

Analisis Struktur Bawah Permukaan Segmen Sianok Menggunakan Data Geomagnetik Melalui Pemodelan Inversi 3D

Mia Wulandari¹, Harman Amir², Letmi Dwiridal³, Nofi Yendri Sudiar⁴

¹²³⁴Program Studi Fisika, Universitas Negeri Padang
e-mail: miawulandari4018@gmail.com

Abstrak

Segmen Sianok merupakan salah satu segmentasi sesar di sepanjang Pulau Sumatera yang memiliki aktivitas vulkanik dan tektonik yang terbilang tinggi. Aktivitas vulkanik dan tektonik yang terjadi dapat diidentifikasi berdasarkan struktur bawah permukaannya menggunakan metode geomagnetik. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mendapatkan informasi mengenai persebaran anomali magnetik dan mengenai struktur bawah permukaan pada daerah yang dilewati Segmen Sianok. Penelitian ini termasuk ke dalam jenis penelitian deskriptif dengan menggunakan metode pemodelan inversi 3D. Data pada penelitian ini menggunakan data sekunder berupa data anomali magnetik yang sudah melalui koreksi variasi harian dan IGRF dan dibagi menjadi beberapa partisi. Hasil penelitian menunjukkan anomali magnetik secara keseluruhan berada pada rentang -1200 hingga 1500 nT. Anomali magnetik blok "1" hingga blok "3" berturut-turut adalah -500 nT – 1500 nT, 400 nT – 1000 nT dan -750 nT – 250 nT. Hasil pemodelan inversi 3D menunjukkan bahwa wilayah penelitian didominasi oleh batuan vulkanik berupa andesit Marapi, andesit Singgalang-Tandikat, andesit Kaldera Maninjau dan tuf batuapung.

Kata kunci: *Geomagnetik, Segmen Sianok, Anomali Magnetik, Inversi 3D*

Abstract

One of the fault segments along the island of Sumatra is the Sianok segment, which has a high level of volcanic and tectonic activity. Volcanic and tectonic activity can be identified by geomagnetic methods based on its subsurface structure. The purpose of this research is to obtain information about the distribution of magnetic anomalies and the subsurface structure in the area passed by the Sianok Segment. This survey is a descriptive research that uses the method of 3D inversion modeling. This research uses secondary data in the form of magnetic anomaly data that have been corrected for daily variation, IGRF correction, and divided into several partitions. The results of the research showed that the overall magnetic anomaly was within -1200 to 1500 nT. The magnetic anomalies of block "1" to block "3" are respectively -500 nT – 1500 nT, 400 nT – 1000 nT dan -750 nT – 250 nT. The 3D inversion modeling results show that

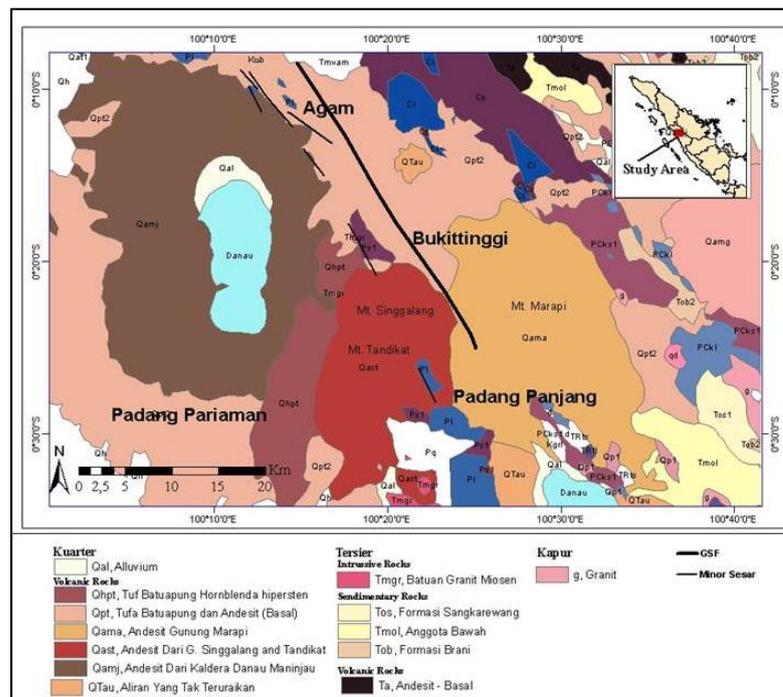
the research area is dominated by volcanic rocks such as Marapi andesite, Singgalang-Tandikat andesite, Maninjau Caldera andesite and pumice tuff.

