

Interpretasi Sebaran Anomali Magnetik di Daerah Prospek Panas Bumi Sumani, Sumatera Barat

Syafira Aulina Refiani, Ahmad Fauzi Pohan, 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: 01 Februari 2023
Direvisi: 06 Maret 2023
Diterima: 09 Maret 2023

Kata kunci:

anomali magnetik
cap rock
panas bumi
sumber panas

Keywords:

cap rock
geothermal
hot rock
magnetic anomaly

Penulis Korespondensi:

Ardian Putra
Email: ardianputra@sci.unand.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sebaran anomali magnetik di daerah panas bumi Jorong Padang Belimbing dengan menggunakan metode geomagnet. Pengambilan data dilakukan menggunakan magnetometer dengan titik amat di 186 titik pengamatan dengan 14 lintasan dan jarak antar titik adalah 100 m. Data anomali magnetik yang didapatkan dikoreksi dengan koreksi harian dan koreksi IGRF, selanjutnya dilakukan reduksi ke kutub dan kontinuasi ke atas. Setelah dilakukan proses pengolahan data, didapatkan nilai anomali total di daerah penelitian antara -1682,8 nT hingga 6739,9 nT yang memiliki beberapa nilai di bawah IGRF. Hal ini diduga karena adanya demagnetisasi batuan akibat adanya sumber panas di bawah permukaan. Pemodelan 2D dilakukan dengan menganalisa anomali medan magnet hasil kontinuasi ke atas dengan ketinggian 100 m. Berdasarkan pemodelan menunjukkan terdapat empat lapisan pada daerah penelitian. Lapisan pertama diindikasikan sebagai aluvium, lapisan kedua diindikasikan sebagai aliran piroklastik, lapisan ketiga diindikasikan sebagai satuan lava dan vulkanik tersier yang merupakan batuan penudung (*cap rock*) dengan kedalaman rata-rata 225 meter hingga 1465 meter di bawah permukaan dan lapisan terakhir diindikasikan sebagai reservoir yang didominasi oleh satuan meta batu gamping. Sumber panas di daerah Padang Belimbing diduga berasal dari aktivitas vulkanik bukit Tinjau Laut.

This research was conducted to determine the distribution of magnetic anomalies in the Jorong Padang Belimbing geothermal area using the geomagnetic method. Data collection was carried out using a magnetometer with very points at 186 observation points with 14 tracks and the distance between points was 100 m. The magnetic anomaly data obtained is corrected with daily corrections and IGRF corrections, then reduction is carried out to the poles and continuous upwards. After processing the data, a total anomaly value was obtained in the study area between -1682.8 nT to 6739.9 nT which had several values below the IGRF. This is presumably due to the demagnetization of the rock due to a heat source below the surface. 2D modeling is done by analyzing the magnetic field anomaly resulting from an upward continuation with a height of 100 m. Based on the modeling, it shows that there are four layers in the research area. The first layer is indicated as alluvium, the second layer is indicated as a pyroclastic flow, the third layer is indicated as a tertiary lava and volcanic unit which is a cap rock with an average depth of 225 meters to 1465 meters below the surface and the last layer is indicated as a reservoir. dominated by limestone meta units. The heat source in the Belimbing Padang area is thought to have originated from the volcanic activity of the Tinjau Laut hill.

Copyright © 2023 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Saat ini, energi yang bersumber panas bumi telah menjadi salah satu alternatif sumber energi baru dan terbarukan. Di berbagai belahan dunia, telah dilakukan banyak pencarian, pengembangan dan inovasi untuk menjadikan panas bumi sebagai sumber energi yang sangat berpotensi di masa depan. Demikian halnya di Indonesia, berdasarkan data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Indonesia memiliki potensi panas bumi sebesar 11.073 MW dan cadangan sebesar 17.506 di 331 titik potensi yang tersebar di seluruh Indonesia (KESDM, 2018). Sumber cadangan energi tersebut tersebar banyak mulai dari Pulau Sumatera, Jawa hingga Nusa Tenggara, Sulawesi dan Maluku. Sumatera Barat merupakan suatu provinsi yang memiliki potensi yang diperkirakan sebesar 1.656 MW yang tersebar di 17 titik. Titik ini tersebar memanjang dari utara ke selatan, dimulai dari Kab. Pasaman, Pasaman Barat, Tanah Datar, Solok dan Solok Selatan. Dari 17 lokasi besar tersebut, kebanyakan masih berstatus perlu dilakukan penelitian lebih lanjut, seperti halnya di Sumani, Kabupaten Solok.

