

IDENTIFIKASI BATUAN PENYUSUN SISTEM PANAS BUMI NON-VULKANIK BANGKA TENGAH BERDASARKAN PENAMPANG 2D ANOMALI GAYA BERAT

Eri Gusnia, Tri Kusmita*

Jurusan Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Bangka Belitung, Kampus Terpadu UBB, Balunijuk, Kabupaten Bangka, 33172, Indonesia

*email: trikusmita@ubb.ac.id

ABSTRAK

Sistem panas bumi di daerah Bangka Tengah merupakan sistem panas bumi non-vulkanik jenis radiogenik. Sistem panas bumi ini tidak berhubungan dengan adanya proses vulkanisme. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi batuan penyusun sistem panas bumi Non-Vulkanik di lapangan panas bumi Bangka Tengah berdasarkan penampang 2D anomali gaya berat. Penelitian ini dilakukan dengan melakukan analisis spektral dilakukan dengan Fast Fourier Transform (FFT) pada anomali Bouger komplit untuk mendapatkan anomaly residual. Pemodelan 2D anomali residual dilakukan dengan menggunakan inverse modelling dengan persamaan smoothness constraint. Hasil penelitian menunjukkan bahwa struktur bawah permukaan sistem panas bumi non-vulkanik di kawasan panas bumi Bangka Tengah terdiri dari batuan penutup berupa batupasir ($2,38 - 2,42 \text{ gr/cm}^3$) pada kedalaman 3.000 m, batuan reservoir terdiri dari granit. ($2,65 - 2,66 \text{ gr/cm}^3$) pada kedalaman 0 - 9.000 m dan batuan dasar terdiri dari diorit ($2,87 - 2,9 \text{ gr/cm}^3$) pada kedalaman 2.000 - 10.000 m.

Kata Kunci: *Panas bumi; Non Vulkanik; Terak; Keretak*

ABSTRACT

[Title: Identification of Rocks Compositing the Central Bangka Non-Volcanic Geothermal System Based on 2D Cross Section of The Gravity Anomaly] *The geothermal system in the Central Bangka area is a radiogenic non-volcanic geothermal system. This geothermal system is not associated with the volcanism process. The purpose of this research is to identify the rock components of the Non-Volcanic geothermal system in the Central Bangka geothermal field based on the 2D cross section of the gravity anomaly. This research was conducted by performing spectral analysis using Fast Fourier Transform (FFT) on the complete Bouger anomaly to obtain the residual anomaly. 2D modeling of the residual anomaly was done using inverse modeling with the smoothness constraint equation. The results show that the subsurface structure of the non-volcanic geothermal system in the Central Bangka geothermal area consists of cover rock in the form of sandstone ($2.38 - 2.42 \text{ gr/cm}^3$) at a depth of 3,000 m, reservoir rock consists of granite. ($2.65 - 2.66 \text{ gr/cm}^3$) at a depth of 0 - 9,000 m and the bedrock consists of diorite ($2.87 - 2.9 \text{ gr/cm}^3$) at a depth of 2,000 - 10,000 m.*

Keywords: *Geothermal; Non-volcanc; Terak; Keretak.*

PENDAHULUAN

Sistem *geothermal* di daerah Bangka tidak berkaitan dengan aktivitas vulkanik (Pitulima & Siregar, 2016) melainkan dari singkapan ataupun lipatan serta patahan batuan (Siregar & Kurniawan, 2018). Daerah Bangka Tengah memiliki sistem *geothermal* yang tersebar di daerah Terak dan Keretak (Direktorat Panas Bumi, 2017). *Geothermal* Bangka Tengah tersusun oleh batuan granit intrusif dari formasi Granit Klabat, lempung dan batupasir dari Formasi Tanjung Genting (Gusnia, Kusmita, &

Indriawati, 2022). Batuan intrusi tersebut dihasilkan dari peluruhan unsur radioaktif seperti uranium (U), thorium (Th) dan potasium (K) (Zang, et al., 2020). Singkapan dari batuan tersebut pada akhirnya menyebabkan keluarnya energi panas yang berinteraksi dengan batuan sekitarnya (Siregar & Kurniawan, 2018).