Keywords : *Geomagnetics, Sianok Segment, Magnetic Anomaly, 3D Inversion*

PENDAHULUAN

Pulau Sumatera merupakan wilayah yang mempunyai aktivitas tektonik dan vulkanik terbilang tinggi karena pulau ini berada antara pertemuan lempeng Indo-Australia dan Eurasia yang bergerak aktif (Acocella et al., 2018). Secara geografis, Pulau Sumatera mempunyai zona subduksi, jalur magmatisme berupa gunung api aktif, dan terbentuknya sesar aktif yang membentang dari Aceh hingga Lampung. Salah satu dari 19 segmen di sepanjang Pulau Sumatera berada di wilayah Sumatera Barat yaitu Segmen Sianok (Sieh & Natawidjaja, 2000).

Pada Segmen Sianok terdapat Gunung Singgalang, Gunung Tandikat, serta Gunung Marapi yang tercatat mempunyai jumlah letusan yang terjadi sejak tahun 1770 lebih dari 500 kali (Hamdiyessi et al., 2022). Disamping itu, terdapat Danau Kaldera Maninjau yang berasal dari tiga letusan besar yang menyebabkan daerah sekitarnya tertutup oleh tutupan *tuf ignimbrite* (Dahrin et al., 2022).



Gambar 1. Peta Geologi Daerah Penelitian (Dimodifikasi dari Silitonga & Kastowo, 1995 dan dari Kastowo et al, 1996)

Segmen Sianok melewati wilayah Kota Padang Panjang, Kota Bukittinggi, dan Kabupaten Agam dengan pergerakan sesarnya merupakan sesar gesar mengangan yang dapat memicu terjadinya gempa bumi. Pada tahun 1926 dan 2007 pernah terjadi gempa bumi *doublet* di sekitar Segmen Sianok dan Segmen Sumani dengan kekuatannya lebih dari skala Magnitudo 6 yang menyebabkan kerusakan di Tanah Datar, Kota Padang Panjang, dan sebagian wilayah Kota Bukittinggi (Raharjo, 2022).

Aktivitas tektonik dan vulkanik yang terjadi di suatu wilayah dapat diidentifikasi berdasarkan struktur bawah permukaannya menggunakan metode-metode geofisika yang memanfaatkan prinsip-prinsip yang ada dalam fisika seperti prinsip perambatan gelombang, kelistrikan, medan gravitasi, dan medan magnetik dalam mempelajari bumi beserta isinya. Salah satu metode yang ada dalam geofisika adalah metode geomagnetik yang merepresentasikan lapisan bawah permukaan bumi berdasarkan pengukuran variasi intensitas medan magnetik bumi yang menunjukkan adanya anomali medan magnetik akibat ada perbedaan nilai susceptibilitas pada batuan di bawah permukaan bumi (Blakely, 1996). Anomali medan magnetik dapat menunjukkan adanya evolusi geologis bumi seperti pergerakan lempeng tektonik, aktivitas vulkanik, panas bumi dan interaksi kerak bumi dengan mantel dalam yang dapat dipakai dalam studi untuk mengetahui struktur bawah permukaan bumi (Wu *et al.*, 2015). Penggunaan metode geomagnetik pada suatu penelitian menghasilkan perbedaan litologi bawah permukaan bumi yang dapat diklasifikasikan berdasarkan nilai susceptibilitas batuan penyusunnya. Metode geomagnetik biasanya dipakai dalam studi awal untuk menginvestigasi struktur bawah permukaan di suatu wilayah. Biasanya metode ini dapat menjangkau wilayah penelitian yang relatif luas (Dharmawan & Zulfian, 2023).