Untuk eksplorasi panas bumi, perlu dilakukan tahapan-tahapan seperti survei hidrologi, geologi, geokimia dan geofisika. Di Sumani, ditemukan adanya manifestasi permukaan dalam bentuk mata air panas, dengan suhu permukaan masing-masing $71,6^{\circ}$ dan $32,8^{\circ}$ di Jorong Padang Belimbing (KESDM, 2017). Di daerah tersebut, terlihat adanya batuan yang mengalami perubahan akibat adanya aktivitas panas sehingga daerah tersebut memiliki nilai tahanan jenis yang rendah yang diinterpretasi dalam hasil pengujian metode geolistrik oleh Hermawan *et al.*, (2011). Penelitian menggunakan metode *gravity* memperlihatkan nilai gaya berat yang tinggi dengan menggunakan *anomali bouger* yang membentuk kontur tertutup sebagai indikasi dari adanya tubuh plutonik yang mempunyai energi panas dan menjadi sumber dari panas bumi (Zakarsyi and Kholid, 2011). Di lokasi ini, masih minim ditemukan studi eksplorasi potensi panas bumi, sehingga diperlukan lanjutan penelitian memperkirakan bawah permukaan daerah di Jorong Padang Belimbing menggunakan metode geomagnet.

Metode geomagnet merupakan metode geofisika pasif yang sering digunakan sebagai survei pendahuluan dalam eksplorasi minyak, panas bumi dan mineral. Metode ini memiliki keunggulan dimana pengoperasiannya lebih sederhana dan ketelitian yang cukup baik. Data anomali medan magnet telah digunakan dalam memperkirakan keberadaan daerah panas bumi (Daud *et al.*, 2018; Hadi *et al.*, 2020; Maulana *et al.*, 2014; Simbolon *et al.*, 2020; Suci and Putra, 2021). Penggunaan metode ini akan memberikan gambaran umum keberadaan sistem panas bumi di Sumani.

II. METODE

2.1 Pengambilan Data

Gambar 1 menunjukkan lokasi pengambilan data di sekitar manifestasi permukaan berupa mata air panas di Jorong Padang Belimbing dengan luas daerah penelitian 16,9 km². Lokasi pengambilan data dilakukan dengan 14 lintasan, setiap lintasan memiliki 11 hingga 14 titik ukur dengan panjang dan lebar antar titik adalah 100 m. Pada penelitian ini terdapat 186 total titik pengambilan data medan magnet. Data diukur dengan menggunakan magnetometer jenis *Precision Milligauss Meter GU-3001* dengan menggunakan metode *looping* yaitu dengan menggunakan satu alat untuk mencatat variasi harian sekaligus melakukan pengukuran medan magnet di setiap titik pengukuran. Pengukuran di setiap titik dilakukan sebanyak empat kali. Data lapangan yang diambil 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 didapatkan dari akuisisi data magnetik. Setelah dilakukan pembuatan peta kontur, dilanjutkan dengan melakukan koreksi data berupa koreksi variasi harian dengan menggunakan Persamaan (1), koreksi IGRF (*International Geomagnetik Reference Field*) dengan menggunakan Persamaan (2), dan untuk mendapatkan nilai anomali magnetik dengan menggunakan Persamaan (3).

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

dengan H_d merupakan koreksi harian, t_{line} merupakan waktu pengambilan data di setiap titik, t_{base1} merupakan waktu pada *base* awal, t_{base2} merupakan waktu pada *base* akhir, H_{base1} merupakan nilai medan magnet pada *base* awal, dan H_{base2} merupakan nilai medan magnet pada *base* akhir.

$$H_I = H_p - H_{IGRF} \quad (2)$$

dengan H_I merupakan koreksi IGRF, H_p merupakan medan magnet hasil pengukuran, H_{IGRF} merupakan medan magnet teoritis dari koreksi IGRF.