Geothermal Terak memiliki lapisan batuan berupa air tanah, tanah lempung, tanah lanau, batupasir, kerikil kering dan batu granit (Yunizar, 2015). Struktur batuan bawah permukaan sistem

panas bumi non-vulkanik di Desa Terak berupa batupasir, granit dan diorit (Firdaus, Oktaviyani, Hardianti, Kusmita, & Indriawati, 2021). Batuan reservoir berasosiasi dengan anomali rendah (-45nT hingga -10nT) tersebar di utara dan barat dari manifestasi panasbumi (Alawiyah & Kusmita, 2022). Anomali rendah diperkirakan berhubungan manifestasi panas bumi dan terdapat batuan granit dari Formasi Granit Klabat juga terdapat bukit yang berada diarah Utara yaitu bukit Mangkol.

Sistem *geothermal* dapat diidentifikasi menggunakan metode magnetotelurik (Kusmita, Fath, MZ, & Joni, 2020), *gravity* (Afni & Kusmita, 2022) yang bisa mengidentifikasi struktur geologi dan densitas batuan (Gusnia, Kusmita, & Indriawati, 2022) di daerah penelitian (Hidayat & Basid, 2011).

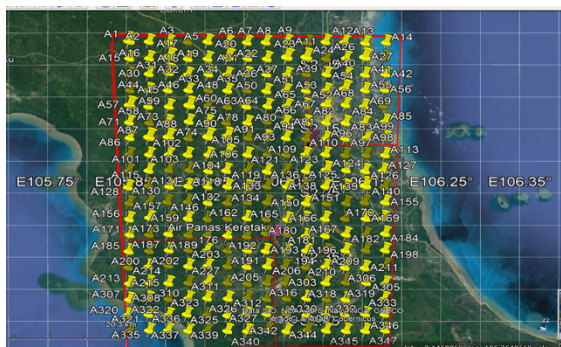
Metode *gravity* melibatkan hukum newton yang dinyatakan oleh persamaan 1 berikut (Telfold, Geldart, & Sheriff, 1990):

$$F = \gamma \times \left(\frac{m_1 \times m_2}{r^2} \right) \times r_1 \quad (1)$$

dengan **F** (gaya pada antara m1 dan m2 dalam (N)), m1, m2 (massa benda dalam (kg)), γ (konstanta gravitasi universal (6,67 x 10⁻¹¹ Nm²/g²)), r (jarak m1 dan m2 dalam (m)).

METODE

Penelitian ini dilakukan di air panas Terak dan air panas keretak, Bangka Tengah. Titik kordinat pengambilan adalah koordinat *longitude* (595451.6701°- 630636.2023°) dan *latitude* (9776205.729°- 9726478.077°) dengan luas wilayah ±37x54 Kilometer (Gambar 1). Data *free air anomaly* (FAA) yang digunakan diperoleh melalui satelit TOPEX yang dapat diakses di laman <https://topex.ucsd.edu>. Data tersebut dilakukan koreksi Bouger dan koreksi medan untuk mendapatkan anomali Bouger komplit (CBA). Pemisahan anomali menggunakan Transformasi Fourier (FFT) dan filter *moving average*. Pemodelan 2D dilakukan menggunakan inversi ke belakang.



Gambar 1. Lokasi penelitian

2.1. Koreksi Bouger

Koreksi Bouguer dilakukan untuk menghilangkan efek gravitasi yang disebabkan oleh perbedaan ketinggian antara titik pengamatan dan datum (*mean sea level*, msl). Koreksi Bouguer mengasumsikan nilai kerapatan batuan terletak antara titik pengamatan dan msl. Pada bidang horizontal yang besar nilai kerapatan batuan seragam. Koreksi Bouguer dirumuskan pada persamaan 2 (Telfold, Geldart, & Sheriff, 1990):

$$BC = 2\pi g \rho h \text{ atau } BC = 0.04188 \rho h \quad (2)$$

dengan BC (*Bouger Correction* dalam (mGal), h (elevasi dalam (m)), ρ (densitas rata-rata pada batuan (2,67g/cm³)).