Telah dilakukan beberapa penelitian sebelumnya, seperti identifikasi struktur bawah permukaan pada salah satu segmen yang ada di jalur sesar besar Sumatera yaitu pada Segmen Sumani. Penelitian ini menggunakan pemodelan kedepan (*forward modeling*) berdasarkan data magnetik dan data gaya berat (Amir *et al.*, 2021). Kemudian, penelitian lainnya yaitu pemodelan kedepan 2D dan pemodelan inversi 3D geomagnetik dilakukan di daerah Bojonegoro untuk menganalisis sebaran anomali magnetik, pola sebaran potensi panas bumi dan menjelaskan struktur batuan berdasarkan nilai susceptibilitasnya (Bohal *et al.*, 2023). Pada Penelitian ini, maka dilakukan analisis persebaran anomali magnetik dan identifikasi struktur bawah permukaan pada Segmen Sianok dilakukan menggunakan pemodelan inversi 3D.

METODE

Penelitian ini adalah jenis penelitian deskriptif yang menggunakan data geomagnetik melalui pemodelan inversi pada Sesar Sumatera Segmen Sianok untuk mendapatkan hasil akhirnya berupa model 3D yang dianalisa untuk mengetahui struktur bawah permukaan di wilayah penelitian. Cakupan area pada penelitian ini adalah daerah Sesar Sumatera Segmen Sianok dengan letak geografis $0^{\circ}9'20''\text{LS} - 0^{\circ}34'3''\text{LS}$ dan $100^{\circ}3'28''\text{BT} - 100^{\circ}34'27''\text{BT}$.

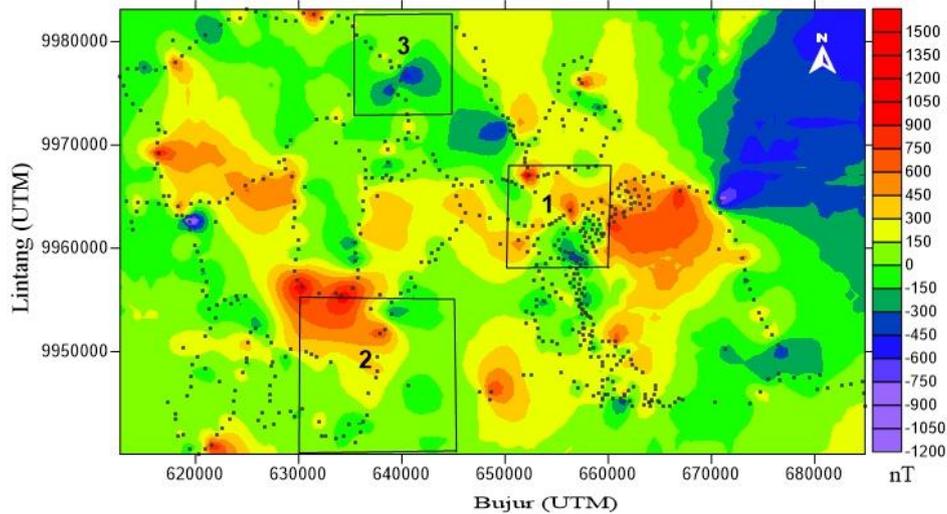
Data geomagnetik yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari data pengukuran magnetik lapangan penelitian disertai Dr. Harman Amir, M.Si pada tahun 2021. Data ini diambil menggunakan *Proton Precession Magnetometer* (PPM) dengan jarak antar satu titik pengukuran ke titik pengukuran lainnya bervariasi antara 500 m dan 1000 m, serta diakuisisi dengan menghindari saluran listrik, rumah-rumah dan kendaraan sehingga dapat meminimalkan *noise* data. Data geomagnetik yang digunakan berupa data anomali magnetik yang sudah dikoreksi harian maupun koreksi IGRF.

Data geomagnetik lapangan diolah terlebih dahulu untuk mendapatkan keluaran akhir yang akan diinterpretasi. Langkah pertama yang dilakukan adalah pengolahan data anomali magnetik pada program aplikasi *Surfer 13* dengan mengubah datanya menjadi format grid (.*grd*) dan dihasilkan peta kontur anomali magnetik. Lalu, dengan melihat pola anomali yang dihasilkan secara keseluruhan selanjutnya yang dilakukan adalah membagi data anomali magnetik ke dalam beberapa blok atau partisi dengan mempertimbangkan kondisi geologi dan pola anomali magnetik yang sudah didapatkan sebelumnya.