$$\Delta H = H_I \pm H_d \quad (3)$$

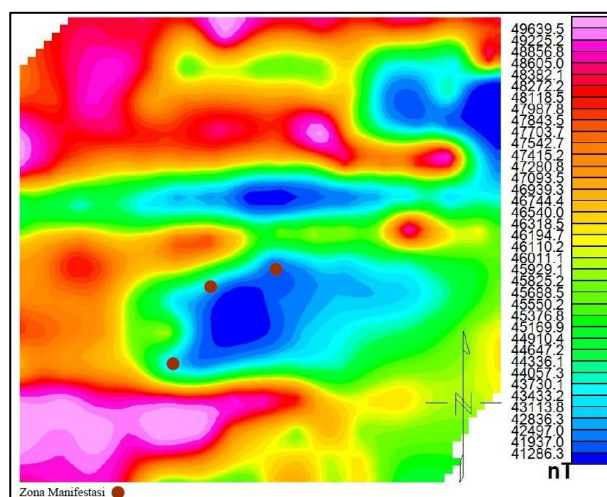
dengan ΔH adalah anomali magnetik, H_I merupakan koreksi IGRF dan H_d merupakan koreksi harian. Nilai anomali magnetik selanjutnya diinterpretasikan dalam peta kontur, kemudian dilanjutkan dengan proses reduksi ke kutub dan kontinuasi ke atas. Reduksi ke kutub dilakukan untuk mengubah kutub-kutub magnet yang awalnya dipol menjadi monopol. Kontinuasi ke atas dilakukan untuk mengurangi pengaruh anomali magnetik lokal dan mendominankan pengaruh anomali magnetik regional. Peta kontur hasil kontinuasi ke atas kemudian disayat untuk melakukan pemodelan 2D struktur bawah permukaan Jorong Padang Belimbing dengan menggunakan *software* Oasis Montaj.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Hasil Pengolahan

3.1.1 Medan Magnet Total

Hasil pengukuran yang diperoleh selama melakukan penelitian di daerah penelitian merupakan nilai medan magnet total seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Nilai medan magnet hasil pengukuran memiliki rentang nilai 41286,3 nT – 49639,5 nT yang memiliki beberapa nilai medan magnet total di bawah nilai IGRF, dimana pada daerah penelitian nilai IGRF yang berkisar dari 42864,5 – 42868,6 nT.

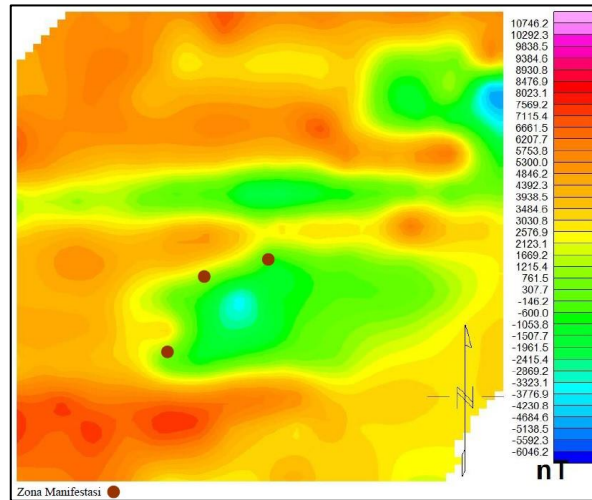


Gambar 2 Peta kontur medan magnet total

3.1.2 Anomali magnetik

Anomali magnetik diperoleh dengan menggunakan Persamaan (3) yang sebelumnya telah dilakukan koreksi variasi harian dengan menggunakan Persamaan (1) dan koreksi IGRF dengan menggunakan Persamaan (2). Nilai anomali magnetik di daerah penelitian yang berkisar antara -1682,8

nT hingga 6739,9 nT yang ditunjukkan pada Gambar 3. Nilai anomali magnetik tinggi berkisar antara 3965,8 – 6739,9 nT yang menyebar di daerah barat daya hingga barat laut daerah penelitian. Nilai anomali magnetik sedang menyebar di daerah tenggara dan bagian tepi di timur daerah penelitian dengan nilai yang berkisar 1358,5 – 3780,7 nT. Nilai anomali magnetik rendah tersebar di tengah daerah penelitian dengan nilai yang berkisar antara -1682,8 – 1077,9 nT. 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 *et al.*, 1990).

