

Pemetaan Struktur Bawah Permukaan di sekitar Manifestasi Panas Bumi Desa Sungai Tutung Kerinci Menggunakan Metode Geomagnetik

Ratika Tri Suci*, Ardian Putra

Laboratorium Fisika Bumi, Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas
Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 30 Oktober 2021
Direvisi: 19 November 2021
Diterima: 25 November 2021

Kata kunci:

Anomali magnetik
Caprock
Hot rock
Reservoir

Keywords:

Caprock
Geothermal
Hot rock
Reservoir

Penulis Korespondensi:

Ratika tri Suci
Email: 3ratika.suci@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui struktur bawah permukaan di Desa Sungai Tutung menggunakan metode geomagnetik. Data diukur menggunakan magnetometer dalam area berdimensi $1100 \text{ m} \times 1100 \text{ m}$ pada 115 titik ukur dengan panjang dan lebar antar titik adalah 100 m. Data dikoreksi dengan koreksi harian, IGRF, dan topografi. Selanjutnya, dilakukan reduksi ke kutub dan filter kontinuasi ke atas. Hasil penelitian didapatkan nilai anomali magnetik sekitar -2554 nT hingga 3578 nT yang didominasi oleh nilai negatif diduga karena adanya demagnetisasi batuan di bawah permukaan. Pemodelan 2D dilakukan dengan menganalisa anomali medan magnetik hasil filter kontinuasi ke atas pada ketinggian 100 m. Berdasarkan pemodelan 2D, didapatkan tiga struktur utama sistem panas bumi. Struktur pertama didominasi oleh batuan sedimen yang diindikasikan sebagai lapisan caprock dengan kedalaman 500 m hingga 850 m. Struktur kedua didominasi oleh batupasir, alterasi lempung, dan intrusi lava dasitik yang diindikasikan sebagai reservoir dengan kedalaman $\pm 850 \text{ m}$ hingga 1160 m. Struktur ketiga didominasi batuan beku dan magma basaltik yang diduga merupakan kemenerusan dari Gunung Api Lumut dan diindikasikan sebagai hot rock yang berada di kedalaman di bawah $\pm 1160 \text{ m}$.

This research has been conducted to determine the subsurface structure in Sungai Tutung Village using the geomagnetic method. Data measurements is using magnetometer in $1100 \text{ m} \times 1100 \text{ m}$ on 115 measurement points which is length and width between point about 100 m. The magnetic anomaly has been corrected by diurnal, IGRF, and topographic corrections. Then reductions to the poles and upward continuation. The magnetic field values were -2554 nT to 3578 nT which dominated by negative values due to the heat source. 2D modeling is done by analyzing the magnetic field anomaly in upwards continuation filter with a height of 100 m. Based on the modeling, the research area can be classified into 3 main structures of the geothermal system. The first structure which is dominated by sedimentary is indicated as caprock with a depth about 500 m to 850 m. The second structure which is dominated by sandstone, clay alteration, and dacitic lava intrusion is indicated as reservoirs with a depth of $\pm 850 \text{ m}$ to 1160 m. The last structure which is dominated by igneous rock and basaltic magma which is thought to be a continuation of Lumut volcano is indicated as hot rock at a depth below $\pm 1160 \text{ m}$.

Copyright © 2021 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Energi panas bumi merupakan energi panas alami yang berasal dari dalam bumi akibat dari aktivitas lempeng tektonik dan sudah ada sejak bumi terbentuk (DiPippo, 2012). Energi ini bersifat terbarukan karena sumber panasnya selalu tersedia dan diproses oleh alam secara berkelanjutan. Energi panas bumi juga bersifat ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi atau limbah yang berbahaya bagi manusia maupun lingkungan. Energi ini memiliki potensi yang besar untuk menanggulangi krisis energi nasional salah satunya krisis energi akibat semakin berkurangnya sumber daya bahan bakar fosil.

Indonesia, sebagai negara yang berada di zona lempengan aktif dunia yang dikenal dengan *ring of fire*, memiliki cadangan terduga panas bumi yang besar mencapai 28,5 GWe (Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional, 2019). Salah satu daerah yang memiliki potensi panas bumi cukup besar adalah Desa Sungai Tutung, Kecamatan Air Hangat Timur, Kabupaten Kerinci, Jambi (Hochstein & Sudarman, 2008). Hal ini dibuktikan dengan adanya manifestasi permukaan berupa mata air panas dengan suhu antara 80°C-90°C, pH 7 dan bersifat klorida netral (dipengaruhi oleh aktivitas magmatik), dengan perkiraan suhu reservoir antara 117°C-251°C (suhu tinggi) serta memiliki entalpi yang tinggi (Rezky dkk., 2011; PU Kerinci, 2020). Cadangan terduga panas bumi di sekitar wilayah desa ini adalah 130 MWe (Direktorat Panas Bumi, 2017). Potensi yang besar ini dapat menjadi salah satu prospek pengembangan energi panas bumi untuk menanggulangi krisis energi.