Langkah selanjutnya dilakukan pemodelan inversi 3D menggunakan program aplikasi *MAG3D* berdasarkan data anomali magnetik yang sudah di bagi menjadi beberapa blok. Pada proses inversi diawali dengan membuat file data observasi yang memuat titik koordinat UTM X, Y, elevasi, dan anomali magnetik. Selanjutnya membuat *mesh* yang merupakan sel orthogonal tempat dimodelkannya sumber anomali magnetik. Model yang dihasilkan menggambarkan distribusi suseptibilitas yang ada di wilayah penelitian yang bisa menjelaskan kondisi struktur bawah permukaan pada Segmen Sianok.

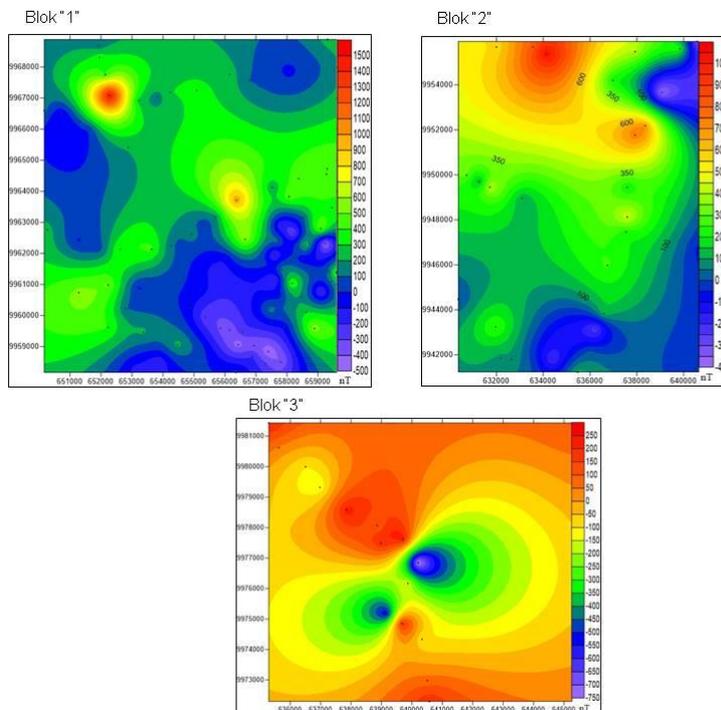
HASIL DAN PEMBAHASAN

Data anomali magnetik, nilai X (bujur) dan nilai Y (lintang) *diplot* ke dalam program aplikasi *Surfer13* melalui proses *gridding*. Hasil *ploting* menampilkan peta kontur anomali magnetik yang menggambarkan batuan-batuan yang mempunyai mineral-mineral bersifat magnetik. Gambar 2 menggambarkan anomali magnetik yang tersebar pada area cakupan penelitian berada pada rentang -1200 nT hingga 1500 nT