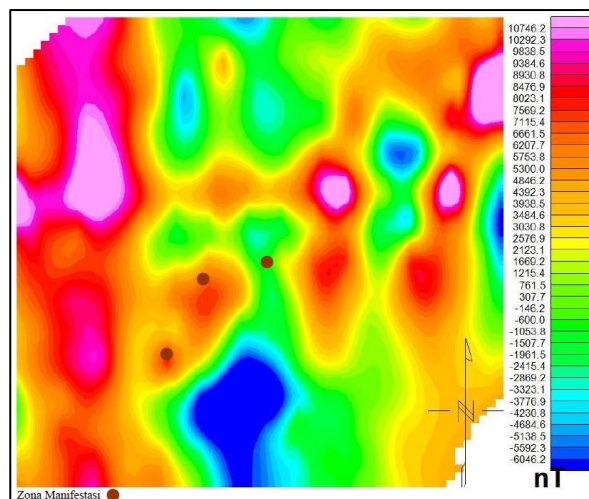


Gambar 3 Peta kontur anomali magnetik

Nilai anomali magnetik yang didapatkan terlihat jelas bahwa masih memiliki dua kutub (*dipole*), hal ini karena sumber anomali regional berbaur dengan anomali dangkal (Rajab *et al.*, 2016). Anomali regional merupakan anomali magnet yang terbentuk karena respon dari batuan di bawah permukaan yang dalam. Anomali dangkal merupakan anomali magnet yang disebabkan oleh batuan yang berada pada posisi dangkal. Untuk merubah *dipole* menjadi *monopole* perlu dilakukan dengan reduksi ke kutub (*reduce to pole*).

3.1.3 Reduksi ke kutub

Peta kontur hasil reduksi ke kutub ditunjukkan oleh Gambar 4. Berdasarkan hasil yang didapatkan setelah dilakukan reduksi ke kutub terlihat perubahan nilai anomali magnetik yang signifikan jika dibandingkan dengan sebelum dilakukannya reduksi ke kutub berkisar antara -6441,6 nT hingga 11105,9 nT yang menunjukkan penguatan nilai kemagnetan. Penguatan nilai kemagnetan terjadi setelah dilakukannya reduksi ke kutub, nilai anomali magnetik negatif mulai ternormalisir karena pengaruh inklinasi telah dihilangkan dan deklinasi menjadi 90°. Sehingga daerah yang sebelumnya negatif mengalami penguatan menjadi positif. Hasil yang sama juga didapatkan oleh (Muchtart, 2018) di daerah Klatak, Kabupaten Tulungagung.

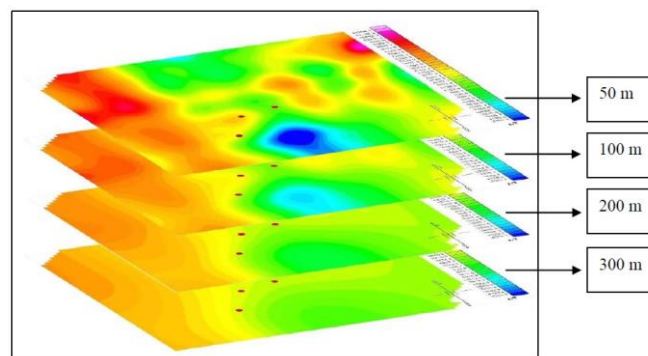


Gambar 4 Peta kontur anomali magnetik hasil reduksi ke kutub

3.1.4 Kontinuasi ke atas

Anomali magnetik yang digunakan untuk menginterpretasikan potensi panas bumi merupakan anomali magnetik regional. Anomali ini menginterpretasikan kondisi sistem panas bumi di bawah permukaan lebih dalam dan menyeluruh. Kontinuasi ke atas diperlukan agar bisa lebih memaksimalkan pengaruh anomali magnetik regional.

