

## Estimasi Kedalaman Titik Curie Berdasarkan Data Magnetik Menggunakan Metode Analisis Spektral 2D pada Sesar Sumatera Segmen Sianok

Amirah Zatil Ismah<sup>1</sup>, Harman Amir<sup>2</sup>, Letmi Dwiridal<sup>3</sup>, Zuhendra<sup>4</sup>

<sup>1234</sup>Program Studi Fisika, Universitas Negeri Padang  
e-mail: [amirahzatilismah@gmail.com](mailto:amirahzatilismah@gmail.com)

### Abstrak

Segmen Sianok merupakan salah satu bagian dari sesar Sumatera yang terbentuk akibat pertemuan dari dua buah lempeng besar yang bergerak secara *dextral strike slip*. Hal ini berimplikasi terhadap terbentuknya aktivitas vulkanik dan magmatisme pada Segmen Sianok. Estimasi kedalaman titik Curie dilakukan untuk memberikan informasi tentang struktur geologi dan hubungannya dengan aktivitas vulkanik dan tektonik pada segmen ini. Metode analisis spektral digunakan untuk menentukan kedalaman di mana batuan kehilangan sifat kemagnetannya karena pengaruh suhu yang lebih tinggi dari suhu Curie (580 °C). Penelitian menggunakan data magnetik telah dilakukan koreksi harian dan koreksi IGRF sebelumnya. Pengestimasi kedalaman dilakukan dengan pembuatan peta anomali magnetik terlebih dahulu sehingga mendapatkan anomali tinggi dan rendah berturut-turut adalah 635.6 nT hingga -240.0 nT. Pada peta anomali magnetik dilakukan pembagian blok sebanyak 38 blok dengan lebar 16×16 km yang tumpang tindih sebesar 50%. Tiap-tiap blok dilakukan analisis spektral hingga mendapatkan nilai kedalaman atas ( $Z_t$ ) dan kedalaman pusat ( $Z_0$ ). Nilai kedalaman atas yang didapatkan sebesar 1.10 km hingga 4.28 km dengan rata-rata kedalaman 2.85 km. Nilai kedalaman pusat yang didapatkan sebesar 10.60 km hingga 17.01 km dengan rata-rata kedalaman 13.66 km. Kedalaman titik Curie didapatkan melalui perhitungan nilai kedalaman pusat yang dikurangi dengan nilai kedalaman atas, sehingga nilai kedalaman titik Curie sebesar 18.32 km hingga 30.86 km dengan rata-rata kedalaman adalah 24.48 km. Kedalaman titik Curie dalam berkaitan dengan keberadaan batuan andesit Gunung Marapi (Qama), andesit Gunung Singgalang-Tandikat (Qast) dan andesit Kaldera Maninjau (Qamj).

**Kata kunci:** *Segmen Sianok, Anomali Magnetik, Analisis Spektral, Kedalaman Titik Curie*

### Abstract

The Sianok segment is one part of the Sumatra fault formed by the meeting of two large plates that move in dextral strike slip. This has implications for the formation of volcanic activity and magmatism in the Sianok segment. Curie point depth estimation was conducted to provide information about the geological structure and its relationship with volcanic and tectonic activity in this segment. The spectral analysis method was used to determine the depth at which rocks lost their magnetic properties because of effect of temperatures higher than the Curie temperature (580°C). The study used magnetic data that had been subjected to daily correction and IGRF correction previously. Depth estimation is done by making a magnetic anomaly map first so as to get high and low anomalies of 635.6 nT to -240.0 nT, respectively. On the magnetic anomaly map, 38 blocks with a width of 16×16 km were divided, overlapping by 50%. Each block is subjected to spectral analysis to obtain the depth of top ( $Z_t$ ) and the depth of center ( $Z_0$ ). The depth of top value obtained is 1.10 km to 4.28 km with