Gambar 2. Kontur Anomali Magnetik

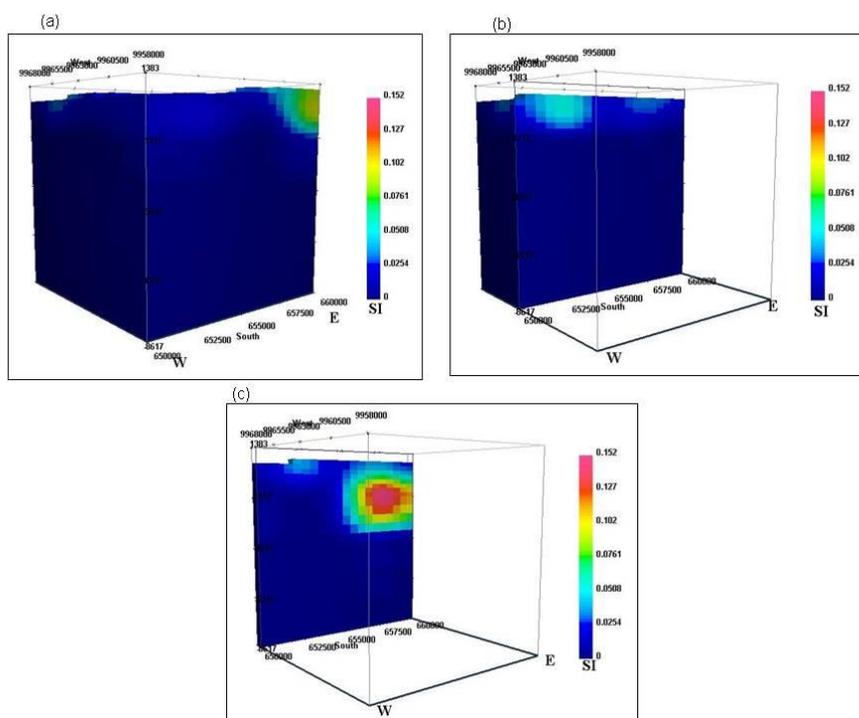
Secara keseluruhan daerah penelitian ini memiliki jarak spasial yang luas sehingga akan menyulitkan dalam proses pemodelan yang dilakukan. Maka daerah penelitian dibagi menjadi beberapa partisi (blok “1” hingga blok “3”) yang dapat mewakili daerah penelitian secara keseluruhan. Selanjutnya dihasilkan tiga kontur anomali magnetik baru.



Gambar 3. Kontur Anomali Magnetik Blok “1” - Blok “3”

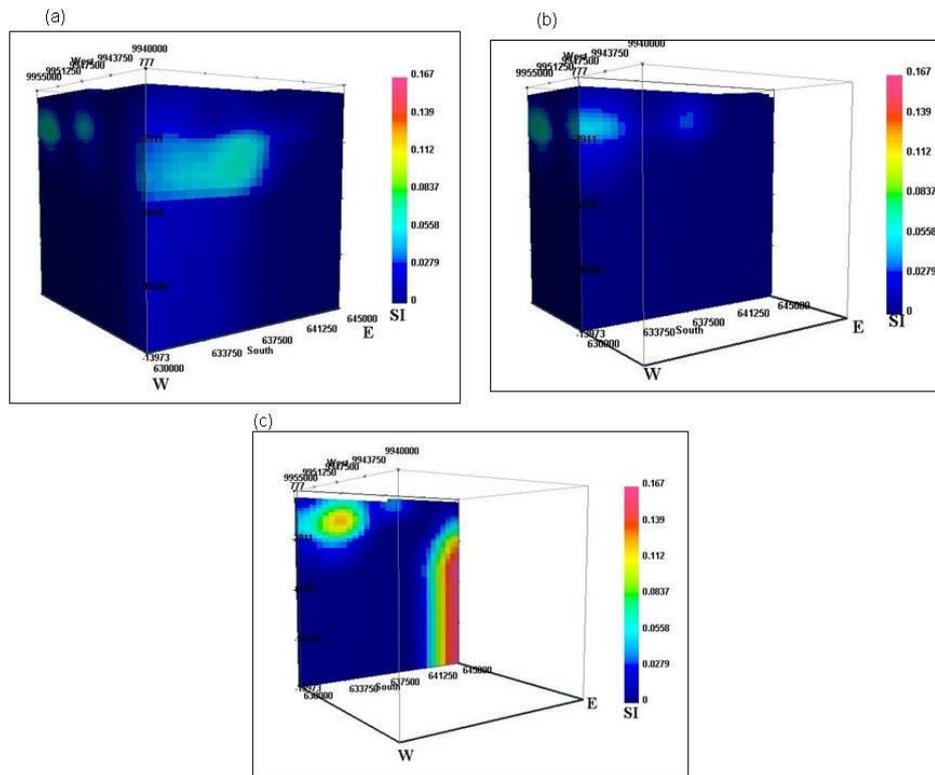
Pada blok “1” terdapat anomali dengan klosur positif-negatif dengan nilai anomali mencapai rentang 1500 nT pada bagian barat laut. Sedangkan pada bagian tenggara dan timur laut didominasi oleh anomali magnetik bernilai negatif. Pada blok “2” terdapat anomali dengan klosur positif-negatif dengan nilai anomali mencapai rentang 1000 nT pada bagian utara. Sedangkan pada bagian selatan didominasi oleh anomali magnetik bernilai negatif. Pada blok “3” didominasi oleh anomali negatif dengan nilai anomali mencapai rentang -750 nT pada bagian barat laut. Sedangkan pada bagian barat laut terdapat anomali magnetik bernilai positif sekitar 250 nT.