2.2 Koreksi Medan

Koreksi medan digunakan untuk menghilangkan efek massa dari topografi di sekitar titik pengamatan. Ketidakteraturan topografi misalnya perbukitan dan lembah akan mempengaruhi pengukuran nilai gravitasi di titik pengamatan. Koreksi medan dirumuskan pada persamaan 3 (Reynolds, 1997).

$$TC = \frac{0,04193}{n} \rho \left\{ (r_2 - r_1) + \sqrt{r_1^2 + L^2} - \sqrt{r_2^2 + L^2} \right\} \quad (3)$$

dengan TC (*Terrain Corection dalam* (mGal)), n (jumlah kompatemen tiap zona), ρ (densitas batuan dalam (g/cm³)), r1, r2 (jari-jari radius dalam, jari-jari radius luar dalam (m), L (selisih ketinggian dari titik pengukuran dalam (m)).

2.3. Pemisahan Anomali

Pemisahan anomali regional dan residual dari CBA dilakukan dengan analisis spektral. Analisis spektral dilakukan dengan menerapkan persamaan transformasi fourier. Hal ini dilakukan karena data yang diperoleh berupa data dalam domain spasial, sehingga harus ditransformasikan menjadi domain frekuensi atau bilangan geombang (k) (Yilmaz, 2010)]. Penentuan anomali regional-residual dilakukan dalam domain frekuensi karenakan anomali regional berasosiasi dengan frekuensi rendah sedangkan anomali residual berasosiasi dengan frekuensi tinggi. Adapun persamaan dalam transformasi fourier untuk penampang data anomali bourger seperti pada persamaan 4 dibawah ini (supriyadi, 2009):

$$F(k) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)e^{-ikx} dx \quad (4)$$

nilai k adalah bilangan gelombang terhadap panjang gelombang λ atau frekuensi f. Nilai k dapat didapat melalui persamaan 5 sebagai berikut:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (5)$$

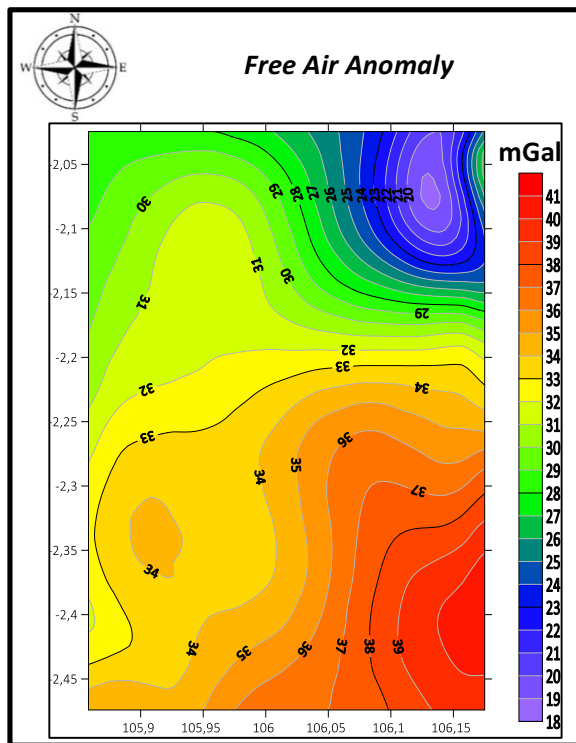
Nilai k dan amplitudo bertujuan untuk menentukan lebar jendela pada proses filter *Moving Average*. Pemisahan anomali regional dan residual dilakukan menggunakan *software* oasis montaj dengan menggunakan persamaan 6 sebagai berikut (Purnomo, Koesuma, & Yudianto, 2013).

$$\Delta T_{residual} = \Delta T - \Delta T_{reg} \quad (6)$$

dengan $\Delta T_{residual}$ (besarnya anomali residual dalam (mGal)), ΔT_{reg} (besarnya anomaly regional dalam (mGal)), ΔT (besarnya anomali *gravity* total dalam (mGal)).