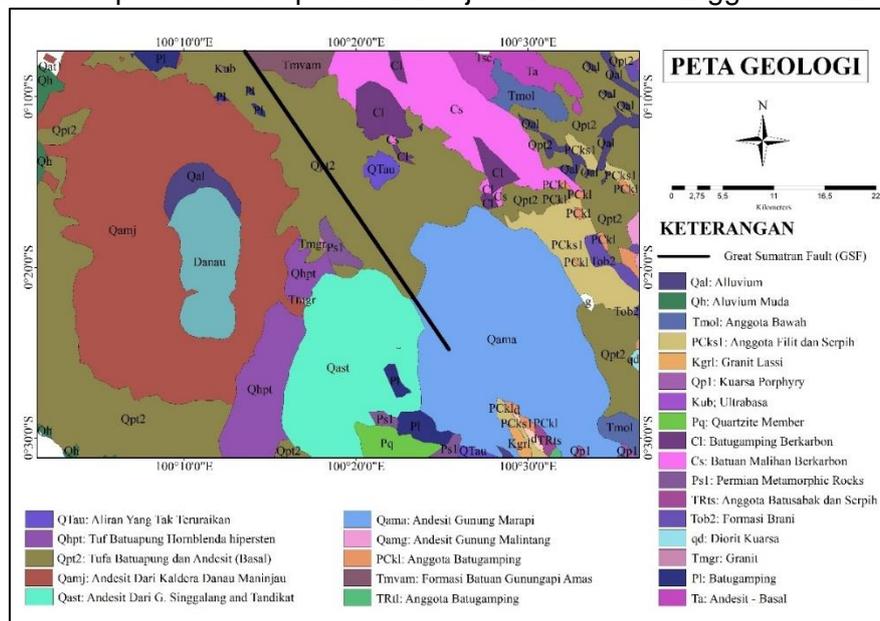
average of 2.85 km. The depth of center value obtained is 10.60 km to 17.01 km with average of 13.66 km. Curie point depth is obtained through the calculation depth of center value minus depth of top value, so the Curie point depth value is 18.32 km to 30.86 km with an average depth of 24.48 km. The Curie point depth is related to the presence of Mount Marapi andesite (Qama), Mount Singgalang-Tandikat andesite (Qast) and Maninjau Caldera andesite (Qamj).

**Keywords:** *Sianok Segment, Magnetic Anomaly, Spectral Analysis, Curie Point Depth*

## PENDAHULUAN

Pulau Sumatera terletak dipertemuan dua lempeng besar yakni lempeng Indo-Australia dan lempeng Eurasia, bergerak secara dextral strike slip akibatnya terjadinya konvergensi oblique (miring). Pertemuan kedua buah lempeng ini berimplikasi terhadap terbentuknya sesar dan aktivitas magmatisme disepanjang pulau Sumatera, sehingga menjadikan sesar Sumatera terbagi kedalam 19 segmen (Sieh & Natawidjaja, 2000). Empat segmen diantaranya terdapat pada wilayah Sumatera Barat, salah satunya adalah segmen Sianok yang menjadi cakupan daerah penelitian. Secara geografis, Segmen Sianok terletak pada 0°9'20,47"LS – 0°34'3,43"LS dan 100°3'28,27"BT – 100°34'27,78"BT.

Keaktifan segmen sianok dilihat dari aktivitas tektonik dan vulkanik yang cukup tinggi. Aktivitas tektonik pada segmen ini tercatat pernah terjadinya gempa bumi yang berkekuatan melebihi 7 SR pada tahun 1822 dan 1926 (Katalog BMKG, 2018). Keberadaan formasi batuan yang bervariasi pada Segmen Sianok juga dapat mempengaruhi aktivitas kegempaan seperti yang terlihat pada Gambar 1. Disamping itu aktivitas vulkanik juga memberikan gambaran mengenai keaktifan dari segmen ini, ditandai dengan keberadaan dua buah gunung api yang terdapat sepanjang jalur segmen Sianok yaitu Gunung Singgalang-Tandikat dan Gunung Marapi. Menurut (Loeqman et al., 2020), Gunung Tandikat tercatat pernah erupsi sebanyak 2 kali dalam Sejarah dan marapi tercatat erupsi 50 kali sejak abad ke-18 hingga tahun 2018.