Selanjutnya dilakukan pemodelan inversi 3D menggunakan program aplikasi *MAG3D* pada beberapa blok dalam daerah penelitian. Model yang dihasilkan menggambarkan sebaran suseptibilitas bawah permukaan pada daerah target pemodelan.



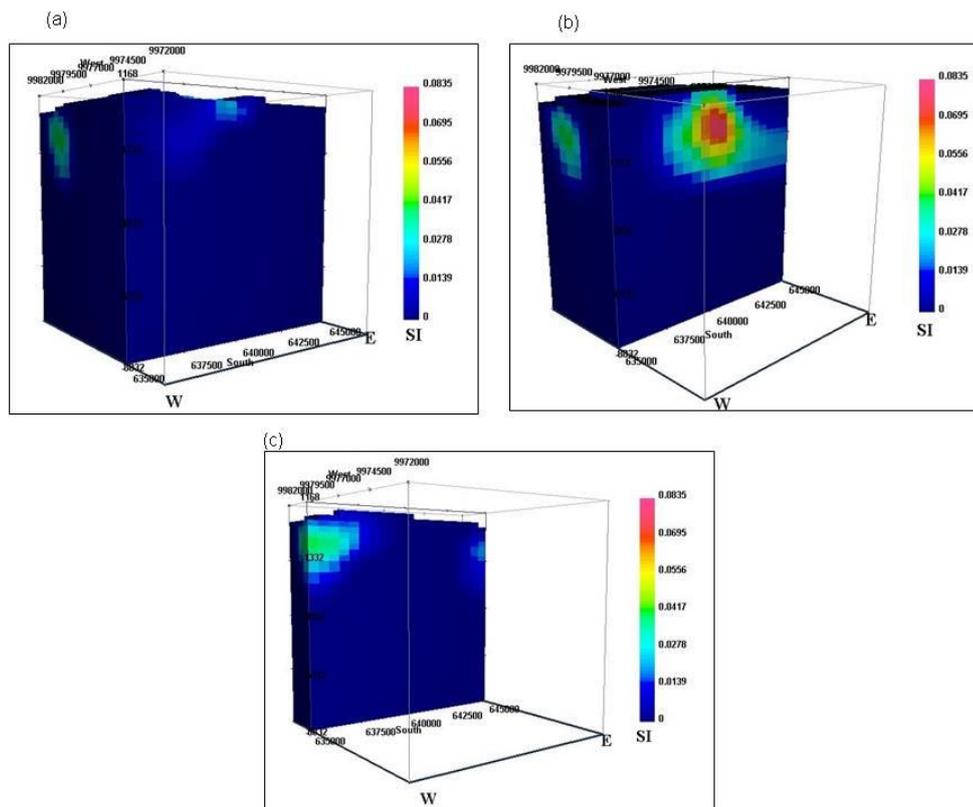
Gambar 4. Model Blok “1” Bagian (a) Selatan, (b) Tengah dan (c) Utara

Area barat penampang terdapat *body* dengan suseptibilitas sekitar 0.02 SI pada kedalaman 500 m. Selanjutnya, pada area timur terlihat keberadaan *body* dengan suseptibilitas mencapai 0.0.7 SI pada model bagian selatan. Sedangkan pada model bagian tengah terdapat *body* dengan suseptibilitas mencapai 0.05 SI pada kedalaman 500 m pada area barat. Selanjutnya, pada area lainnya terlihat didominasi oleh keberadaan *body* dengan suseptibilitas sekitar 0.02 SI. Dan pada model bagian utara terdapat *body* di area timur dengan suseptibilitas mencapai 0.15 SI di kedalaman sekitar 1500 m dan pada area barat terlihat keberadaan *body* dengan suseptibilitas sekitar 0.02 SI.



