roburan Lombang (Sugianto *et al.*, 2007). Penelitian ini dilakukan di daerah Sampuraga, Kecamatan Panyabungan Barat, Kabupaten Mandailing Natal, Sumatera Utara.

Beberapa penelitian tentang panas bumi telah dilakukan di daerah Sampuraga. Sugianto *et al.* (2007) telah melakukan penyelidikan terpadu, ditemukan manifestasi panas bumi berupa fumarol dengan suhu 97 °C dan mata air panas dengan suhu 97 °C – 100,8 °C. Dengan menggunakan persamaan geotermometer geokimia Na-K-Mg diperoleh bawah permukaan (reservoir) dengan suhu 230 °C. Hasil dari penelitian ini juga diperoleh luas prospek panas bumi Sampuraga sekitar 10 km<sup>2</sup> serta estimasi potensi energi panas bumi sekitar 115 MWe. Kusnadi *et al.* (2013) juga melakukan penelitian karakteristik geokimia dengan menggunakan persamaan geotermometer NaK. Dari hasil penelitian diperoleh perkiraan temperatur reservoir di daerah tersebut sebesar 233 °C yang tergolong reservoir temperatur tinggi. Air panas di daerah Sampuraga termasuk tipe air klorida dengan konsentrasi bikarbonat dan kandungan SO<sub>4</sub> yang cukup signifikan serta ditemukan sinter karbonat.

Pada penelitian ini dilakukan survei pendahuluan lanjutan dari penelitian sebelumnya untuk mendapatkan informasi tambahan berupa struktur bawah permukaan. Struktur bawah permukaan dapat diinterpretasikan dengan menggunakan data anomali medan magnet. Variasi medan magnet disebabkan oleh sifat kemagnetan yang tidak homogen dari kerak bumi. Batuan dalam sistem panas bumi pada umumnya memiliki magnetisasi rendah dibandingkan dengan batuan di sekitarnya. Metode yang digunakan untuk mengetahui variasi medan magnet adalah metode geomagnet (Santosa, 2013). Metode geomagnet telah banyak digunakan dalam eksplorasi panas bumi. Indratmoko *et al.* (2009) telah melakukan pengukuran data medan magnet di daerah panas bumi Parang Tritis Kabupaten Bantul DIY. Dari pemodelan dua dimensi diketahui bahwa batuan penyebab anomali berada pada kedalaman 580 m dari permukaan dan diidentifikasi berupa batuan yang telah mengalami pelapukan karena proses demagnetisasi batuan.

Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi distribusi anomali medan magnet sebagai dasar penentuan struktur bawah permukaan daerah di sekitar mata air panas Sampuraga, Kecamatan Panyabungan Barat, Kabupaten Mandailing Natal, Sumatera Utara. Hasil dari penelitian ini dapat memberikan informasi mengenai lapisan batuan dan rekahan yang menyebabkan munculnya manifestasi panas bumi Sampuraga. Informasi ini dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan sebelum dilakukan eksplorasi lanjutan.

## II. METODE

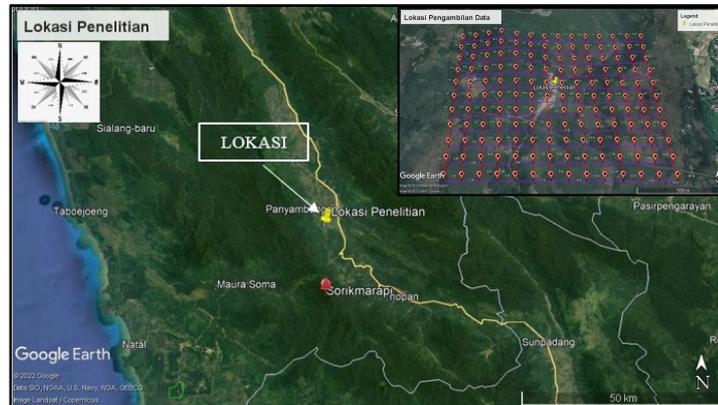
### 2.1 Alat dan Perangkat Penelitian

Alat dan perangkat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu magnetometer jenis *Precision Milligauss Meter* GU-3001, *Global Positioning Sistem* (GPS), laptop, kompas, meteran, lembar *check list* survei medan magnet, *google earth*, *oasis montaj*, dan *microsoft excel 2016*.