**Gambar 1. Peta Geologi Daerah Penelitian (Dimodifikasi dari Kastowo et. Al, 1996)**

Estimasi kedalaman titik Curie dilakukan untuk memahami mengenai informasi struktur geologi batuan dan menjadi indikator penting untuk memahami mekanisme sesar (Amir et al., 2021). Titik Curie merupakan suatu keadaan dimana batuan

kehilangan sifat kemagnetannya akibat pengaruh suhu. Suatu batuan yang terkandung dalam mineral magnetik sebelumnya bersifat Feromagnetik menjadi Paramagnetik akibat kenaikan suhu sekitar 580°C (Aboud et al., 2011). Titik Curie dapat dikaitkan dengan aktivitas tektonik dan vulkanik pada segmen sianok.

Metode yang dapat digunakan untuk melakukan estimasi kedalaman ialah metode analisis spektral. Prinsip dasar analisis spektral adalah transformasi fourier yang mentransformasikan suatu sinyal dari domain waktu menjadi domain fungsi atau amplitudo (Blackely, 1995). Metode ini telah banyak digunakan untuk melakukan estimasi kedalaman dan pemisahan anomali regional dan residual (Ayuba & Lawal, 2019). Metode ini juga dapat berkaitan terhadap aktivitas tektonik dan aktivitas vulkanik.

Beberapa penelitian telah dilakukan pada Segmen Sianok yang mengidentifikasi struktur bawah permukaan menggunakan pemodelan kedepan 2D atau *forward modeling* (Dahrin et al., 2022). Tetapi untuk kajian mengenai kedalaman titik Curie menggunakan metode analisis spektral pada segmen ini belum pernah diteliti. Maka dari itu, pada penelitian ini dilakukan pengestimasi kedalaman titik Curie serta menggambarkan struktur kedalaman atas dan kedalaman pusat.

## METODE

Penelitian ini berupa penelitian deskriptif yang mendeskripsikan estimasi kedalaman terhadap aktivitas tektonik dan vulkanik pada Segmen Sianok. Data magnetik yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder dari penelitian terdahulu yaitu penelitian Amir et al., (2021). Koreksi harian dan koreksi IGRF telah dilakukan sebelumnya, sehingga penulis dapat menggunakan data magnetik ini untuk membuat Peta Anomali Magnetik pada perangkat lunak *Geosoft Oasis Montaj* versi 6.4.2 seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1. Perangkat lunak ini juga digunakan untuk melakukan analisis spektral. Sebelum dilakukannya analisis spektral pada Peta Anomali magnetik, terlebih dahulu perlu membaginya menjadi beberapa Blok. Pembagian blok ini bertujuan untuk analisis yang terstruktur dan sistematis. Tujuannya untuk meningkatkan keakuratan dari proses pengolahan data dan interpretasi. Setelah analisis spektral dilakukan pada perangkat lunak *Geosoft Oasis Montaj* versi 6.4.2, maka akan didapatkan kurva radial rata-rata power spektrum. Kurva ini merupakan hubungan antara bilangan gelombang ( $k$ ) terhadap logaritma natural kerapatan power spektrum ( $\ln P$ ).

Kedalaman titik Curie didapatkan melalui kemiringan pada kurva radial rata-rata power spektrum pada bilangan gelombang tinggi dan bilangan gelombang rendah. Berdasarkan persamaan yang ditunjukkan Blakely, (1988) kemiringan dari pemisahan tersebut maka ditentukan nilai kedalaman atas ( $Z_t$ ) dan kedalaman pusat ( $Z_0$ ). Persamaan 1 diturunkan untuk panjang gelombang kurang dari dua kali ketebalan lapisan.

$$\ln [P|k|^{1/2}] = \ln C - |k|Z_t \quad (1)$$

Sehingga persamaan untuk panjang gelombang besar.