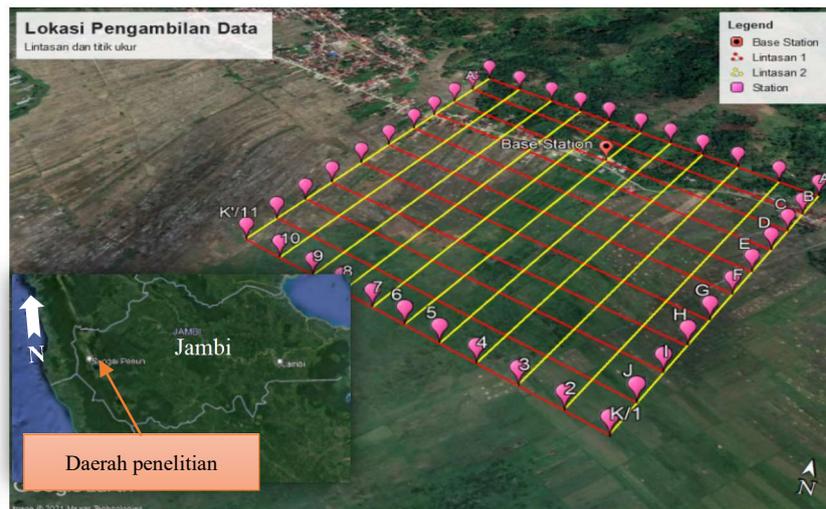
Hasil penelitian terdahulu tidak cukup untuk menjelaskan sistem panas bumi di Desa Sungai Tutung secara rinci, sehingga diperlukan eksplorasi lanjutan untuk dapat menjelaskan sistem tersebut. Oleh karena itu, dilakukan penelitian ini untuk memperoleh informasi tambahan berupa struktur bawah permukaan dan zona rekahan penyebab munculnya manifestasi yang menjadi indikator penting dalam tahap eksplorasi panas bumi selanjutnya yaitu pengeboran. Eksplorasi panas bumi dapat dilakukan dengan menggunakan metode geomagnetik. Metode ini mengukur medan magnet total bumi di suatu tempat menggunakan magnetometer dengan akurasi pengukuran yang tinggi dan dapat mendeteksi bawah permukaan yang dalam. Metode geomagnetik juga sensitif terhadap perubahan vertikal lapisan batuan yaitu kemampuan batuan untuk termagnetisasi (Mussett & Khan, 2000).

Eksplorasi panas bumi terkait pemetaan struktur bawah permukaan menggunakan metode geomagnetik pernah dilakukan oleh Awaliyatun & Hutahean (2015) di Tinggi Raja Simalungun, Esmat dkk. (2015) di El-bahariya Mesir, Ekwok dkk. (2019) di Tenggara Nigeria, dan Heningtyas dkk. (2017) di jalur Sesar Oyo. Hasil penelitian didapatkan berupa jenis batuan dan bentuk struktur bawah permukaan di masing-masing daerah penelitian. Selain itu, ditemukan juga zona rekahan yang mempengaruhi munculnya manifestasi permukaan di daerah penelitian. Berdasarkan hasil tersebut diketahui bahwa metode geomagnetik dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis-jenis batuan yang terdapat di bawah permukaan berdasarkan nilai susceptibilitas magnetiknya. Metode ini juga dapat mendeteksi anomali magnetik negatif di daerah sekitar prospek panas bumi untuk menentukan arah distribusi panas bumi. Oleh karena itu metode geomagnetik cocok digunakan untuk mendeteksi potensi panas bumi dalam tahap eksplorasi.

