

SUSEPTIBILITAS MAGNETIK SISTEM PANAS BUMI NON VULKANIK DESA TERAK MENGGUNAKAN METODE GEOMAGNETIK

Tri Kusmita^{1*}, Yuant Tiandho¹, Yekti Widyaningrum¹, Umi Alawiyah¹

¹Jurusan Fisika Fakultas Teknik Universitas Bangka Belitung
e-mail : trikusmita@ubb.ac.id

Abstrak. Panas bumi di kepulauan Bangka Belitung termasuk salah satu jenis panas bumi yang terjadi karena adanya peluruhan radioaktivitas pada batuan. Panas bumi di daerah ini terbentuk karena adanya batuan granit yang mengalami rekahan, lipatan ataupun patahan. Panas bumi Terak memiliki suhu permukaan 55°C - 61,8°C dengan debit air 0,2 liter/detik. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi batuan penyusun sistem panas bumi desa Terak berdasarkan anomali medan magnetik. Pengukuran medan magnetik total dilakukan menggunakan *Proton Precession Magnetometer* (PPM) dengan lintasan sepanjang 2,5 km dan spasi 100 m dan jarak antar lintasan 500 m. Reduksi data medan magnet total dilakukan dengan mengaplikasikan *diurnal correction* dan *IGRF correction*. Invers Modelling dilakukan menerapkan algoritma *Smoothness Constraint*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem panas bumi non-vulkanik daerah Terak terdiri dari reservoir ($42 \times 10^3 - 49 \times 10^3$), batuan penutup ($1 \times 10^4 - 19 \times 10^3$), dan batuan dasar ($106 \times 10^3 - 118.5 \times 10^3$).

Kata Kunci: panas bumi; non-vulkanik; Terak; anomali; magnetik;

Abstract. Geothermal in Bangka Belitung islands is generated by the process of radioactive decay in rocks. geothermal in this area was formed due to granite rocks that have been fractured, folded or faulted. Geothermal Terak has a surface temperature of 55°C - 61.8°C with a water discharge of 0.2 liters/second. This research aims to identify the forming rocks of panas bumi system at Terak village based on magnetic field anomalies. Data acquisition was measured using a *Proton Precession Magnetometer* (PPM) along 2.5 km with 100 m spacing and 500 m spacing between lines. The process of reducing the total magnetic field data involves the application of *diurnal correction* and *IGRF correction*. The *Inverse Modelling* is performed by applying the *Smoothness Constraint* algorithm. The findings indicated that the Terak area's non-volcanic geothermal system is composed of a reservoir ($42 \times 10^3 - 49 \times 10^3$), a host ($1 \times 10^4 - 19 \times 10^3$), and bedrock ($106 \times 10^3 - 118.5 \times 10^3$).

Keywords: geothermal; non-volcanic; Terak; anomaly; magnetic;

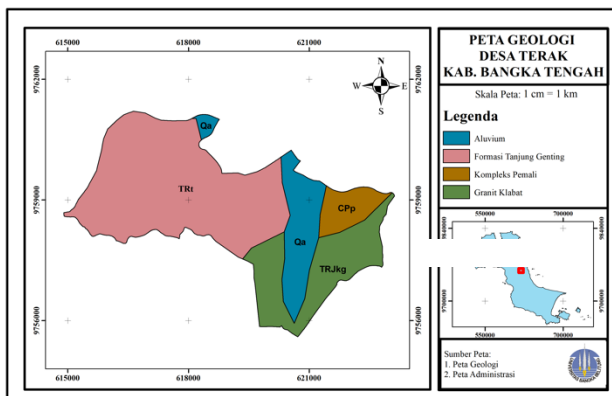
PENDAHULUAN

Beberapa manifestasi sistem panas bumi di Pulau Bangka diduga berasal dari batuan plutonik dengan dimensi yang besar, seperti batolit, granit, dan klabat dari Trias akhir hingga Jura awal. (Purwoto *et al.*, 2013). Mata air panas Terak merupakan salah satu manifestasi panasbumi di pulau Bangka yang terletak di Bangka Tengah (106,0769 BT -2,1919 LS (EBTKE ESDM and Badan Geologi, 2017).