$$\ln \left\{ \frac{P|k|^{1/2}}{|k|} \right\} = \ln D - |k|Z_0 \quad (2)$$

dimana  $C$  dan  $D$  adalah konstanta. Oleh karena itu persamaan untuk estimasi kedalaman titik Curie dapat ditulis sebagai berikut:

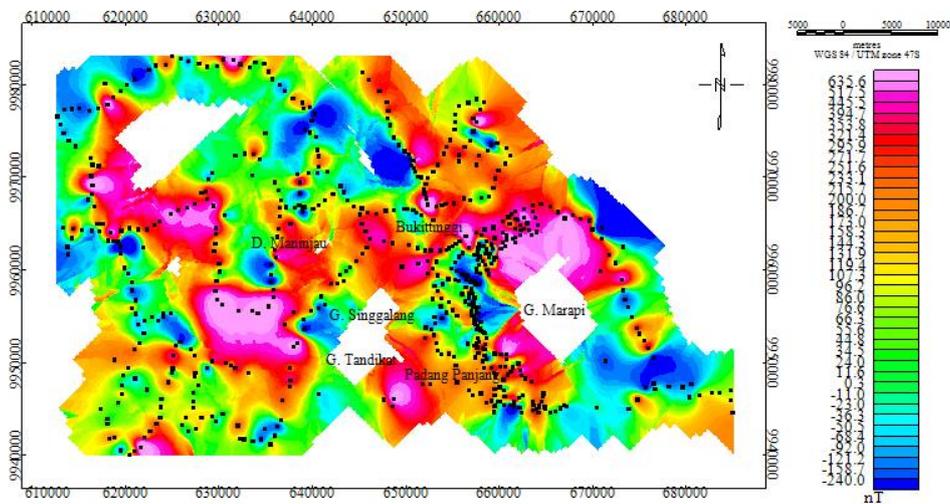
$$Z_b = 2Z_0 - Z_t \quad (3)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

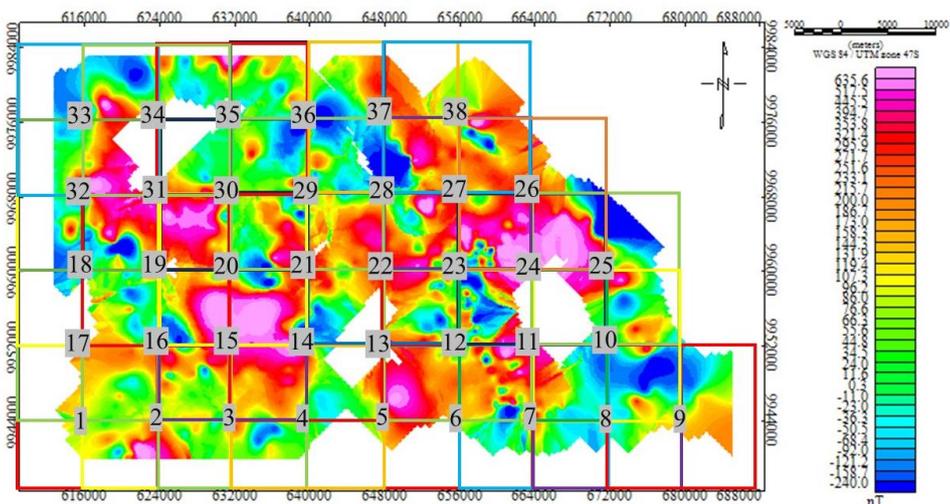
Data anomali magnetik yang telah dikoreksi harian dan IGRF sebelumnya diinputkan kedalam program aplikasi *Geosoft Oasis Montaj* untuk menampilkan peta anomali magnetik. Secara umum anomali magnetik terdiri dari anomali tinggi serta

anomali rendah. Gambar 2, menunjukkan sebaran anomali magnetik yang didominasi anomali tinggi dan rendah dengan nilai berkisar antara 635.6 nT hingga -240.0 nT.