II. METODE

2.1 Pengambilan Data

Gambar 1 menunjukkan lokasi pengambilan data di sekitar manifestasi mata air panas Desa Sungai Tutung dengan luas daerah penelitian 12,1 km². Lokasi pengukuran memiliki 11 lintasan berbentuk persegi dengan panjang lintasan 1100 m × 1100 m, setiap lintasan memiliki 9 hingga 11 titik ukur dengan panjang dan lebar antar titik adalah 100 m. Pada penelitian ini terdapat 115 total titik pengukuran medan magnet. Data diukur menggunakan magnetometer jenis *Precision Milligauss Meter* GU-3001 dengan cara *looping* yaitu menggunakan satu alat untuk mencatat variasi harian sekaligus melakukan pengukuran medan magnet di setiap titik. Pengukuran di setiap titik dilakukan sebanyak 4 kali. Data lapangan yang diperoleh berupa waktu pengukuran, lintang, bujur, ketinggian, dan nilai medan magnet total di setiap titik.



Gambar 1 Peta lokasi pengambilan data

2.2 Pengolahan Data

Pengolahan data diawali dengan membuat peta kontur medan magnet total yang didapat dari akuisisi data magnetik. Setelah membuat peta kontur, dilakukan koreksi data berupa koreksi variasi harian (*diurnal*), koreksi topografi, dan koreksi IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*) untuk mendapatkan nilai anomali magnetik menggunakan Persamaan (1)

$$\Delta H = H_p \pm H_d - \Delta H_{top} - H_{IGRF} \quad (1)$$

dengan ΔH adalah anomali magnetik, H_p adalah medan magnet hasil pengukuran, H_d adalah koreksi variasi harian (*diurnal*), ΔH_{top} adalah koreksi topografi, dan H_{IGRF} adalah koreksi IGRF. Nilai anomali magnetik selanjutnya diinterpretasikan dalam peta kontur, kemudian dilanjutkan dengan proses reduksi ke kutub dan kontinuasi ke atas. Reduksi ke kutub dilakukan untuk mengubah kutub-kutub magnet yang awalnya dipol menjadi monopol. Kontinuasi ke atas dilakukan untuk mengurangi pengaruh anomali magnetik lokal dan mendominasi pengaruh anomali magnetik regional. Peta kontur hasil kontinuasi ke atas kemudian disayat untuk membuat pemodelan 2D struktur bawah permukaan Desa Sungai Tutung menggunakan *software* Oasis Montaj.

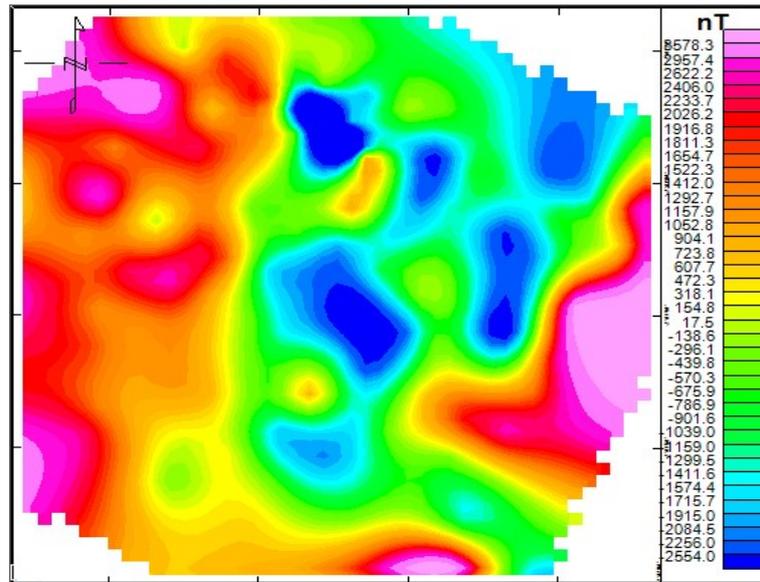
III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Hasil Pengolahan Data

3.1.1 Anomali magnetik

Gambar 2 menunjukkan nilai anomali magnetik di daerah penelitian berkisar antara -2554,0 nT hingga 3578,3 nT. Nilai anomali terendah ditunjukkan oleh warna biru tua hingga warna hijau dengan nilai -2554,0 nT hingga 675,9 nT, anomali sedang ditunjukkan oleh warna hijau kekuningan hingga warna jingga dengan nilai -570,3 nT hingga 1292,7 nT, dan anomali tinggi ditunjukkan oleh warna jingga kemerahan hingga warna merah muda dengan nilai 1654,7 nT hingga 3578,3 nT. Munculnya nilai negatif diduga disebabkan karena adanya demagnetisasi batuan akibat adanya sumber panas dan reservoir. Nilai negatif ini akan selalu muncul pada studi panas bumi karena mineral dan batuan yang ada di lapisan bawah permukaan bumi akan kehilangan sifat magnetnya apabila terjadi kenaikan temperatur (Telford dkk., 1990).