Panas bumi Terak berada di formasi Granit Klabat yang terdiri dari satuan batuan granit. Sebagian lainnya termasuk dalam formasi Tanjung Genting yang terdiri dari satuan batuan lempung dan batu pasir (Gusnia *et al.*, 2022). Daerah Terak sebagian besar terdiri dari endapan permukaan, endapan

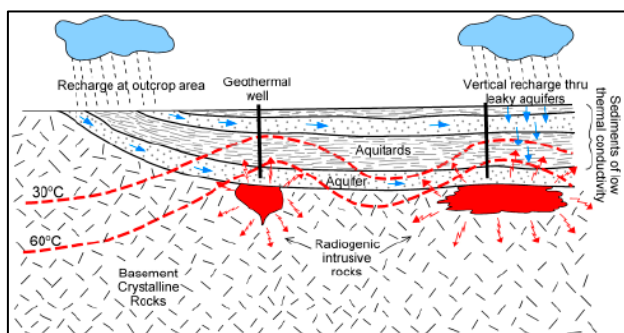
aluvium, batuan metamorf berumur Permo-Karbon, dan batuan beku plutonik tua berbentuk granit berumur Trias. Struktur dominan terdiri dari sesar normal, sesar mendatar berarah timurlaut-baratdaya, dan sesar mendatar berarah baratlaut-tenggara (Manga and Djamal, 1990). Panas bumi Terak memiliki lapisan batuan granit dari Formasi Granit Klabat di sebelah utara Bukit Mangkol (Gambar 1), batupasir dari Formasi Tanjung Genting di sebelah barat, batuan *schist* dan *phyllite* didominasi di daerah timur laut dan barat laut (Alawiyah and Kusmita, 2022). Lapisan bawah permukaan daerah sekitaran panasbumi terak berdasarkan anomali mgaya berat terdiri dari batuan granit, batu pasir serta diorit (Firdaus *et al.*,

2021). Anomali gaya berat juga menunjukkan bahwa batuan granit di daerah bangka tengah tersebar dari permukaan hingga kedalaman 9000 m (Gusnia and Kusmita, 2023).



Gambar 1. Geologi daerah Terak (Manga and Djamal, 1990)

Panas bumi Terak diduga berasal dari peluruhan yang terjadi secara alami dari isotop radioaktif Torium, Kalium dan Uranium dari intrusi batuan Granit yang dikenal dengan sistem panas bumi radiogenik (Anderson and Lund, 1979). Sistem panas bumi ini tidak berasosiasi dengan keberadaan gunungapi seperti banyaknya sistem panas bumi di Indonesia. Sumber panasbumi radiogenik (Gambar 1) ditemukan dimana intrusi granitik yang berada dekat permukaan memanaskan air tanah setempat dari peluruhan zat radioaktif Torium, Kalium dan Uranium (Gambar 2). Pemanasan lokal ini meningkatkan gradien panas normal dan memanaskan air di area tersebut (Anderson and Lund, 1979).



Gambar 2. Sistem panasbumi radiogenik (Anderson and Lund, 1979)

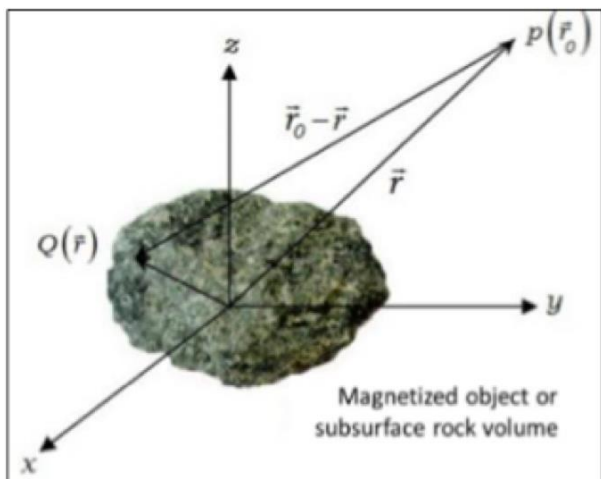
Di pulau bangka, unsur-undur rasioaktif dibawa oleh batuan plutonik. Batuan ini tersebar mengikuti