Gambar 5. Model Blok “2” Bagian (a) Selatan, (b) Tengah dan (c) Utara

Pada area tengah model bagian selatan terdapat *body* dengan suseptibilitas mencapai 0.05 SI yang lebih besar dibandingkan dengan batuan sekitar di kedalaman sekitar 4000 m. Pada bagian tengah terdapat dua *body* dengan suseptibilitas dengan rentang 0.02 - 0.05 SI di kedalaman 2200 m. Dan adanya *body* dengan suseptibilitas mencapai 0.13 SI yang lebih besar dibandingkan dengan batuan sekitar pada area barat penampang bagian utara model.



Gambar 6. Model Blok “3” Bagian (a) Selatan, (b) Tengah dan (c) Utara

Adanya *body* dengan susceptibilitas sekitar 0.02 SI yang lebih besar dibandingkan dengan batuan sekitar yang muncul pada permukaan pada ketinggian 500 m. Selain itu juga ada *body* dengan susceptibilitas sekitar 0.01 di area barat penampang bagian selatan model. Pada bagian tengah model terdapat *body* dengan susceptibilitas mencapai 0.08 SI yang lebih besar dibandingkan dengan batuan sekitar pada kedalaman 1200 m. Dan ada bagian utara model terdapat *body* dengan susceptibilitas mencapai 0.04 SI yang lebih besar dibandingkan dengan batuan sekitar pada area barat penampang pada kedalaman sekitar 800 m. Selanjutnya, pada area timur terlihat keberadaan *body* dengan susceptibilitas sekitar 0.02 SI.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan bias dilihat bahwa keberadaan anomali negatif dan positif yang ditunjukkan oleh kontur anomali magnetik total pada Gambar 2 disebabkan oleh berbagai formasi batuan yang mempunyai sifat kemagnetan yang berbeda-beda, dimana batuan yang mempunyai sedikit mineral atau batuan magnetik akan memperlihatkan susceptibilitas yang kecil, sedangkan batuan yang mempunyai bahan mineral magnetik yang banyak akan menunjukkan susceptibilitas besar. Berdasarkan hasil pemodelan pada blok “1” terdapat *body* dengan kemungkinan merupakan andesit Singgalang-Tandikat dan andesit Marapi yang diduga terpisah akibat mekanisme *strike-slip* Sesar Sumatera pada bagian selatan model. Penampang

bagian tengah model menunjukkan adanya *body* dengan suseptibilitas mencapai 0.05 SI yang kemungkinan merupakan andesit Singgalang-Tandikat di area barat. Lalu pada bagian lainnya merupakan andesit Marapi dengan suseptibilitas sekitar 0.02 SI. Penampang bagian utara model menunjukkan sebuah *body* dengan suseptibilitas mencapai 0.15 SI yang diidentifikasi sebagai andesit Marapi di area timur penampang. Selain itu, juga ada *body* yang memiliki nilai suseptibilitas sekitar 0.02 SI yang diperkirakan merupakan tuf batuapung.

Pada blok "2" bagian selatan model menunjukkan adanya *body* dengan suseptibilitas tinggi sekitar 0.05 SI yang diduga merupakan tuf batuapung horblenda. Penampang bagian tengah model menunjukkan adanya dua *body* dengan suseptibilitas sekitar 0.02 - 0.05 SI yang kemungkinan merupakan tuf batu apung dan andesit. Penampang bagian utara model menunjukkan sebuah *body* dengan suseptibilitas mencapai 0.13 SI yang diidentifikasi sebagai andesit Kaldera Danau Maninjau. Pada blok "3" penampang bagian selatan model menunjukkan adanya *body* dengan suseptibilitas sekitar 0.02 SI yang kemungkinan merupakan batuan tufa batuapung dan andesit, serta *body* dengan suseptibilitas sekitar 0.01 SI yang diperkirakan merupakan andesit Kaldera Danau Maninjau. Penampang bagian tengah model menunjukkan adanya *body* dengan suseptibilitas sekitar 0.08 SI yang kemungkinan merupakan andesit Kaldera Maninjau. Penampang bagian utara model menunjukkan sebuah *body* dengan suseptibilitas senilai 0.04 SI di area barat dan suseptibilitas senilai 0.02 SI di area timur penampang yang kemungkinan merupakan tufa batuapung dan andesit.