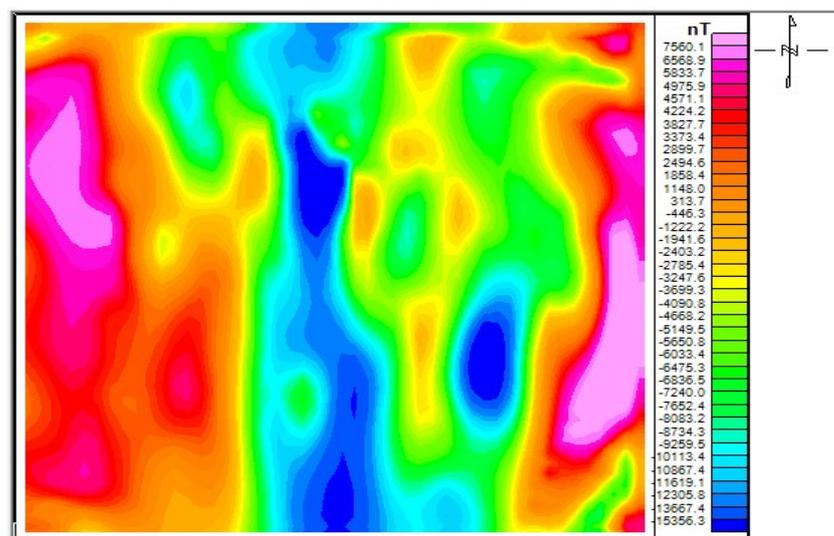
Anomali magnetik yang didapatkan masih dipengaruhi oleh dipol-dipol magnet. Dipol-dipol magnet adalah anomali yang berasal dari suatu benda yang terbentuk karena pengaruh sudut deklinasi dan inklinasi dan dapat mempengaruhi arah dari demagnetisasi batuan (Rajab & Palloan, 2016). Untuk menghilangkan pengaruh dari medan magnet dipol, maka perlu dilakukan reduksi ke kutub (*reduce to pole*).



Gambar 2 Peta kontur anomali magnetik

3.1.2 Reduksi ke kutub (RTP)

Peta kontur hasil reduksi ke kutub ditunjukkan oleh Gambar 3. Berdasarkan hasil terlihat adanya perbedaan anomali magnetik yang sangat signifikan jika dibandingkan dengan anomali magnetik sebelum dilakukan reduksi ke kutub. Pada peta kontur ini terlihat nilai kemagnetan lebih tinggi berkisar antara -15356,3 nT – 7560,1 nT. Hal ini menunjukkan adanya penguatan nilai kemagnetan yang diduga karena adanya batuan magnetik di sekitar daerah penelitian setelah pengaruh inklinasi dan deklinasi dihilangkan. Hasil yang sama juga didapatkan oleh Heningtyas dkk. (2017) di daerah panas bumi Jalur Sesar Oyo. Peta kontur yang didapatkan setelah melakukan reduksi ke kutub masih dipengaruhi oleh anomali magnetik lokal. Oleh karena itu, perlu dilakukan kontinuitas ke atas untuk menghilangkan pengaruh anomali magnetik lokal dan mendominankan pengaruh anomali magnetik regional.