lintasan garis pantai dan juga lipatan sesuai sumbu lipatan skstruktur geologinya (Franto, 2015). Sistem panas bumi dapat diidentifikasi menggunakan metode magnetotelurik untuk menentukan model konseptual (Kusmita et al., 2020), penentuan sistem panas bumi (Kusmita et al., 2022). Selain magnetotelurik juga dapat menggunakan metode gaya berat (Afni and Kusmita, 2021; Firdaus et al., 2021; Gusnia et al., 2022), geolistrik (Çağlar and Demirörer, 1999), dan geomagnetik (Alawiyah and Kusmita, 2022).

Daerah sekitar manifestasi panasbumi biasanya mengalami proses demagnetisasi akibat adanya alterasi pada sistem hidrotermal (Kanakiya et al., 2021). Nilai Hal tersebut menyebabkan anomali medan magnet pada sistem panas bumi lebih rendah dibandingkan dengan daerah sekitarnya (Soengkono, 2016). Anomali medan magnet pada daerah ini biasanya terjadi karena adanya ketidakhomogenan dari kerak bumi di area tersebut. Zona tersebutlah yang pada investigasi panasbumi diduga sebagai daerah reservoir panasbumi yang berpotensi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai suseptibilitas magnetik batuan penyusun panasbumi desa Terak menggunakan metode geomagnetik. Metode magnetik dapat menentukan struktur bawah permukaan dengan menganalisis sifat magnetik dari batuan yang kemudian terukur melalui medan magnet total (Mariita, 2007).

Secara umum, kandungan magnetik (suseptibilitas) batuan sangat bervariasi tergantung pada jenis batuan dan lingkungannya. Dalam lingkungan geotermal suhu yang tinggi menyebabkan suseptibilitas menurun (Al-Khafaji, 2021). Benda ataupun batuan yang berada di bawah permukaan yang berupa bahan ataupun mineral magnetik bisa diasumsikan sebagai dipol magnetik (Gambar 3).



Gambar 3. Anomali medan magnet suatu benda bawah permukaan yang termagnetisasi (Telford *et al.*, 1990)

Besarnya potensial magnetik yang terdapat pada suatu tempat di dalam batuan bisa diilustrasikan melalui persamaan (1) berikut ((Telford *et al.*, 1990):

$$V = -C_m \mathbf{m} \cdot \nabla \left| \frac{1}{r} \right| = C_m \frac{m \cos \theta}{r^2} \quad (1)$$

dengan mengintegrasikan persamaan (1) dan mengubah beberapa variabel, besarnya potensial magnetik dari semua volume batuan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2)

$$V(\mathbf{r}_0) = -C_m \int \mathbf{M}(\mathbf{r}) \cdot \nabla \left| \frac{1}{r_0 - r} \right| dv \quad (2)$$

$\mathbf{M}(\mathbf{r})$ momen dipol per unit volume dan C_m merupakan konstanta. Jika $\mathbf{M}(\mathbf{r})$ adalah tetap dan memiliki arah yang tetap, maka induksi magnetik dari semua volume batuan dapat ditentukan melalui integrasi yang dapat direpresentasikan dengan persamaan (3):

$$\mathbf{B}(\mathbf{r}_0) = C_m \nabla \int \mathbf{M}(\mathbf{r}) \cdot \nabla \left| \frac{1}{r_0 - r} \right| dV \quad (3)$$