HASIL DAN PEMBAHASAN

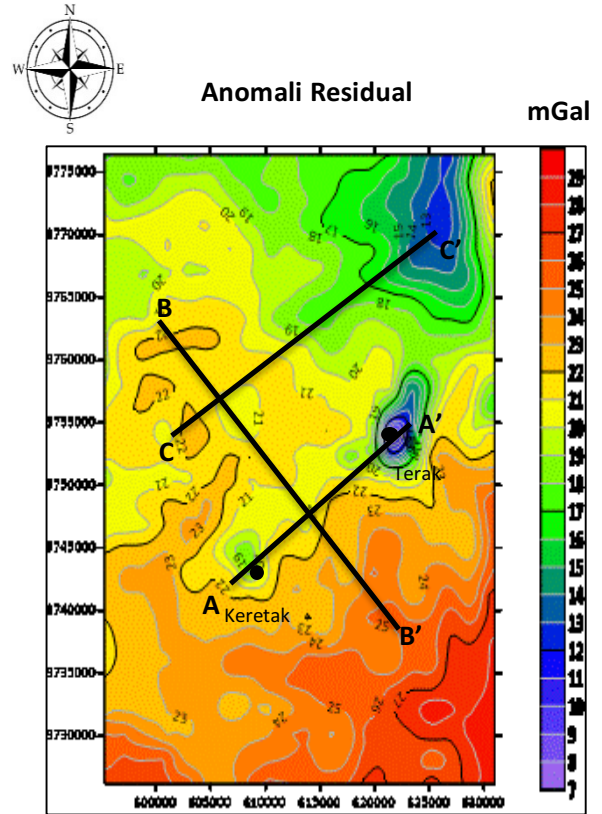
Data *Free Air Anomaly* (FAA) adalah data anomali medan gravitasi yang telah terkoreksi yaitu koreksi tinggi alat, koreksi pasang surut, koreksi drift, koreksi lintang dan koreksi udara bebas. Kontur FAA (Gambar 2) masih memiliki efek topografi yang disebabkan adanya variasi kelebihan dan kekurangan massa dari medan gravitasi bumi (Maulana, Haryanto, Ismawan, & Kusnandi, 2019).



Gambar 2. Kontur *Free Air Anomaly*

Efek topografi terjadi dikarenakan adanya variasi ketinggian di setiap titik di permukaan bumi. Variasi topografi mengakibatkan tarikan ke atas dari bukit-bukit di atas bidang stasiun dan lembah di bawahnya yang menurunkan nilai gravitasi yang teramati (Hinze et al., 2013). Nilai FAA terjadi pada rentang 18 mGal sampai dengan 41 mGal. Nilai FAA tertinggi terjadi pada rentang 32 mGal sampai dengan

41 mGal (warna kuning hingga orange). Nilai FAA sedang terjadi pada rentang 25 mGal sampai dengan 31 mGal (hijau tua hingga hijau kekuningan). Nilai FAA terendah berkisar 18 mGal sampai dengan 24 mGal (warna ungu hingga biru).



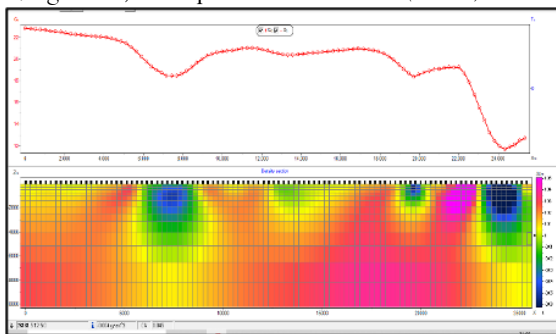
Gambar 3. Anomali Residual dengan *Cross Section*

Anomali residual adalah anomali lokal yang disebabkan oleh sumber-sumber anomali gravitasi yang berada pada posisi dangkal (Firdaus, Oktaviyani, Hardianti, Kusmita, & Indriawati, 2021). Sebaran anomali residual dapat dilihat pada gambar 3. Nilai sebaran anomali residual berbeda-beda disebabkan adanya densitas batuan yang berbeda (Afni & Kusmita, 2022). Nilai anomali residual berkisar antara 7 mGal sampai 29 mGal (warna ungu sampai orange). Anomali tinggi berada pada rentang nilai 21 mGal sampai 29 mGal (warna kuning sampai orange). Anomali sedang berada pada rentang nilai 14 mGal sampai 20 mGal (warna hijau hingga hijau kekuningan) sedangkan anomali rendah berada pada rentang 7 mGal sampai 13 mGal (warna ungu hingga biru).