### 2.2 Teknik Penelitian

Penelitian dilakukan dengan beberapa tahapan, yaitu studi literatur, survei lapangan, penentuan lintasan pengambilan data, pengambilan data medan magnet, koreksi variasi harian dan IGRF, reduksi ke kutub, kontinuitas ke atas, pemodelan 2D, dan interpretasi. Lintasan pengambilan data dipilih dengan memperhatikan lokasi mata air panas dan luas daerah penelitian. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Maulidan (2021), lintasan pada penelitian ini dibuat dalam bentuk *grid* dengan jarak antar titik 100 m. Pengambilan data dilakukan pada daerah seluas 1.289.858 m<sup>2</sup>, yang memiliki 11

lintasan dengan jarak antar lintasan sejauh 100 m dan setiap lintasan memiliki 14 titik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Metode yang digunakan dalam pengambilan data pada penelitian ini adalah metode *looping*. Metode *looping* adalah metode pengambilan data yang dimulai dan diakhiri pada titik yang sama (*base station*) di setiap lintasan.



Gambar 1 Titik pengambilan data

Teknik pengolahan data pada penelitian ini dimulai dari mengubah koordinat yang diperoleh pada saat akuisisi data di lapangan yang awalnya dalam bentuk *Decimal Degree* ke dalam bentuk *Universal Transfer Mercator* (UTM). Data hasil pengukuran berupa data medan magnet total. Data ini masih dipengaruhi oleh medan magnet utama bumi (*main field*), medan magnet luar (*external field*) dan medan anomali (*anomali field*). Oleh karena itu perlu dilakukan koreksi pada data tersebut untuk menghilangkan pengaruh yang ditimbulkan baik dari dalam maupun luar bumi yaitu koreksi variasi harian dan koreksi IGRF. Nilai variasi harian dapat diperoleh menggunakan Persamaan 1 yang ditemukan oleh Telford *et al.* (1990), sebagai berikut.

$$H_d = \frac{(t_{line} - t_{base1})}{(t_{base2} - t_{base1})} \times (H_{base2} - H_{base1}) \quad (1)$$

dengan  $H_d$  adalah koreksi diurnal,  $t_{line}$  adalah waktu pengambilan data di setiap titik,  $t_{base1}$  adalah waktu pada *base* awal,  $t_{base2}$  adalah waktu pada *base* akhir,  $H_{base1}$  adalah nilai medan magnet pada *base* awal,  $H_{base2}$  adalah nilai medan magnet pada *base* akhir (Telford *et al.*, 1990). Nilai IGRF merupakan nilai medan magnet utama bumi yang dapat dilihat pada website NOAA (*National Centers for Environmental Information*) dan diperbaharui setiap lima tahun sekali. Setelah diperoleh nilai koreksi variasi harian dan IGRF, maka nilai anomali medan magnet yang sesungguhnya dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.

$$\Delta H = H_p - H_{IGRF} \pm H_d \quad (2)$$

dengan  $\Delta H$  merupakan anomali magnetik,  $H_p$  adalah medan magnet hasil pengukuran,  $H_{IGRF}$  adalah medan magnet teoritis koreksi IGRF, dan  $H_d$  adalah koreksi diurnal.