Nilai anomali magnetik setelah dilakukan pengangkatan pada ketinggian 50 m berkisar antara -3866,6 nT hingga 8825,9 nT yang lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai anomali hasil reduksi ke kutub yaitu dengan rentang -6441,6 nT hingga 11105,9 nT. Nilai anomali terus menurun pada pengangkatan 100 m dan 300 m. Hal ini disebabkan karena sumber anomali magnetik lokal dihilangkan sehingga yang tersisa hanya sumber anomali regional saja. Selanjutnya hasil dari proses kontinuasi ke atas akan diproses untuk dilakukan pemodelan 2D. Kontinuasi pada ketinggian 100 m digunakan untuk melakukan pemodelan 2D struktur bawah permukaan karena sudah terlihat anomali magnetik regional dan tidak menghilangkan seluruh pengaruh dari anomali magnetik lokal. Hal yang sama juga dilakukan oleh (Suci and Putra, 2021) di daerah panas bumi Desa Sungai Tutung. Hasil kontinuasi ke atas menunjukkan area anomali magnetik negatif atau rendah semakin dominan di daerah selatan Daerah penelitian yang dapat menjadi zona prospek panas bumi. Hal yang sama juga didapatkan oleh Daud *et al.*, (2018) di daerah Blawa Ijen.

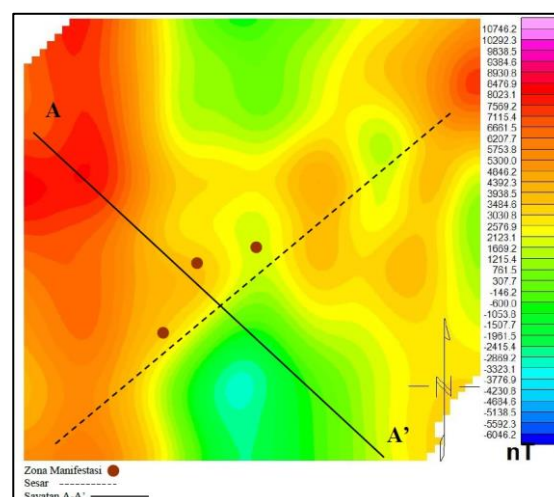


Gambar 5 Kontinuasi ke Atas

3.2 Pemodelan 2D

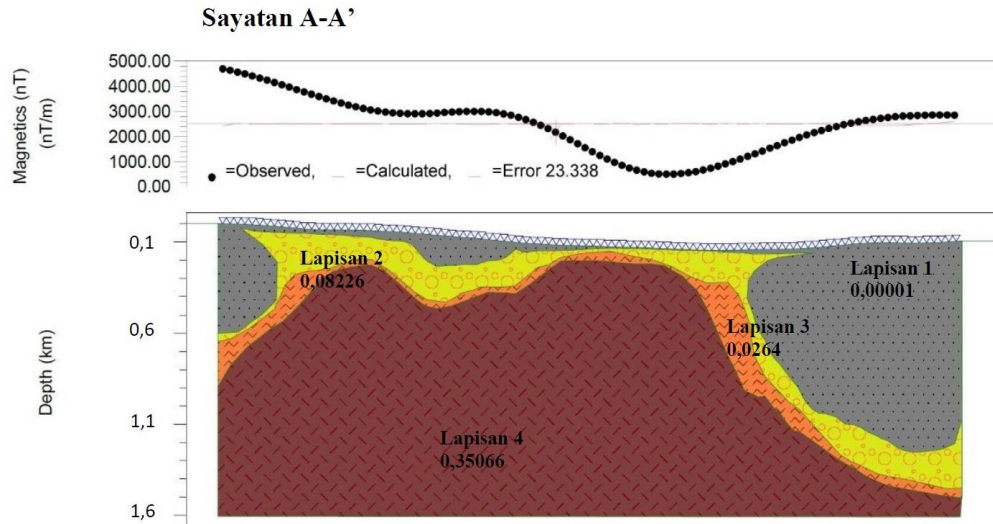
3.2.1 Sayatan pada peta kontur kontinuasi ke atas

Peta kontur hasil kontinuasi ke atas pada ketinggian 100 m disayat dengan sayatan A-A' yang ditunjukkan oleh Gambar 6. Pemodelan anomali magnetik dilakukan dengan mengubah parameter-parameter yang digunakan untuk membuat pemodelan seperti nilai suseptibilitas magnetik, kedalaman dan lebar tiap formasi batuan. Parameter yang digunakan dalam pemodelan ini yaitu nilai IGRF sebesar 42866,5 nT, sudut inklinasi sebesar -18,5563 derajat, sudut deklinasi sebesar -0,1399 derajat dan kedalaman 1600 m dari permukaan dengan panjang lintasan 1220 m. Hasil pemodelan struktur bawah permukaan sayatan A-A' ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 6 Sayatan A-A' pada peta kontur hasil kontinuasi ke atas pada ketinggian 100 m