Model 2D dilakukan dengan 3 *cross section* yaitu A-A', B-B' dan C-C' (Gambar 3) dengan menerapkan *inverse modeling* (permodelan kebelakang). *Inverse modeling* digunakan untuk melihat persebaran densitas bawah permukaan daerah panas bumi di daerah Terak dan Keretak menggunakan *software* Zon2GM. Pada

peta kontur anomali residual kondisi geologi di daerah penelitian di dominasi formasi aluvium (Qa), Granit Klabat (TRjkg) dan Formasi Tanjunggenting (TRt) (Manga & Djamal, 1990). Permodelan sistem panas bumi menerapkan pada permodelan sistem panas bumi tipe radiogenik (Anderson & Lund, 1979).

Sayatan A-A' diambil di Baratdaya ke Timurlaut daerah penelitian sepanjang 21.000 m (Gambar 4). Sayatan A-A' dipilih berdasarkan kontras anomali tinggi ke anomali rendah. Anomali rendah memiliki warna ungu sampai biru ($2,38 - 2,42 \text{ gr/cm}^3$) di indikasikan sebagai batupasir (*sandstone*). Pada anomali sedang memiliki warna hijau sampai kuning ($2,65 - 2,66 \text{ gr/cm}^3$) diindikasikan sebagai batu granit (*granite*). Pada anomali tinggi memiliki warna merah muda ($2,87 - 2,9 \text{ gr/cm}^3$) merupakan batuan diorit (*diorite*).

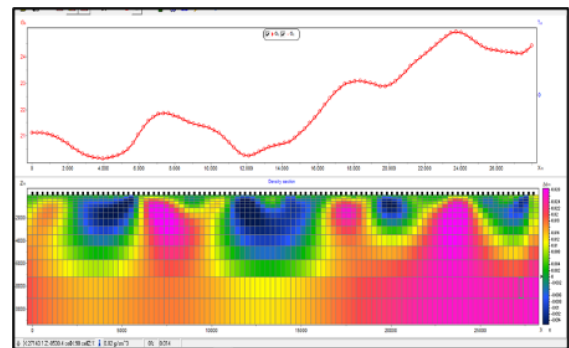


Gambar 4. Penampang 2D Sayatan A-A'

Batu pasir berada pada kedalaman 0-3000 m di temukan sepanjang 26 m dari arah Baratlaut ke Tenggara. Batu granit berada pada kedalaman 0-9000m ditemukan sepanjang 26 m dari arah Baratlaut ke Tenggara. Batu diorit berada pada kedalaman 2.000 – 10.000 m di temukan sepanjang 24 m dari arah Barat ke Timur. Pada sayatan A-A' juga ditemukan singkapan batuan granit sepanjang 22 - 24 m dari arah Timurlaut ke Baratdaya. Pada sayatan A-A' terdapat kelurusan tektonik yaitu diduga berupa sesar ataupun rekahan sepanjang 6 – 20m hal ini disebabkan perbedaan densitas antara dua lapisan yang saling berdekatan.

Lintasan B-B' diambil di BaratLaut ke Tenggara yang memotong sayatan A-A'(Gambar 5) daerah penelitian sepanjang 22.000 m. Sayatan B-B' diambil dari anomali sedang ke tinggi. Pada lintasan ini anomali rendah memiliki warna ungu sampai biru ($2,36 - 2,38 \text{ gr/cm}^3$) merupakan batu pasir. Anomali sedang memiliki warna hijau sampai kuning ($2,65 - 2,78 \text{ gr/cm}^3$) diindikasin sebagai batuan granit. Anomali tinggi memiliki warna merah muda ($2,86 - 2,88 \text{ gr/cm}^3$) yang kemungkinan adalah batuan diorit.