Setelah nilai anomali medan magnet diperoleh maka dilanjutkan dengan filter reduksi ke kutub. Filter reduksi ke kutub bertujuan untuk menempatkan daerah-daerah dengan anomali maksimal berada tepat di atas benda penyebab anomali. Reduksi ke kutub dilakukan dengan mengubah parameter medan magnet bumi pada daerah penelitian yang awalnya *dipole* menjadi *monopole*. Setelah dilakukan reduksi ke kutub, selanjutnya tahap kontinuasi ke atas. Anomali medan magnet hasil reduksi ke kutub masih berupa anomali regional dan anomali lokal. Tahap kontinuasi ke atas ini dilakukan untuk menghilangkan anomali lokal dan memperjelas anomali regional sehingga pola kontur daerah penelitian terlihat jelas.

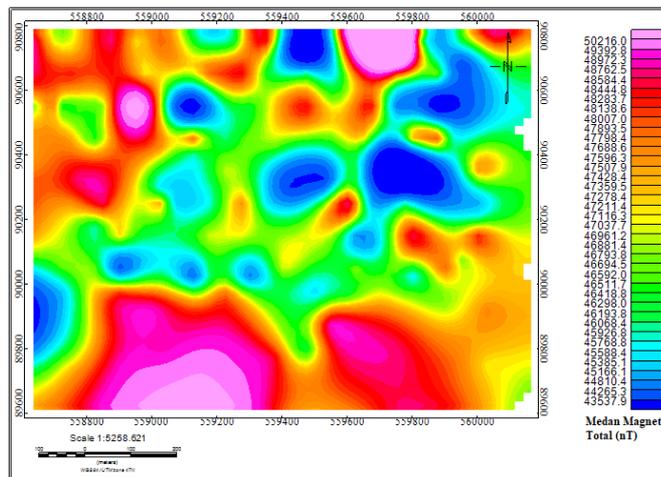
Sebelum dilakukan pemodelan, proses ini dimulai dengan melakukan sayatan diagonal pada daerah yang ditargetkan dengan memperhatikan anomali medan magnetiknya. Kriteria pemilihan sayatan pada data harus meliputi anomali medan magnet terbesar hingga terkecil agar dapat melihat kontras bawah permukaan. Selanjutnya, pemodelan yang dilakukan adalah pemodelan ke depan (*forward modelling*) yang bertujuan untuk memperoleh kesesuaian antara data teoritis (*respons model*) dengan data lapangan dengan mengubah-ubah parameter model bawah permukaan (Grandis, 2009).

### III. HASIL DAN DISKUSI

#### 3.1 Hasil Pengolahan Data Magnetik

##### 3.1.1 Medan Magnet Total

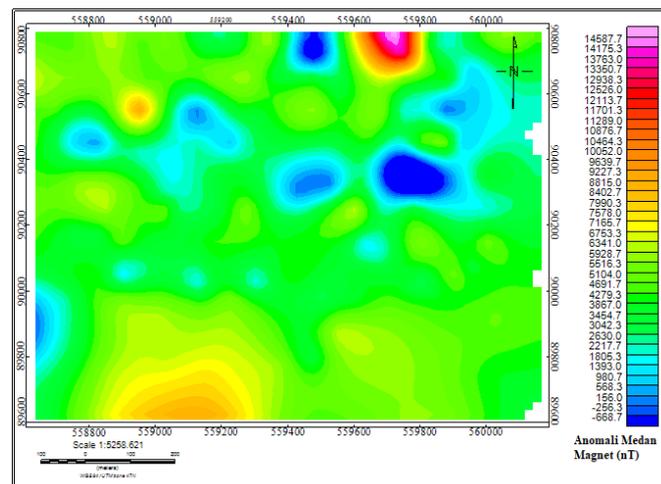
Hasil pengukuran yang diperoleh di daerah penelitian adalah nilai medan magnet total. Nilai medan magnet total dalam satuan nano Tesla (nT) digambarkan dalam bentuk peta kontur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Nilai medan magnet total yang diperoleh memiliki rentang dari 43537,9 nT hingga 50216,0 nT. Peta kontur medan magnet total pada Gambar 2 belum dapat diinterpretasikan lebih lanjut dan belum menunjukkan nilai medan magnet dari sumber benda atau batuan di bawah permukaan. Hal ini dikarenakan medan magnet total masih dipengaruhi oleh medan magnet luar dan dalam bumi.