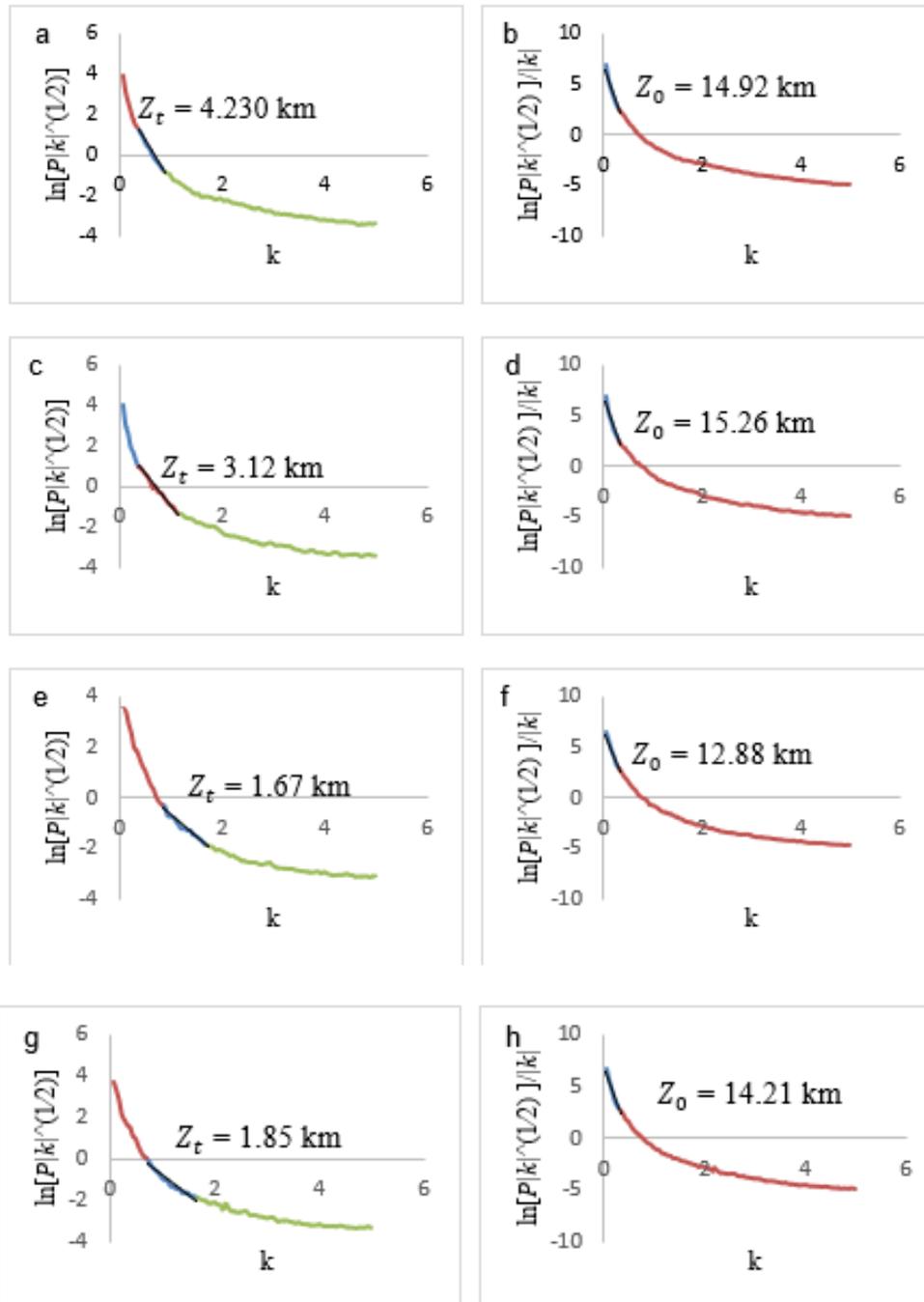
Estimasi kedalaman titik Curie dilakukan dengan membagi peta anomali magnetik menjadi 38 blok sebagai sub-wilayah penelitian. Lebar tiap-tiap blok sebesar 16×16 km yang saling tumpang tindih satu sama lain. Pusat untuk tiap blok ditandai dengan penomoran dari 1 hingga 38 seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3. Beberapa sampel diambil untuk dilihat bentuk dari kurva radial rata-rata power spektrum berdasarkan kondisi geologi. Nilai kedalaman atas dan kedalaman pusat didapatkan melalui kemiringan garis pada kurva radial rata-rata power spektrum yang diambil pada bilangan gelombang tinggi dan rendah seperti yang ditunjukkan Gambar 4. Plot hubungan antara  $\ln [P|k|^{1/2}]$  dengan  $k$  menggambarkan kedalaman dalam dan  $\ln \{ [P|k|^{1/2}] / |k| \}$  dengan  $k$  menggambarkan kedalaman dangkal. Analisis spektral seperti Gambar 4 tersebut dilakukan untuk seluruh blok. Selanjutnya untuk 38 blok tersebut dilakukan perhitungan kedalaman titik Curie.