Medan magnet induksi pada persamaan (3) disebut sebagai anomali medan magnet total yang disuperposisikan dengan medan magnet bumi (B_0) di semua titik di permukaan bumi. Dengan demikian, nilai medan magnet total yang terekam dalam alat magnetometer pada suatu titik di permukaan adalah kombinasi medan magnet utama dan anomali medan magnet terukur (B_{r0}), dengan asumsi bahwa medan magnet luar dapat diabaikan (persamaan 4):

$$\mathbf{B}_T = \mathbf{B}_0 + \mathbf{B}_{r0} \quad (4)$$

Namun pada kenyataannya untuk mendapatkan anomali medan magnet total, data medan magnet total yang terukur di setiap titik perlu direduksi terlebih dahulu untuk mendapatkan anomali medan magnet. Reduksi yang perlu dilakukan, diantaranya meliputi koreksi harian (B_D), koreksi topografi (B_{T0}), dan koreksi medan magnetik utama atau IGRF (B_0). Jika anomali magnetik total dinotasikan sebagai B , persamaan koreksi dapat dinyatakan dengan (Stella and David, 2015):

$$\Delta B = B_T - B_D - B_0 \quad (5)$$

METODOLOGI

Survei medan magnet total dilakukan di sekitar air panas desa Terak, kabupaten Bangka Tengah. Pengukuran dilakukan sebanyak 98 yang tersebar dalam 4 lintasan seperti diilustrasikan oleh gambar 4. Pengolahan data, pemodelan dan interpretasi dilakukan di Laboratorium Fisika Universitas Bangka Belitung.



Gambar 4. Sebaran Titik Pengukuran

Akuisisi data dilakukan sebanyak 4 lintasan dengan panjang lintasan ± 3 km sebanyak 98 data dengan spasi 250 m. Akuisisi dilakukan menggunakan *Proton Precession Magnetometer* (PPM) sebanyak 2 buah. 1 PPM digunakan sebagai *base*, dan 1 PPM digunakan sebagai *rover*.

Koreksi Harian

Koreksi harian dilakukan untuk meminimalisir adanya anomali medan magnet harian. Anomali ini berasal osilasi medan magnet di permukaan bumi dengan jangka waktu harian, yang intensitasnya lebih besar di sekitar tengah hari (William Lowrie, 2007). Variasi ini berasal dari arus yang diproduksi oleh partikel bermuatan listrik yang

bergerak melalui medan magnet bumi (Telford *et al.*, 1990). Koreksi harian dilakukan menggunakan persamaan (6) berikut :

$$B_{var} = \frac{T_r/T_n}{T_{n+1}+1-T_n} (B_{n+1} - B_n) \quad (6)$$

B_{var} merupakan anomali medan magnet harian(nT), medan magnet pada *base station* (B_n) dan T_n merupakan waktu pada *base station* dan waktu pada *rover* (T_r).

Koreksi IGRF

Koreksi IGRF dilakukan untuk meminimalisir efek medan magnet bumi terhadap medan magnet yang terukur. Koreksi IGRF dapat dilakukan dengan mereduksi nilai anomali total pada setiap titik terhadap nilai IGRF.

Reduction to Equator (RTE)

Reduksi ke kutub (RTP) mengubah medan magnet dari lintang magnetik di mana medan magnet bumi condong ke medan tersebut di ekuator magnetik di mana medan induksinya vertikal (LUO *et al.*, 2010). Ketika medan magnet bumi miring, anomali magnetik yang disebabkan oleh induksi dihubungkan kembali ke sumbernya secara asimetris, tetapi ketika medan penginduksi bumi vertikal, anomali yang terkait akan langsung berada di atas sumbernya (Li, 2007). Transformasi Fourier diterapkan untuk mentransformasikan RTE dari domain waktu ke dalam bentuk domain frekuensi. Operasi RTE dalam domain bilangan gelombang dinyatakan seperti yang ada dalam persamaan 7.

$$A_p(u, v) = \frac{A_c A_p}{(\sin I + i \cos I \cos (d - \Omega))} \quad (7)$$

$A_p(u, v)$ adalah *Transformasi Fourier* dari medan magnet observasi. $A_c(u, v)$ merupakan *Transformasi Fourier* dari medan magnet vertikal. I dan D masing-masing adalah inklinasi dan deklinasi medan inti; (u, v) masing-masing adalah bilangan gelombang yang sesuai dengan arah (x, y) ; dan $\Omega = \arctan(u/v)$ (LUO *et al.*, 2010).