Gambar 7 menunjukkan bahwa pada hasil pemodelan didapatkan empat lapisan bawah permukaan yang berbeda jenis batumannya. Dalam menentukan jenis batuan di setiap lapisan diperlukan data geologi terkait jenis batuan di daerah penelitian yang akan dicocokkan dengan jenis batuan berdasarkan nilai suseptibilitas magnetik (Telford *et al.*, 1990). Jenis batuan di daerah penelitian di tunjukkan pada Tabel 1.



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

Tabel 1 Nilai suseptibilitas magnetik dan kedalaman formasi batuan di sayatan A-A'

Lapisan	Data Geologi	Kedalaman (m)	Suseptibilitas magnetik (SI)	Interpretasi
Lapisan 1	Aluvium	160 – 1255	0,00001	Batuan lempung, pasir, batu gamping
Lapisan 2	Aliran Piroklastik	185 – 1435	0,08226	Batuan sedimen, batu pasir, aliran piroklastik
Lapisan 3	Vulkanik Tersier	225 – 1465	0,0264	Batuan breksi dan aliran lava andesit-basaltik
Lapisan 4	Meta batu gamping	265 – 1600	0,35066	Batuan sedimen

3.2.2 Interpretasi sistem panas bumi sayatan A-A'

Lapisan di bawah sayatan A-A' pada Gambar 7 dapat dibagi menjadi dua bagian elemen utama sistem panas bumi Padang Belimbing, Sumani yaitu batuan penudung (*cap rock*) dan reservoir. Lapisan pertama merupakan lapisan batuan yang paling dekat dengan permukaan yang berada di kedalaman 160 m hingga 1255 m dari permukaan tanah. Berdasarkan data geologi dan nilai suseptibilitas magnetik, lapisan ini diidentifikasi sebagai aluvium jenis lempung, pasir, dan batu gamping (Chynthia, 2015). Lapisan kedua berada di kedalaman 185 m hingga 1435 m berdasarkan data geologi dan nilai suseptibilitas magnetik merupakan lapisan yang didominasi oleh aliran piroklastik, batu sedimen, dan batu pasir.

Lapisan ketiga berada di kedalaman 225 m hingga 1465 m yang diindikasikan sebagai bagian dari satuan vulkanik tersier yang didominasi oleh batuan breksi dan aliran lava dengan komposisi andesit-basaltik. Lapisan ini mempunyai sifat sulit dilalui air (*impermeabel*) yang dihasilkan oleh interaksi fluida panas bumi dengan batuan sekitarnya yang menghasilkan batuan penudung (*cap rock*) (Hermawan *et al.*, 2011). Batuan penudung inilah yang menyebabkan pergerakan fluida panas dari reservoir tertahan sampai ke permukaan karena mempunyai sifat kedap air (Zulaikhah *et al.*, 2016). Batuan penudung juga ditandai dengan penurunan nilai suseptibilitas magnetik yang terjadi di lapisan ini. Penurunan nilai suseptibilitas magnetik pada lapisan ketiga jika dibandingkan dengan nilai suseptibilitas magnetik pada lapisan kedua diduga karena batuan telah mengalami kontak dengan batuan panas yang berada di bawahnya (Maulana *et al.*, 2014).

Lapisan terakhir yang berada pada kedalaman 265 m hingga 1600 m yang diindikasikan sebagai satuan meta batu gamping yang didominasi oleh batuan sedimen. Lapisan ini diindikasikan sebagai reservoir karena lapisan ini didominasi oleh batuan yang memiliki banyak rekahan dan bersifat permeabel, sehingga air bawah permukaan yang telah dipanaskan oleh sisa panas dari aktivitas dapur magma Gunung Tinjau Laut akan naik melalui rekahan dan terperangkap pada lapisan ini (Hermawan *et al.*, 2011). Sumber panas (*hot rock*) pada penelitian kali ini tidak dapat teridentifikasi karena pemodelan yang dilakukan kurang dalam dan daerah penelitian yang kurang luas.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada daerah panas bumi Padang Belimbing dapat disimpulkan bahwa nilai anomali magnetik yang didapatkan didominasi oleh nilai anomali rendah. Area dengan anomali magnetik rendah semakin dominan ke arah Selatan daerah penelitian. Hal ini diduga karena adanya proses demagnetisasi akibat adanya pengaruh sumber panas bumi. Batuan penudung (*cap rock*) pada penelitian ini berada pada satuan vulkanik tersier yang diindikasikan dengan adanya penurunan nilai susceptibilitas magnetik.