**Gambar 2. Peta Anomali Magnetik**

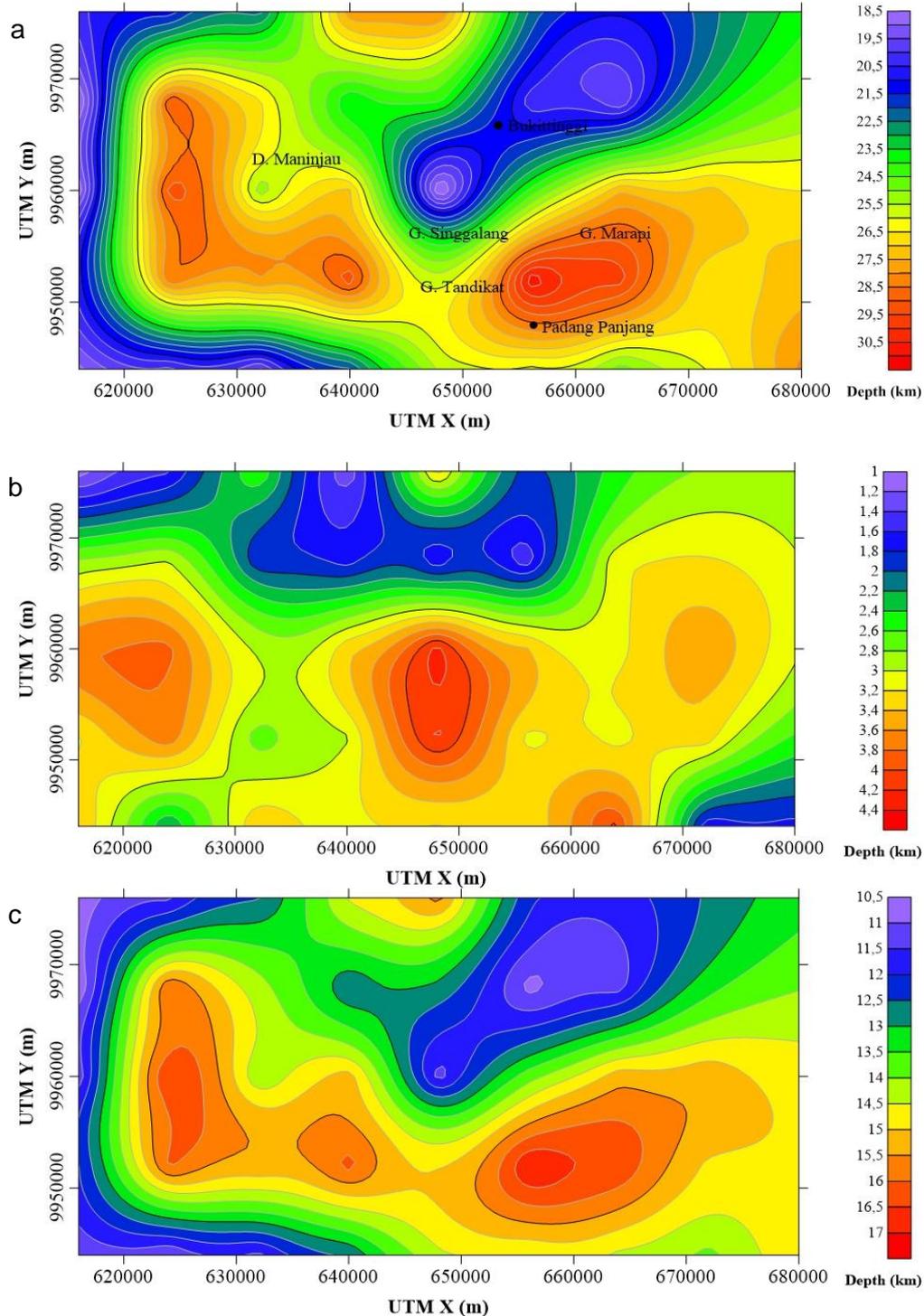


**Gambar 3. Pembagian blok pada peta anomali magnetik dengan lebar blok sebesar 16×16 km yang tumpang tindih 50%.**



**Gambar 4. Grafik hasil analisis spektral dari (a) dan (b) blok 13, (c) dan (d) blok 24, (e) dan (f) blok 28, dan (g) dan (h) blok 30.**

Melalui perhitungan estimasi kedalaman titik Curie yang didapat seluruh blok maka dapat dibentuk peta kontur sebaran kedalaman titik Curie. Pada Gambar 5a, diketahui kedalaman titik Curie yang didapatkan beragam mulai dari kedalaman dangkal hingga kedalaman dalam. Kedalaman titik Curie tersebut berkisar antara 18.32 km hingga 30.86 km dengan rata-rata sekitar 24.59 km. Kedalaman titik Curie dalam membentang dari timur hingga kebarat dari daerah penelitian. Lebih tepatnya berada di sekitar kawasan Gunung Marapi, Gunung Singgalang-Tandikat hingga Danau Maninjau. Hal ini berkaitan dengan keberadaan batuan andesit produk Gunung Marapi (Qama), andesit Gunung Singgalang-Tandikat (Qast) dan andesit Kaldera Maninjau (Qamj) berumur kuartar.



**Gambar 5. (a) Peta kontur kedalaman titik Curie, (b) Peta kedalaman atas dan (c) peta kedalaman pusat.