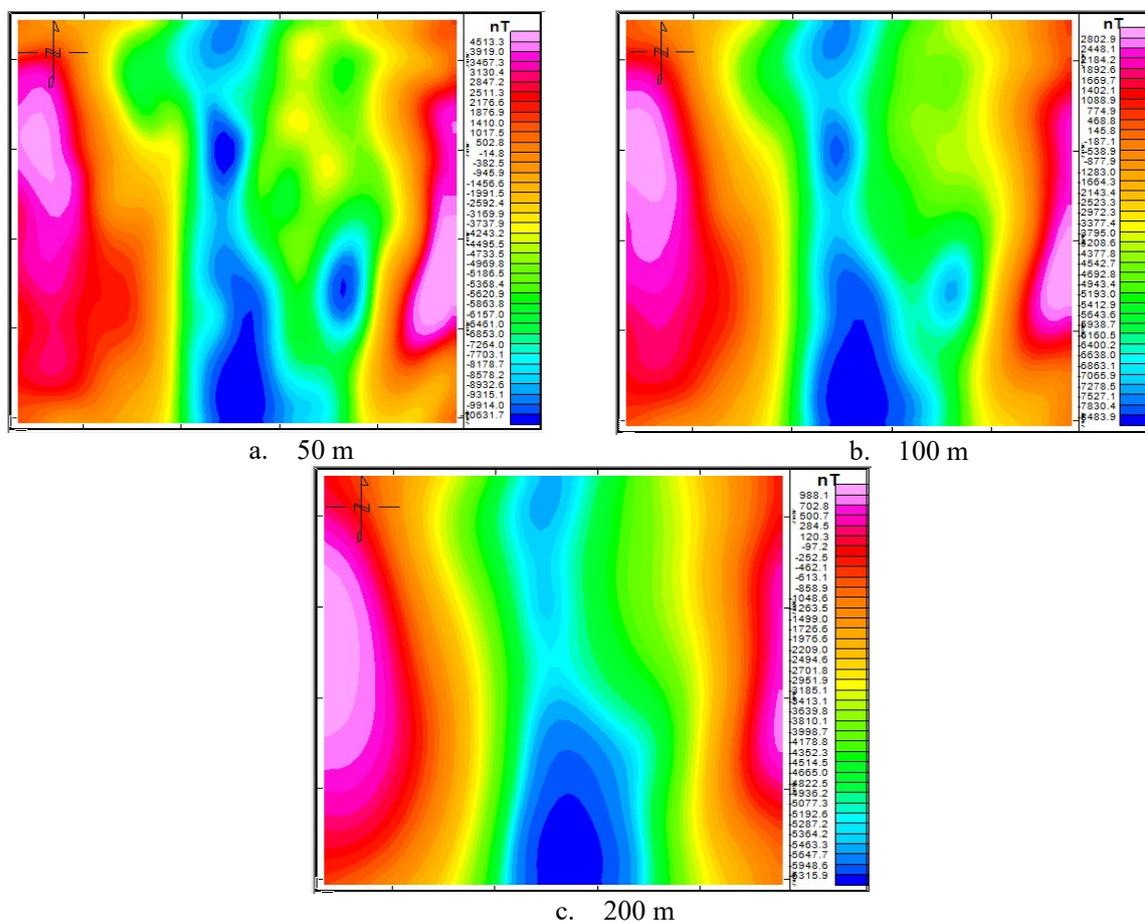
Gambar 3 Peta kontur anomali magnetik hasil reduksi ke kutub

3.1.3 Kontinuitas ke atas

Anomali magnetik yang digunakan untuk menginterpretasikan potensi panas bumi adalah anomali magnetik regional. Anomali ini menginterpretasikan kondisi sistem panas bumi di bawah permukaan lebih dalam dan menyeluruh. Untuk memaksimalkan anomali magnetik regional, maka perlu dilakukan kontinuitas ke atas agar anomali magnetik regional dapat didominankan.

Berdasarkan Gambar 4, terjadi pengurangan nilai anomali magnetik jika dibandingkan dengan sebelum dilakukan kontinuitas ke atas. Nilai anomali magnetik sebelumnya berkisar antara -15356,3 nT hingga 7560,1 nT menjadi -7703,7 nT hingga 4513,3 nT pada ketinggian 50 m dan terus menurun sampai ketinggian 200 m. Hal ini disebabkan karena sumber anomali magnetik lokal dihilangkan sehingga yang tersisa hanya sumber anomali magnetik regional saja.

Pada hasil kontinuitas ini juga terlihat bahwa distribusi fluida panas bumi berasal dari arah selatan daerah penelitian karena semakin rendahnya nilai anomali magnetik yang ditunjukkan dengan semakin dominannya warna biru dari arah selatan setiap dilakukan peningkatan ketinggian. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi demagnetisasi batuan yang diduga dipengaruhi oleh sumber panas bumi dari aktivitas Gunung Api Lumut yang berada di arah selatan daerah penelitian (Jarot dkk., 2019). Selanjutnya hasil dari kontinuitas ke atas akan diproses untuk dibuat pemodelan 2D. Kontinuitas pada ketinggian 100 m dipilih untuk digunakan pada proses pemodelan 2D struktur bawah permukaan karena sudah terlihat anomali magnetik regional dan tidak menghilangkan sepenuhnya pengaruh anomali magnetik lokal.