Upward Continuation (UC)

Kontinuasi ke atas dapat dilakukan dengan melakukan interpolasi ke atas untuk memperkirakan nilai anomali medan magnetik total pada

pengukuran dengan elevasi yang lebih rendah dengan asumsi pengangkatan. Metode ini biasanya menggabungkan pengukuran pada topografi yang berbeda ke topografi darat yang nilainya sama. Hal ini dilakukan untuk meminimalisir tingkat penyebaran anomali medan karena adanya perbedaan topografi sehingga bisa dianalisis dengan lebih sederhana. UC aplikasikan dengan menerapkan persamaan 8 berikut:

$$Z(x, y, z) = \frac{|z|}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{Z(x', y', z')}{(|x - x'|^2 + |y - y'|^2 + |z - z'|^2)^{3/2}} dx' dy' dz' \quad (8)$$

2D Inverse Modelling

Permodelan 2D dilakukan menggunakan *software Zondgm2d* dengan algoritma permodelan kebelakang (*Inverse Modeling*) dengan menerapkan persamaan *smoothness constraint* seperti pada persamaan 9 (Petersburg, 2001):

$$(A^T W^T W A + \mu^T C) \Delta m = A^T W^T f - \mu C^T R C m \quad (9).$$

dengan A^T (Matriks turunan parsial), W^T (Kesalahan pengukuran relatif), R (Operator pemfokusan), μ (Parameter regularisasi), C (Operator smoothing), m (Vektor parameter model), Δf (Residual vektor antara nilai yang diamati dan dihitung).

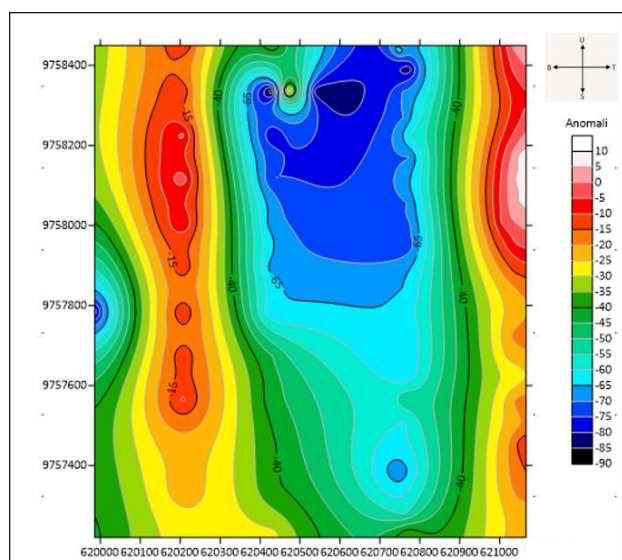
HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam prospeksi magnetik, anomali medan total merepresentasikan proyeksi vektor anomali magnetik pada medan geomagnetik. Anomali magnetik total digunakan untuk menyederhanakan perhitungan pemodelan ke depan dan inversi data magnetik (Yang *et al.*, 2020). Anomali magnetik medan total peka terhadap magnetisasi struktur sumber lokal (Li *et al.*, 2020). Hal ini dapat diaplikasikan untuk daerah penelitian yang tidak terlalu luas. Kontur anomali magnetik total saerah Terak disajikan dalam gambar 5.

Nilai anomali rendah mendominasi bagian utara dan barat daerah penelitian. Anomali ini berkisar antara -90 nT dan -60 nT, dengan pola berwarna biru muda hingga hitam. Anomali rendah diperkirakan disebabkan oleh porositas yang lebih tinggi dari

struktur batuan penyusun, serta zona rekahan dan sesar. Nilai anomali yang rendah juga dikaitkan dengan adanya batuan intrusi Granit Klabat yang berumur Trias Akhir (Putri and Harianja, 2021).