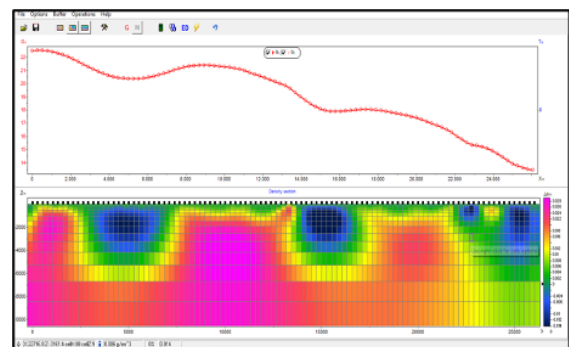
Batu pasir berada pada kedalaman 5000 m ditemukan sepanjang 3 - 27 m dari arah Barat ke Timur. Batu granit berada pada kedalaman 1.000 – 9.000 m ditemukan sepanjang 0 - 27 m dari arah Baratdaya ke Timurlaut. Batu diorit berada pada kedalaman 1.000 – 9.000 m di temukan sepanjang 6 - 27m dari arah Baratlaut ke Tenggara.



Gambar 5. Penampang 2D Sayatan B-B'

Sayatan C-C' berada di Baratdaya ke Timurlaut. Sayatan C-C' diambil dari anomali sedang ke rendah daerah penelitian sepanjang 25.000 m (Gambar 6). Pada anomali rendah memiliki warna ungu sampai biru merupakan batu pasir ($2,36 - 2,38 \text{ gr/cm}^3$). Pada anomali sedang memiliki warna hijau sampai kuning ($2,64 - 2,66 \text{ gr/cm}^3$) diindikasikan sebagai batu granit. Pada anomali tinggi memiliki warna merah muda ($2,88 - 2,9 \text{ gr/cm}^3$) kemungkinan merupakan batuan diorit.

Batu pasir berada pada kedalaman 5000 m di temukan sepanjang 3 - 27 m dari arah Barat ke Timur. Batu granit berada pada kedalaman 1000 – 9000m ditemukan sepanjang 0 - 27 m dari arah Baratlaut ke Tenggara. Batu diorit berada pada kedalaman 1000 – 9000 m di temukan sepanjang 0 - 22m dari arah Barat ke Timur.



Gambar 6. Penampang 2D Sayatan C-C'

Berdasarkan model konseptual sistem air panas tipe radiogenik terdiri atas batuan penutup (*cap rock*), reservoir (*heat source*) dan batu dasar (*basement rock*) (Tamanyu & Sakaguchi, 2003). Batuan

penudung memiliki densitas rendah, porositas tinggi dan permeabilitas tinggi yaitu diindikasikan pada batu pasir. Batu pasir berfungsi sebagai penutup reservoir agar mencegah keluar fluida panas bumi. Dalam sistem air panas radiogenik, *heat source* berasal dari unsur penyusun batu granit yaitu uranium, thorium, titanium dan yttrium (Pitulima & Siregar, 2016). *Basement rock* berupa batuan diorit. Batuan dasar memiliki densitas yang tinggi dari batuan sumber panas, porositas rendah dan permeabilitas rendah. Singkapan dan rekahan pada daerah penelitian yang menyebabkan adanya fluida yang keluar atau manifestasi panas bumi. Struktur rekahan pada batuan diindikasikan sebagai jalur fluida yang berinteraksi dengan lapisan yang di atasnya (Siregar & Kurniawan, 2018).

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa struktur bawah permukaan sistem panas bumi non-vulkanik di kawasan panas bumi Bangka Tengah terdiri dari batuan penutup berupa batupasir (2,38 – 2,42 gr/cm³) pada kedalaman 3.000 m, batuan reservoir terdiri dari granit. (2,65 – 2,66 gr/cm³) pada kedalaman 0 - 9.000 m dan batuan dasar terdiri dari diorit (2,87 – 2,9 gr/cm³) pada kedalaman 2.000 – 10.000 m.