Gambar 2 Peta kontur medan magnet total

##### 3.1.2 Anomali Medan Magnet

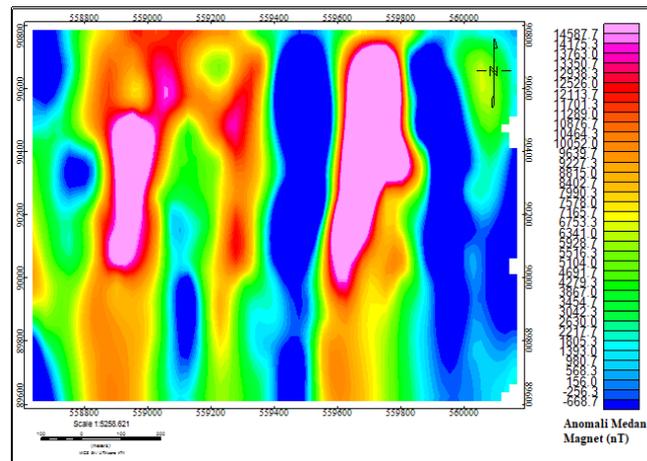
Anomali medan magnet merupakan nilai medan magnet total yang telah dilakukan koreksi variasi harian dan koreksi IGRF. Nilai rata-rata IGRF yang diperoleh pada daerah penelitian yaitu 42483,4 nT. Berdasarkan Gambar 3 diperoleh nilai anomali medan magnet berkisar -668,7 nT sampai 14587,7 nT.



Gambar 3 Peta kontur anomali medan magnet

##### 3.1.3 Reduksi ke Kutub

Reduksi ke kutub merupakan salah satu filter yang bertujuan untuk mengubah sifat *dipole* menjadi *monopole* dengan cara menghilangkan pengaruh sudut inklinasi dan deklinasi. Nilai rata-rata inklinasi dan deklinasi pada penelitian ini yaitu  $-15,0197^\circ$  dan  $-0,2918^\circ$  yang diubah menjadi  $0^\circ$ . Peta kontur anomali medan magnet setelah dilakukan reduksi ke kutub ditunjukkan pada Gambar 4.

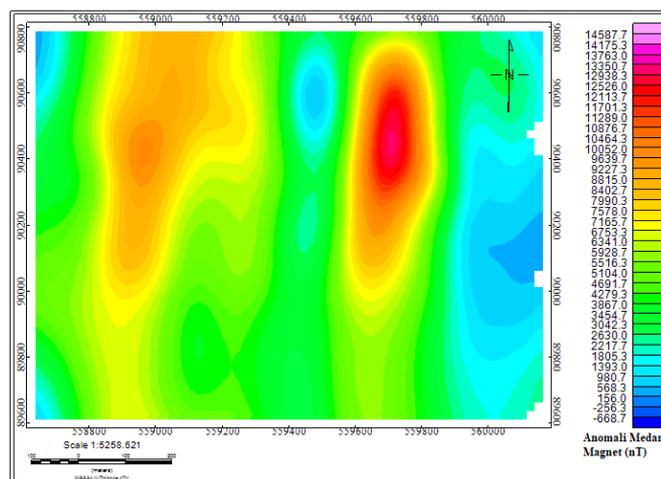


Gambar 4 Peta kontur anomali medan magnet hasil reduksi ke kutub

Berdasarkan Gambar 4, terdapat perbedaan peta kontur anomali medan magnet yang sangat signifikan antara sebelum dan setelah dilakukan reduksi ke kutub. Hasil ini menunjukkan terdapat penguatan nilai kemagnetan setelah pengaruh inklinasi dan deklinasi dihilangkan. Nilai anomali medan magnet negatif pada daerah penelitian disebabkan oleh adanya sumber panas, reservoir, dan pengaruh batuan vulkanik yang telah mengalami proses demagnetisasi. Hal ini terjadi karena adanya kenaikan temperatur sehingga mineral-mineral yang ada kehilangan sifat kemagnetannya (Telford *et al.*, 1990). Anomali medan magnet hasil reduksi ke kutub masih berupa anomali medan magnet regional dan lokal. Oleh karena itu, perlu dilakukan filter kontinuasi ke atas untuk mengurangi pengaruh anomali medan magnet lokal dan memperjelas anomali medan magnet regional.