**

Kedalaman atas yang didapat dengan nilai yang cukup tinggi tersebut tersebar dari barat hingga ke arah timur daerah penelitian. Nilai kedalaman atas ini memiliki rentang kedalaman dangkal hingga dalam berturut-turut ialah 1.10 km hingga 4.28 km dengan rata-rata kedalaman 2.85 km. Menurut Ayuba & Lawal, (2019), kedalaman atas memudahkan dalam pengeksporan, biasanya untuk menggambarkan atau memetakan daerah potensi panas bumi yang dangkal untuk diakses lebih mudah.

Rentang nilai untuk kedalaman pusat yang didapat dari daerah dangkal hingga dalam adalah 10.60 km hingga 17.01 km dengan rata-rata kedalaman 13.66 km. Sebaran kedalaman maksimum terdapat pada bagian barat daya dari Gunung Marapi hingga ke barat daya danau Maninjau. Sedangkan untuk kedalaman minimum terletak pada barat daya Bukittinggi dan menyebar hingga timur laut Bukittinggi.

Nilai rata-rata kedalaman titik Curie yang didapat selaras dengan geologinya yang termasuk kedalaman kategori daerah vulkanik aktif, busur pulau, punggung bukit dan dataran tinggi. Menurut Tanaka et al., (1999), nilai kedalaman titik Curie dibawah sekitar 10 km terletak pada daerah vulkanik dan panas bumi, tetapi nilai kedalaman titik Curie akan bernilai lebih dalam sekitar 15-25 km apabila terdapat pada busur pulau dan punggung bukit, kedalaman 20 km terdapat pada dataran tinggi dan 30 km terdapat pada cekungan.