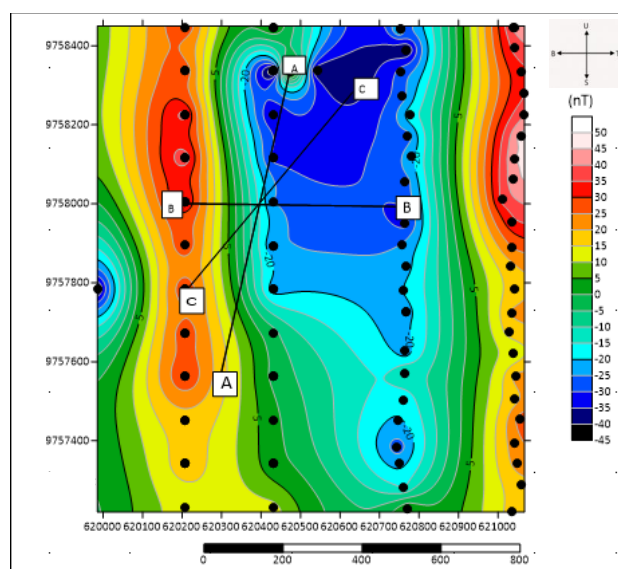
Daerah dengan topografi rendah di daerah penelitian dikelilingi oleh anomali sedang dengan anomali berkisar antara -55 nT hingga -30 nT (daerah dengan warna hijau). Diduga anomali ini berasosiasi dengan keberadaan batuan sedimen seperti batu pasir. Bagian barat dan timur daerah penelitian didominasi oleh daerah dengan anomali tinggi (-30 nT hingga 10 nT). Anomali di daerah ini diinterpretasikan sebagai endapan silikat dari hasil aktivitas hidrotermal yang diilustrasikan oleh warna kuning hingga merah muda (Alawiyah and Kusmita, 2022).



Gambar 5. Anomali Total Daerah panas bumi Terak

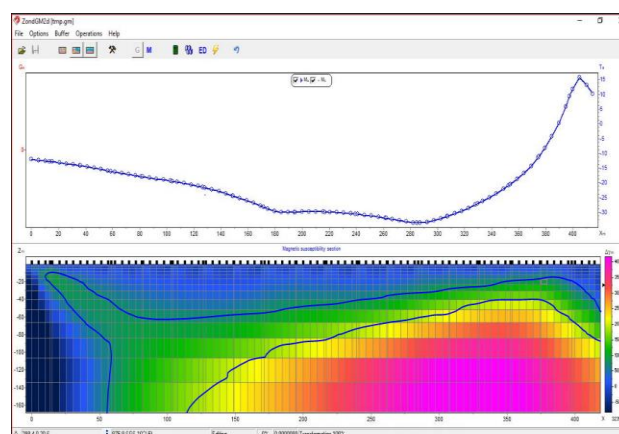
Anomali residual dihasilkan reduksi anomali total terhadap anomali regional. Anomali ini biasanya hanya dipengaruhi oleh batuan-batuan yang bersifat dangkal. Anomali residual diperoleh dengan proses *upward continuation* sebesar 450 m. Anomali residual dapat merepresentasikan lapisan bawah permukaan dengan kedalaman yang cukup dangkal (Afni and Kusmita, 2021). Anomali residual rendah daerah Terak berada pada rentang yaitu -45 hingga -10 nT, anomali sedang berada pada rentang -5 nT hingga 10 nT dan anomaly tinggi pada kesaran 15 nT sampai dengan 50 nT.

Untuk mendapatkan hasil gambaran pola pelapisan bawah permukaan sekaligus nilai suseptibilitas masing-masing batuan pelapisan, maka dilakukan pemodelan 2-D. Pemodelan dilakukan dengan memberikan sayatan pada sebaran anomali magnetik yang diperoleh (gambar 6).