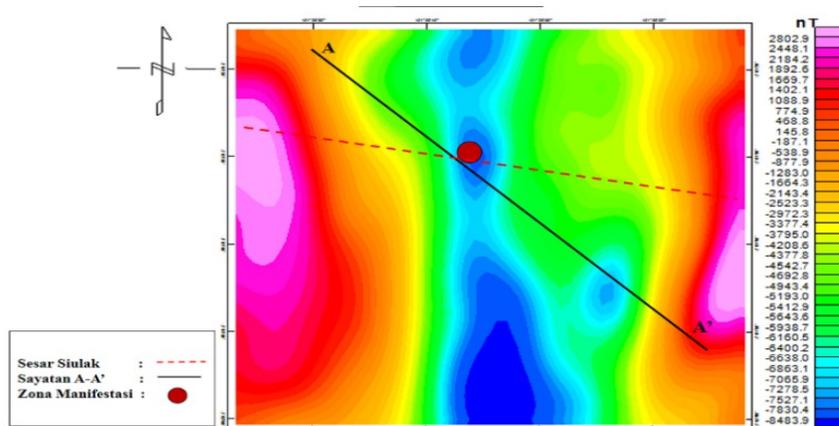
Gambar 4 Kontinuitas ke atas pada ketinggian a. 50 m, b. 100 m, dan c. 200 m

3.2 Pemodelan 2D

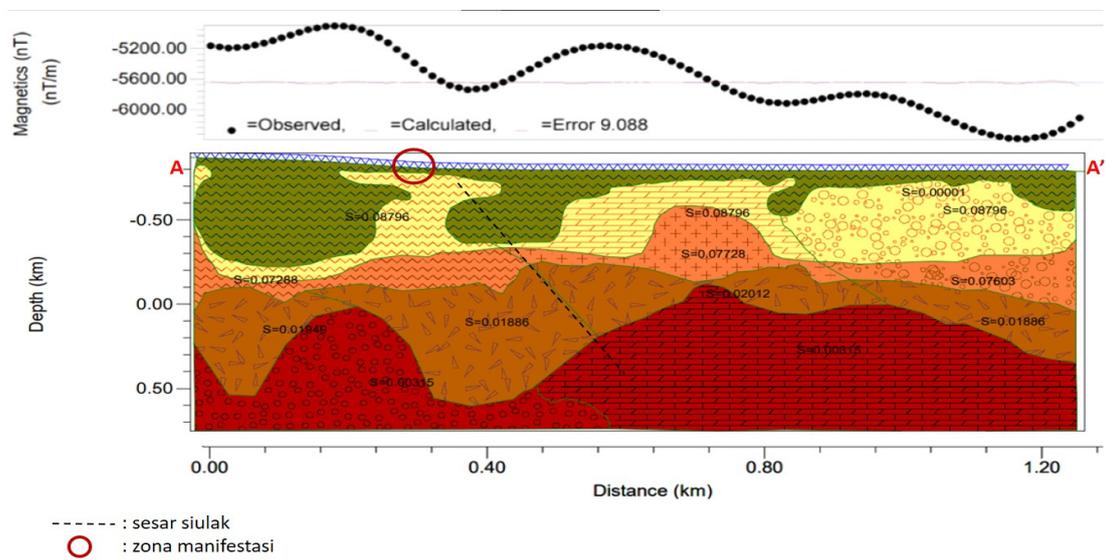
3.2.1 Sayatan pada peta kontur kontinuitas ke atas

Peta kontur hasil kontinuitas ke atas pada ketinggian 100 m disayat dengan sayatan A-A' yang ditunjukkan oleh Gambar 5. Sayatan A-A', yang digambarkan dengan garis warna hitam, dibuat dengan beberapa ketentuan, yaitu melewati zona Sesar Siulak yang digambarkan dengan garis putus-putus warna merah, melewati zona manifestasi air panas yang digambarkan dengan titik merah dan melewati klosur tinggi dan rendah pada peta kontur anomali magnetik. Parameter yang digunakan dalam membuat pemodelan ini adalah nilai IGRF sebesar 43180,4 nT, sudut inklinasi sebesar -21,4259°, sudut deklinasi sebesar -0,0131°, dan kedalaman 1600 m dari permukaan tanah dengan

panjang lintasan 1275 m. Hasil pemodelan struktur bawah permukaan sayatan A-A' ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 5 Sayatan A-A' pada peta kontur hasil kontinuasi ke atas 100 m



Gambar 6 Model 2D bawah permukaan pada sayatan A-A'

Gambar 6 menunjukkan bahwa pada hasil pemodelan didapatkan 5 lapisan bawah permukaan yang berbeda jenis batuan. Dalam menentukan jenis batuan di setiap lapisan perlu ditambahkan data geologi daerah penelitian. Hal ini dilakukan untuk dapat menentukan jenis batuan yang sesuai dengan kondisi bawah permukaan yang sebenarnya. Tabel 1 menunjukkan jenis batuan hasil pemodelan di daerah penelitian dan nilai suseptibilitas magnetiknya dalam satuan SI (10^{-6}) (Harrison dkk., 2015).