DAFTAR PUSTAKA

- Pitulima, J., & Siregar, R. N. 2016. Identifikasi Struktur Geologi Sumber Air Panas Non Vulkanik Desa Nyelanding Bangka Selatan dengan Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi Wenner. *Seminar Nasional Riset Terapan*.
- Siregar, R. N., & Kurniawan, W. B. 2018. 2D Interpretation of Subsurface Hot Spring Geothermal Structure in Nyelanding Village Through Schlumberger Geoelectricity Configuration Method. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-BiRuni*, 7(1), 81-87.
- Direktorat Panas Bumi, D. E. 2017. *Potensi Panas Bumi Indonesia Jilid 1*. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral .
- Gusnia, E., Kusmita, T., & Indriawati, A. 2022. Analisis Anomali Gravity Daerah Panas Bumi Non-Vulkanik Di Bangka Tengah (Studi Kasus Panas Bumi Terak dan Keretak). *JRFI*, 1-7.
- Zang, C., Hu, S., Zhang, S., Li, S., Zhang, L., Kong, Y., .Wang, Z. 2020. Radiogenic Heat Production Variations in The Gonghe Basin, Northeastern Tibetan Plateau: Implications For the origin of High-Temperature Geothermal Resources. *Renewable Energy*, 148, 284-297.
- Yunizar. 2015. *Analisa geolistrik untuk identifikasi sebaran sumber air panas menggunakan konfigurasi schlumberger di Desa Kretak Kecamatan Sungaiselan Kabupaten Bangka Tengah Provinsi Kepulauan Bangka Belitung*. Bangka: Universitas Bangka Belitung.
- Firdaus, R., Oktaviyani, S., Hardianti, P., Kusmita, T., & Indriawati, A. 2021. Identification of Subsurface Rock Structure of Non-Volcanic Geothermal Systems Based on Gravity Anomalies (Terak Village, Central Bangka Regency). *Journal of Applied Geospatial Information*, 5(2), 539-543.
- Kusmita, T., Fath, A. M., MZ, N., & Joni, W. 2020. Magnetotelluric method application for conceptual modelling of geothermal system Pariangan West Sumatera. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.
- Afni, G. N., & Kusmita, T. 2022. Identifikasi Struktur Tektonik Sistem Geothermal Non-Vulkanik Daerah Nyelanding dan Permis Bangka Selatan Menggunakan Metode Gravity. *JRFI*, 2(1), 1-6.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. 1990. *Applied Geophysics Second Edition*. New York: Cambridge University Press.
- Reynolds, J. M. 1997. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. England: Jhon Willey & Sons.
- Yilmaz, O. 2010. *Seismic Data Analysis: Processing, Inversion, and Interpretation of Seismic Data*. Society of Exploration Geophysicists.
- supriyadi. 2009. Studi Gaya Berat Relatif di Semarang. *Jurnal Fisika Indonesia*, 5, 54-61.
- Purnomo, J., Koesuma, S., & Yunianto, M. (2013). Pemisahan Anomali Regional-Residual pada Metode Gravitasi Menggunakan Metode Moving Average, Polynomial dan Inversion. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 3(1).
- Manga, A., & Djamal, B. 1990. Peta Geologi Lembar Bangka Utara, Sumatra. Dalam *Peta Geologi Sumatera*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Anderson, D., & Lund, J. 1979. *Direct Utilization Of Geothermal Energy: A Technical Handbook*. Unites States.
- Tamanyu, S., & Sakaguchi, K. 2003. Conceptual Model For Non-Volcanic Geothermal Resources – Examples From Tohoku Japan. *Geological Survey of Japan*.
- Petersburg. 2001. *Program For 2D Interpretation Of Magnetic and Gravity Data ZondGM2D*. Zond Geophysical Software Saint.

- Maulana, Y., Haryanto, A. D., Ismawan, & Kusnandi, D. 2019. Penentuan Tipe Fluida Serta Tingkat Permeabilitas Sistem Panas Bumi Daerah Tinigi, Toli-Toli, Sulawesi Tengah. *Padjajaran Geoscience Journal*.
- Alawiyah, U., & Kusmita, T. 2022. Sebaran Batuan Daerah Panas bumi Terak Bangka Tengah berdasarkan Anomali Magnetik. *Jurnal Riset Fisika Indonesia*, 3(1), 12–18. <https://doi.org/10.33019/jrfi.v3i1.3356>
- Hinze, W. J., von Frese, R. R. B., & Saad, A. H. 2013. *Gravity and Magnetic Exploration Principles, Practices, and Applications*. Cambridge University Press.