Kedalaman rata-rata titik Curie ini juga berkaitan dengan kedalaman hiposentrum gempa. Menurut Daryono et al., (2019), daerah disekitar segmen sianok pernah mengalami gempa doublet yang berkekuatan  $>M6$  pada kedalaman 22.5 km. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Aboud et al. (2011) yang mengaitkan kedalaman titik Curie dengan metode seismik di Sinai Peninsula. Hasilnya didapatkan nilai kedalaman titik Curie berhubungan dengan daerah yang memiliki aktivitas kegempaan tinggi.

## SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan mengenai kedalaman titik Curie pada daerah penelitian Segmen Sianok, maka dapat disimpulkan bahwa kedalaman titik Curie berkisar antara antara 18.32 km hingga 30.86 km dengan rata-rata sekitar 24.59 km yang bersesuaian dengan geologinya yaitu termasuk kedalam kategori daerah vulkanik aktif busur pulau, punggung bukit dan dataran tinggi. Kedalaman atas yang didapatkan pada penelitian ini berkisar antara 1.10 km hingga 4.28 km dengan rata-rata kedalaman 2.85 km. Dan kedalaman pusat yang didapatkan pada penelitian ini memiliki rentang nilai antara 10.60 km hingga 17.01 km dengan rata-rata kedalaman 13.66 km.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aboud, E., Salem, A., & Mekkawi, M. (2011). Curie depth map for Sinai Peninsula, Egypt deduced from the analysis of magnetic data. *Tectonophysics*, 506(1–4), 46–54. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2011.04.010>
- 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(November), 229149. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2021.229149>
- Ayuba, M. G., & Lawal, M. K. (2019). Investigating Geothermal Energy Resource Potential in Parts of South Western Nigeria Using Aeromagnetic Data. *Science World Journal*, 14(3), 28–34. <http://arktos.nyit.edu/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=139020591&site=eds-live&scope=site>
- Blackely, R. J. (1995). *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. Cambridge University Press.
- Blakely, R. J. (1988). Curie temperature isotherm analysis and tectonic implications of aeromagnetic data from Nevada. *Journal of Geophysical Research*, 93(B10). <https://doi.org/10.1029/jb093ib10p11817>
- 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., & Guy, A. (2022). *Subsurface structures of Sianok Segment in the GSF ( Great Sumatran Fault ) inferred from magnetic and gravity modeling*. November, 1–17. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.1012286>

- Daryono, M. R., Natawidjaja, D. H., Sapiie, B., & Cummins, P. (2019). Earthquake Geology of the Lembang Fault, West Java, Indonesia. *Tectonophysics*, 751(July 2018), 180–191. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2018.12.014>
- Katalog BMKG. (2018). *Katalog Gempa Signifikan dan Merusak 1874-2017*. 252.
- Kastowo., G.W. Leo, S., Gafoer., dan Amin, T.C. (1996): Peta geologi lembar Padang, Sumatera. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Loeqman, A., Basuki, A., Patria, C., Prantoko, E., Alfianti, H., Triastuty, H., Mulyana, I., Kristianto, Kushendratno, Surmayadi, M., Kartadinata, M. N., Indrastuti, N., Priatna, Primulya, S., Adi, S., Rosadi, U., & Banggur, W. F. . (2020). Gunung api Indonesia. In *Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Badan Geologi, Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral*.
- Sieh, K., & Natawidjaja, D. (2000). *Neotectonics of the Sumatran fault , Indonesia ' Now*. 105.
- Tanaka, A., Okubo, Y., & Matsubayashi, O. (1999). Curie point depth based on spectrum analysis of the magnetic anomaly data in East and Southeast Asia. *Tectonophysics*, 306(3–4), 461–470. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(99\)00072-4](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(99)00072-4)