Tabel 1 Nilai suseptibilitas magnetik dan kedalaman formasi batuan di kawasan penelitian

Lapisan	Data geologi	Kedalaman (m)	Suseptibilitas magnetik (SI)	Interpretasi
Lapisan 1	Alluvium	50 – 500	0,00001	Pasir, kerikil, dan lempung
Lapisan 2	Batupasir tuf	150 – 850	0,08796	Batupasir dan piroklastik
Lapisan 3	Tufa pasiran	290 – 550	0,07289 - 0,07729	Batupasir, alterasi lempung, dan piroklastik
Lapisan 4	Intrusi dasitik	560 – 1135	0,01886 - 0,02012	Lava dasitik
Lapisan 5	Magma basaltik	725 – 1600	0,00315	Batuan beku dan magma basaltik

3.2.2 Interpretasi Sistem Panas Bumi Sayatan A-A'

Lapisan di bawah sayatan A-A' pada Gambar 6 dapat dibagi menjadi tiga bagian struktur utama sistem panas bumi Desa Sungai Tutung. Struktur pertama adalah lapisan dekat permukaan yang berada di kedalaman 500 m hingga 850 m. Berdasarkan nilai susceptibilitas magnetik dan data geologi, struktur ini didominasi oleh batuan sedimen jenis batupasir. Batupasir adalah jenis batuan yang memiliki permeabilitas rendah dan merupakan salah satu jenis batuan penyusun lapisan penudung (Harrison dkk., 2015). Oleh karena itu, struktur ini diindikasikan sebagai lapisan batuan penudung (*caprock*) yang dapat menahan keluarnya fluida panas bumi ke permukaan.

Struktur kedua berada di kedalaman 850 m hingga 1600 m, didominasi oleh batupasir dan intrusi dasitik yang diduga berasal dari Gunung Api Lumut yang berada di arah selatan daerah penelitian. Intrusi dasitik merupakan jenis batuan beku vulkanik penyusun zona reservoir panas bumi karena memiliki porositas dan permeabilitas yang baik, sehingga fluida panas bumi dapat terakumulasi dan terpanaskan (Awaliyatun & Hutahean, 2015). Pada struktur ini juga terjadi penurunan nilai susceptibilitas magnetik yang menjadi indikator adanya reservoir panas bumi (Heningtyas dkk., 2017). Oleh karena itu, struktur kedua ini diindikasikan sebagai lapisan reservoir sistem panas bumi Desa Sungai Tutung.

Struktur ketiga berada di kedalaman 1600 m didominasi oleh batuan batuan beku dan magma basaltik yang bersifat basa diduga berasal dari Formasi Bandan (Rezky dkk., 2011). Magma basaltik adalah jenis magma suhu tinggi yang memiliki suhu berkisar antara 1000 °C hingga 1200 °C (DiPippo, 2012). Oleh karena itu, struktur ini diindikasikan sebagai lapisan sumber panas (*hot rock*) karena memiliki suhu tinggi yang dapat memanaskan reservoir panas bumi.

Panas bumi di Desa Sungai Tutung dipengaruhi oleh Sesar Siulak sebagai tempat keluarnya (*outflow*) fluida panas bumi di daerah penelitian dan membentuk manifestasi permukaan berupa mata air panas di Desa Sungai Tutung (Rezky dkk., 2011). Menurut DiPippo (2012), patahan atau rekahan adalah salah satu indikasi adanya zona permeabel yang menjadi salah satu aspek penting penanda adanya sumber panas dan memiliki potensi untuk dieksplorasi. Sementara itu, zona *inflow* bersumber dari arah selatan yang berkaitan erat dengan aliran magma panas dari Gunung Api Lumut berupa intrusi lava dasitik (Rachmatullah dkk., 2020).