DAFTAR PUSTAKA

- Chynthia, A. (2015), "Analisis Struktur dan Sistem Panas Bumi Sumani-Sumatera Barat Berdasarkan Permodelan Data Anomali Gayaberat", *Skripsi*.
- Daud, Y., Rosid, S., Fahmi, F., Yunus, F.M. and Muflihendru, Re. (2018), "Geomagnetic Survey to Explore High-Temperature Geothermal System in Blawan-Ijen, East Java, Indonesia", *ICENIS*, pp. 1–4.
- Hadi, H., Zubaidah, T., Adnyani, I.A.S., Paniran, P., Kanata, B. and Ratnasari, D. (2020), "Survey of Geothermal Energy Potential using Geomagnetic Method in Sembalun Timba Gading, Lombok", *Proceeding International Conference on Science (ICST)*, Vol. 1 No. 1, pp. 42–47.
- Hermawan, D., Widodo, S., S, R., K, D., Kholid, M., Zarkasyi, A. and J, W. (2011), "Geologi, Geokimia, dan Geofisika Daerah Panas Bumi Sumani, Provinsi Sumatera Barat", *Buku 1: Bidang Energi*.
- KESDM. (2017), *Potensi Panas Bumi Indonesia Jilid 1*, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta.
- KESDM. (2018), "Kini Indonesia Menjadi Produsen Listrik Panas Bumi Terbesar Kedua Dunia", *KESDM*, available at: <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/kini-indonesia-menjadi-produsen-listrik-panas-bumi-terbesar-kedua-dunia>.
- Maulana, H.A., Yulianto, T. and Harmoko, U. (2014), "Interpretasi Sistem Panas Bumi Gunung Telomoyo Bagian Utara Kabupaten Semarang Berdasarkan Data Geomagnet", Vol. 3 No. 4.
- Muchtar, S.H. (2018), *Penerapan Metode Geomagnetik Untuk Identifikasi Sebaran Batubara Daerah Klatak Kecamatan Besuki Kabupaten Tulungagung*.
- Rajab, Palloan, P. and Yani, A. (2016), "Interpretasi Model Anomali Magnetik Area Panas Bumi Daerah X Kabupaten Polewali Mandar", *Jurnal Sains Dan Pendidikan Fisika*, Vol. 12 No. 2, pp. 209–218.
- Simbolon, P., Refrizon, R. and Sugianto, N. (2020), "Peta Sebaran Intensitas Anomali Magnetik Di Daerah Prospek Geothermal Kepahiang Berdasarkan Survei Metode Geomagnet", *Newton-Maxwell Journal of Physics*, Vol. 1 No. 1, pp. 7–12.
- Suci, R.T. and Putra, A. (2021), "Pemetaan Struktur Bawah Permukaan di sekitar Manifestasi Panas Bumi Desa Sungai Tutung Kerinci Menggunakan Metode Geomagnetik", *Jurnal Fisika Unand*, Vol. 10 No. 4, pp. 540–547.
- Telford, W.M., Geldart, L.P. and Sheriff, R.E. (1990), *Applied Geophysics*, 3rd ed., Cambridge University Press, Cambridge.
- Zakarsyi, A. and Kholid, M. (2011), "Penyelidikan Geofisika Terpadu Daerah Panas Bumi Sumani, Provinsi Sumatera Barat", *Prosiding Hasil Kegiatan Pusat Sumber Daya Geologi*.
- Zulaikhah, S., Harmoko, U., Yulianto, T., Yulianto, G., Widada, S. and Dewantoro, Y. (2016), "Pemodelan Inversi Anomali Magnetik 3D Daerah Mata Air Panas Diwak Dan Derekan", *Youngster Physics Journal*, Vol. 5 No. 4, pp. 399–408.