### 3.1.4 Kontinuasi ke Atas

Pada penelitian ini dilakukan pengangkatan dengan berbagai ketinggian yang bertujuan untuk melihat perbedaan anomali medan magnet regional dalam penerapan kontinuasi ke atas. Peta kontur yang akan digunakan untuk pemodelan yaitu peta kontur hasil kontinuasi dengan ketinggian 100 m. Peta kontur ini dipilih karena anomali medan magnet lokal belum hilang sepenuhnya dan anomali medan magnet regional dapat diinterpretasikan.



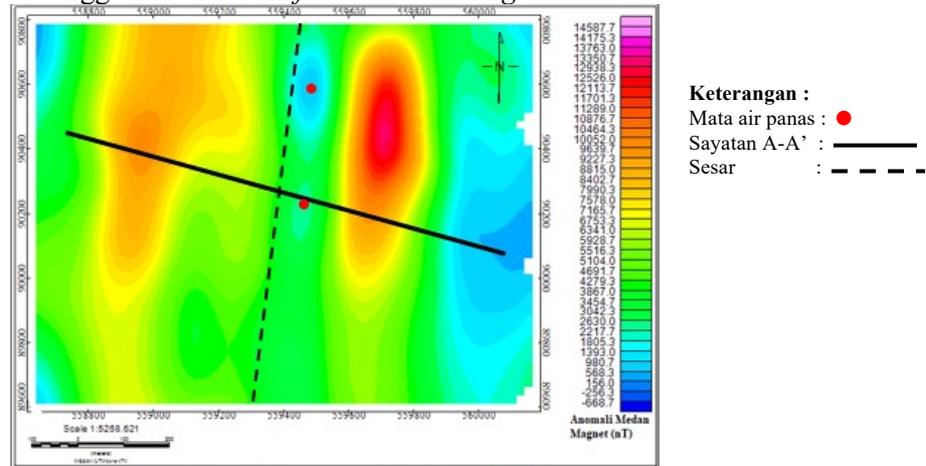
Gambar 5 Peta kontur hasil kontinuasi ke atas 100 m

## 3.2 Pemodelan 2 Dimensi

### 3.2.1 Sayatan Pada Peta Kontur Hasil Kontinuasi ke Atas

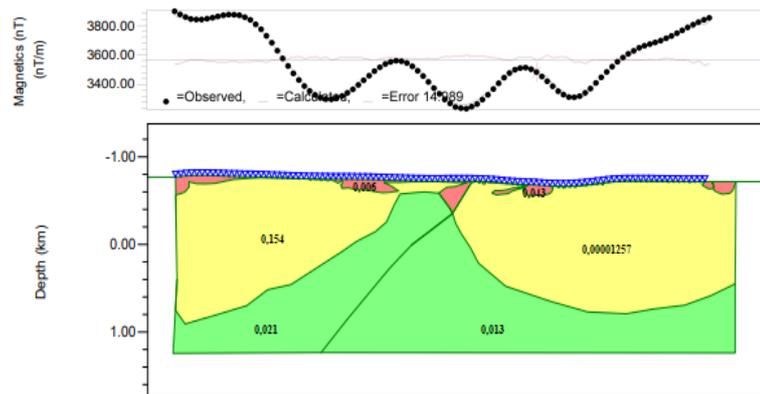
Peta kontur hasil kontinuasi ke atas 100 m kemudian disayat dari arah barat laut – tenggara yang ditunjukkan pada Gambar 6 dan dinamakan dengan sayatan A-A'. Pemilihan arah sayatan ini dilakukan karena memotong klosur positif dan negatif serta melewati Sesar Normal Sirambas yang didukung oleh data geologi. Terdapat beberapa parameter yang digunakan pada pemodelan ini yaitu nilai IGRF sebesar 42483,4 nT, sudut inklinasi sebesar  $-15,0197^\circ$ , sudut deklinasi sebesar  $-0,2918^\circ$ , dan kedalaman 2030