IV. KESIMPULAN

Nilai anomali magnetik total di daerah penelitian berkisar dari -2554 nT sampai dengan 3578 nT yang didominasi anomali negatif karena adanya demagnetisasi batuan sedimen akibat pengaruh sumber panas dari aktivitas vulkanik Gunung Api Lumut. Munculnya manifestasi permukaan di daerah penelitian disebabkan karena adanya zona patahan Sesar Siulak. Struktur bawah permukaan daerah penelitian berasal dari Formasi Bandan dan dibagi menjadi 3 lapisan utama yaitu lapisan batuan penudung (*caprock*) di kedalaman 500 m hingga 850 m, lapisan reservoir sebagai tempat penyimpanan fluida panas bumi di kedalaman 850 m hingga 1600 m, dan lapisan sumber panas (*hot rock*) yang didominasi oleh batuan beku dan magma basaltik. Sumber panas ini diduga berasal dari arah selatan yang memiliki kemenerusan dengan Gunung Api Lumut. Dengan adanya zona patahan, *caprock*, reservoir, dan *hot rock*, hal ini menunjukkan bahwa Desa Sungai Tutung memiliki potensi panas bumi yang cocok untuk diekplorasi lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- Awaliyatun, F., & Hutahean, J., 2015, 'Penentuan struktur bawah permukaan tanah daerah potensi panas bumi dengan metode geomagnetik di Tinggi Raja Kabupaten Simalungun', *Eintein (e-Journal)*, vol. 3, no. 1.
- Dinas Pekerjaan Umum (PU) Kerinci, 2016, Dokumen Rencana Pembangunan Investasi Infrastruktur Jangka Menengah (DRPI2JM), Pemerintah Kabupaten Kerinci, Jambi.
- DiPippo, 2012, *Geothermal Power Plants: Principles, Applications, Case Studies And Environmental Impact*, University of Massachusetts Dartmouth, Massachusetts.
- Direktorat Panas Bumi, 2017, *Potensi Panas Bumi Indonesia Jilid 1*, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta.

- Ekwok, S. E., Akpan, A. E., & Ebong, E. D., 2019, 'Enhancement and modelling of aeromagnetic data of some inland basins, southeastern Nigeria', *Journal of African Earth Sciences*, vol. 155, pp. 43–53.
- Esmat E.A., Khalil, A., Rabeh, T., & Osman, S., 2015, 'Geophysical contribution to evaluate the subsurface structural setting using magnetic and geothermal data in El-Bahariya Oasis Western Desert, Egypt', *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics*, vol. 4, no. 2, pp. 236–248.
- Harrison, R. J., Dunin-Borkowski, R. E., Kasama, T., Simpson, E. T., & Feinberg, J. M., 2015, 'Magnetic Properties of Rocks and Minerals', In *Treatise on Geophysics: Second Edition*, vol. 2.
- Heningtyas, H., Wibowo, N. B., & Darmawan, D., 2017, 'Interpretasi Struktur Bawah Permukaan dengan Metode Geomagnet di Jalur Sesar Oyo', *E-Journal Fisika*, vol. 6, no. 2, pp. 138–148.
- Hochstein, M. P., & Sudarman, S., 2008, 'History of geothermal exploration in Indonesia from 1970 to 2000', *Geothermics*, vol. 37, no. 3, pp. 220–266.
- Jarot, W., Hari, W. U., Muhammad, I. L., Yuliamorsa, S., Anggideliana, S., & Yosa, M., 2019, 'Characteristic of Geothermal System at Semurup Manifestation, Kerinci: Geological and Geochemistry Investigation-Based', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 391, no. 1.
- Mussett, A. E., & Khan, M. A., 2000, *Looking Into The Earth: An Introduction to Geological Geophysics*. Cambridge University Press.
- Rachmatullah, E., Prayoga, T., & Utama, H. W., 2020, 'Kontrol Keberadaan Manifestasi Air Panas di Utara-Barat Laut Danau Kerinci, Jambi: Hasil Studi Pendahuluan', *Jurnal Teknik Kebumihan*, vol. 5, no. 2, pp. 19–23.
- Rajab, R., & Palloan, P., 2016, 'Interpretasi Model Anomali Magnetik Area Panas Bumi Daerah X Kabupaten Polewali Mandar', *Jurnal Sains Dan Pendidikan Fisika*, vol. 12, no. 2, pp. 109–218.
- Rezky, Y., Ari, A.E., & Anna, Y., 2011, 'Penyelidikan Terpadu Geologi dan Geokimia Daerah Panas Bumi Gunung Kapur Kabupaten Kerinci Provinsi Jambi', pp. 445–458.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E., 1990, *Applied Geophysics: Solid Earth Geophysics*, Cambridge University Press.
- Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional, 2019, Indonesia Energy Out Look 2019. In *Journal of Chemical Information and Modeling*, vol. 53.