SIMPULAN

Bedasarkan penelitian yang telah dilakukan mengenai struktur bawah permukaan Segmen Sianok menggunakan data geomagnetik, dapat disimpulkan bahwa secara keseluruhan anomali magnetik pada Sesar Sumatera Segmen Sianok memiliki nilai -1200 nT – 1500 nT, sedangkan anomali magnetik dari blok "1" hingga blok "3" berturut-turut adalah -500 nT – 1500 nT, -400 nT – 1000 nT dan -750 nT – 250 nT. Serta berdasarkan hasil pemodelan inversi 3D cakupan area penelitian tersusun oleh bahan endapan vulkanik berupa andesit Marapi, andesit Singgalang-Tandikat, andesit Kaldera Danau Maninjau dan tuf batuapung.

DAFTAR PUSTAKA

- Acocella, V., Bellier, O., Sandri, L., Sébrier, M., & Pramumijoyo, S. (2018). Weak tectono-magmatic relationships along an obliquely convergent plate boundary: Sumatra, Indonesia. *Frontiers in Earth Science*, 6(3).
- Amir, H., Bijaksana, S., Dahrin, D., Nugraha, A. D., Arisbaya, I., Pratama, A., & Suryanata, P. B. (2021). Subsurface structure of Sumani segment in the Great Sumatran Fault inferred from magnetic and gravity modeling. *Tectonophysics*, 821(2021), 229149.
- Blakely, R. J. (1996). *Potential Theory in Gravity and Magnetic*. Inggris: Cambridge University Press.

- Bohal, Y. M., Fermantono, I., & Mariyanto, M. (2023). Geomagnetic Data Analysis to Identify Subsurface Condition of Gondang Area, Bojonegoro. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1227(1).
- Dahrin, D., Amir, H., Suryanata, P. B., Bijaksana, S., Fajar, S. J., Ibrahim, K., Harlianti, U., Arisbaya, I., Pebrian, M. Q., Rahman, A. A., & Kasendri, A. (2022). Subsurface structures of Sianok Segment in the GSF (Great Sumatran Fault) inferred from magnetic and gravity modeling. *Frontiers in Earth Science*, 10(November), 1–17.
- Dharmawan, T., & Zulfian, Z. (2023). Analisis Lokasi Sesar pada Lembar Kota Agung Berdasarkan Data Anomali Magnetik. *Prisma Fisika*, 10(3), 259.
- Hamdiyessi, S., Marzuki, M., Putra, A., & Indrastuti, N. (2022). Analisis Sebaran Hiposenter Gempa Vulkanik Gunung Marapi Menggunakan Metode Geiger's with Adaptive Damping (GAD). *Jurnal Fisika Unand*, 11(4), 414–420.
- Kastowo, Leo, G. W., Gafoer, S., and Amin, T. C. (1996). *Geological map of the Padang quadrangle, Sumatera*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi
- Raharjo, F. D. (2022). *Rentetan 3 (Tiga) Gempabumi Dirasakan Di Sekitar Sesar Aktif Segmen Sianok Tanggal 15 Juli 2022 Dengan Magnitudo 3.9, 3.0 dan 2.6*. 3, 1–8.
- Sieh, K., & Natawidjaja, D. (2000). Neotectonics of the Sumatran fault, Indonesia. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 105(B12), 28295–28326.
- Silitonga, P. H., and Kastowo (1995). *Geological map of the Solok quadrangle, Sumatera*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Wu, G., Tan, H., Yang, G., & Shen, C. (2015). Research on the relationship between geophysical structural features and earthquakes in Mid-Yunnan and the surrounding area. *Geodesy and Geodynamics*, 6(5), 384–391.