m dari permukaan tanah dengan panjang lintasan 1417,8 m. Setelah memasukkan parameter tersebut maka dilanjutkan dengan menggunakan metode *forward modelling*.



**Gambar 6** Sayatan pada peta kontur hasil kontinuasi ke atas 100 m

Metode *forward modelling* dilakukan dengan cara *trial and error* dan memperhatikan beberapa parameter model seperti nilai suseptibilitas batuan, kedalaman, dan bentuk lapisan. Parameter model akan terus diubah sampai mendapatkan model yang sesuai dengan literatur seperti pada Gambar 7.



**Gambar 7** Model 2D bawah permukaan pada sayatan A-A'

Berdasarkan Gambar 7, model bawah permukaan sayatan A-A' terdiri atas 3 lapisan dengan nilai *error* 14,989. Lapisan pertama (warna merah muda) memiliki nilai suseptibilitas 0,006 SI di bagian kiri sayatan dan 0,043 SI di kanan sayatan. Ketebalan rata-rata lapisan ini adalah 224 m dan terdapat satu bagian yang mencapai kedalaman hingga 439,88 m. Berdasarkan nilai suseptibilitasnya dari (Telford *et al.*, 1990), lapisan pertama diinterpretasikan sebagai satuan sedimen berupa batu pasir dan lempung. Lapisan kedua (warna kuning) memiliki nilai suseptibilitas 0,154 SI di sisi kiri sayatan dan 0,00001257 SI di sisi kanan sayatan. Ketebalan rata-rata lapisan kedua yaitu 1012 m. Berdasarkan nilai suseptibilitas dari (Telford *et al.*, 1990), lapisan kedua diidentifikasi terdiri dari batuan sedimen dan granit. Lapisan ketiga (warna hijau) memiliki nilai suseptibilitas 0,021 SI di bagian kiri sayatan dan 0,013 SI dibagian kanan sayatan. Ketebalan rata-rata lapisan ketiga yaitu 880 m dan bagian tengah lapisan menunjam ke atas yang diduga diakibatkan oleh pergerakan aliran fluida panas. Berdasarkan nilai suseptibilitas, lapisan ketiga diinterpretasikan terdiri dari batuan metasedimen, alterasi lempung, lava andesit, dan lava dasitik.

### 3.2.2 Interpretasi Sistem Panas Bumi Sayatan A-A'

Dari hasil pemodelan sayatan A-A', terdapat tiga komponen sistem panas bumi di daerah Sampuraga yaitu berupa batuan penudung, reservoir, dan sesar. Bagian pertama yaitu lapisan yang meliputi dua lapisan teratas dengan struktur batuan berupa batu pasir, lempung, dan granit yang berada pada kedalaman hingga 1700 m. Berdasarkan struktur batumannya, lapisan ini dapat menahan fluida panas

bumi menuju permukaan karena memiliki permeabilitas yang rendah sehingga diinterpretasikan sebagai batuan tudung (*caprock*) (Utama *et al.*, 2012).

Bagian kedua yaitu lapisan yang ada dibawahnya (lapisan ketiga) dengan struktur batuan berupa batuan vulkanik metasedimen, alterasi lempung, lava andesit, dan lava dasitik yang berada pada kedalaman hingga 2030 m dari permukaan tanah. Lapisan ini diinterpretasikan sebagai reservoir panas bumi karena memiliki permeabilitas dan porositas yang tinggi. Hasil ini juga sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Sugianto *et al.*, 2007 menggunakan pengukuran *sounding* bahwa reservoir panas bumi terdiri dari batuan vulkanik tersier (aliran lava) dan batuan vulkanik metasedimen serta mengasumsikan tebal reservoir sebesar 2 km. Hasil pemodelan ini juga menginterpretasikan zona sesar yang merupakan tempat keluar (*outflow*) fluida panas bumi sehingga membentuk manifestasi di permukaan. Berdasarkan geologi daerah penelitian, sesar pada pemodelan ini yaitu Sesar Normal Sirambas. Sesar Normal Sirambas merupakan sesar yang memicu terjadinya terobosan sebagian magma ke permukaan dan menghasilkan tubuh intrusi dasit. Tubuh intrusi inilah yang diperkirakan berfungsi sebagai sumber panas (Sugianto *et al.*, 2007).

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan di daerah manifestasi panas bumi Sampuraga, Mandailing Natal, Sumatera Utara dapat diketahui bahwa nilai anomali medan magnet pada daerah penelitian berkisar dari -668,7 nT sampai 14587,7 nT dan didominasi oleh anomali rendah. Anomali medan magnet rendah ini dikarenakan adanya sumber panas, reservoir, dan demagnetisasi batuan vulkanik. Berdasarkan hasil pemodelan sistem panas bumi sayatan A-A' terdapat tiga struktur sistem panas bumi di daerah penelitian. Pemodelan ini menunjukkan bahwa lapisan atas sebagai batuan tudung (*caprock*), lapisan di bawahnya merupakan reservoir, serta terdapat zona sesar sebagai tempat keluarnya fluida panas.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Grandis, H. (2009), Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika, HAGI, Bandung.
- Indratmoko, P., Nurwidyanto, M.I. and Yulianto, T. (2009), "Interpretasi Bawah Permukaan Daerah Manifestasi Panas Bumi Parang Tritis Kabupaten Bantul DIY Dengan Metode Magnetik", Berkala Fisika, Vol. 12 No. 4, pp. 153–160.
- KESDM. (2017), Potensi Panas Bumi Indonesia Jilid 1, Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta.
- Kusnadi, D., Novelyarisanti, N. and Novianda, R. (2013), "Karakteristik Geokimia Manifestasi Panas Bumi Daerah Sampuraga, Kabupaten Mandailing Natal, Sumatera Utara", Buletin Sumber Daya Geologi, Vol. 8 No. 1, pp. 7–14.
- Maulidan, I.F. (2021), Interpretasi Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Data Magnetik Daerah Panas Bumi Semurup Kabupaten Kerinci, Universitas Andalas, Padang.
- Santosa, B.J. (2013), "Magnetic Method Interpretation to Determine Subsurface Structure Around Kelud Volcano", Indian Journal of Applied Research, Vol. 3 No. 5, pp. 328–331.
- Sugianto, A., Bakrun and Suryakusuma, D. (2007), "Penyelidikan Terpadu Daerah Panas Bumi Sampuraga Kabupaten Mandailing Natal, Sumatera Utara", Proceeding Pemaparan Hasil Kegiatan Lapangan Dan Non Lapangan Tahun 2007 Pusat Sumber Daya Geologi, Jawa Barat.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E. and Keys, A. (1990), "Applied Geophysics Second Edition", Cambridge University Press, Cambridge.
- Utama, A.P., Dwinanto, A., Situmorang, J., Hikmi, M. and Irsamukti, R. (2012), "Green Field Geothermal Systems in Java Indonesia", Proceedings of ITB Gheothermal Workshop, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Widodo, M., Yulianto, T., Harmoko, U., Yulianto, G., Widada, S. and Dewantoro, Y. (2016), "Analisis Struktur Bawah Permukaan Daerah Harjosari Kabupaten Semarang Menggunakan Metode Geomagnet Dengan Pemodelan 2D Dan 3D", Youngster Physics Journal, Vol. 5 No. 4, pp. 251–260.