Gambar 6. Sayatan pada kontur anomali magnetik

Sayatan A-A dibuat dari kontur anomali sedang ke anomali tinggi (Utara-Baratdaya), sayatan tersebut diambil sepanjang 420 meter. Model penampang 2D hasil inversi dari sayatan A-A digambarkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Penampang Bawah Permukaan sayatan A-A

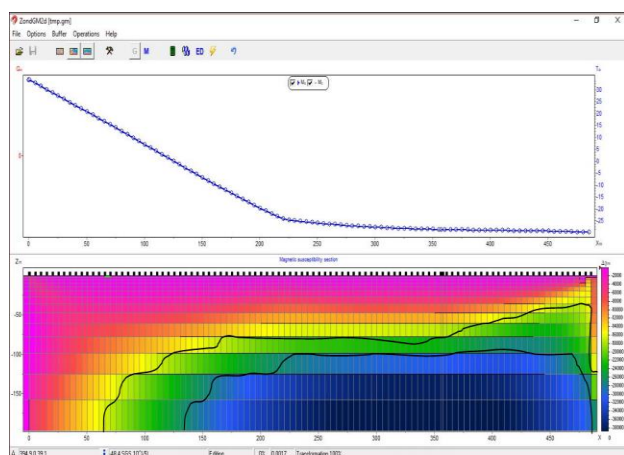
Pada gambar 7 tersebut terdapat 3 kontras warna yang diinterpretasikan sebagai 3 lapisan batuan. Lapisan batuan pertama memiliki nilai suseptibilitas 19×10^3 diinterpretasikan sebagai

batupasir (*sandstone*) pada kedalaman 0 – 40 mdpl (warna biru) tersebar di sepanjang lintasan sayatan. Lapisan batuan kedua memiliki nilai suseptibilitas 49×10^3 yang ditandai dengan warna hijau dan diinterpretasikan sebagai lapisan batuan granit tersebar pada kedalaman 40 – 80 mdpl tersebar sepanjang 40 – 460 m dari Utara ke Baratdaya. Lapisan batuan ketiga memiliki nilai suseptibilitas 118.5×10^3 yang ditandai dengan warna kuning hingga merah muda dan diinterpretasikan sebagai batuan diorit tersebar pada kedalaman 110 -160 mdpl tersebar sepanjang 140 – 460 m dari arah Utara ke Baratdaya. Lapisan penyusun bawah permukaan tungkan dalam Tabel 1.

Tabel 1 Lapisan bawah permukaan Sayatan A-A

Nama Lapisan	Nilai Suseptibilitas (SI)	Struktur Batuan
Lapisan Pertama	19×10^3	<i>sandstone</i>
Lapisan Kedua	49×10^3	Granit
Lapisan ketiga	118.5×10^3	Diorit

Sayatan B-B dibuat dari kontur anomali sedang ke anomali tinggi (Barat-Timur), sayatan tersebut diambil sepanjang 550 meter. Model penampang 2D hasil inversi dari sayatan B-B digambarkan pada gambar 8.



Gambar 8. Penampang Bawah Permukaan sayatan B-B

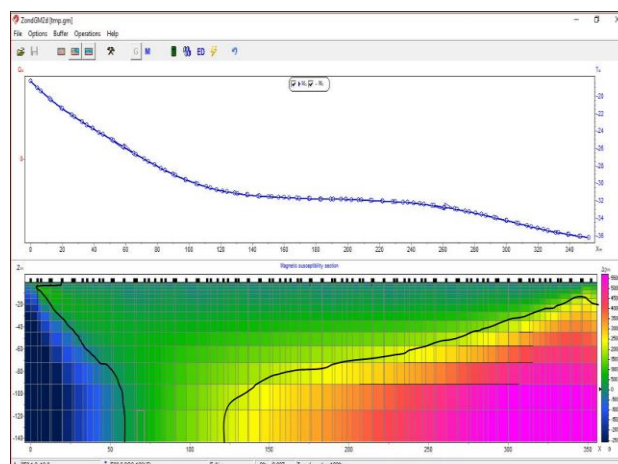
Lapisan pertama memiliki nilai suseptibilitas 106×10^3 diinterpretasikan sebagai batuan diorit (warna merah muda hingga kuning) terbentang sepanjang lintasan sayatan pada kedalaman 0 – 80 mdpl. Lapisan kedua memiliki nilai suseptibilitas 42×10^3 yang ditandai dengan warna hijau dan diinterpretasikan sebagai batuan granit pada kedalaman 80 – 100 mdpl tersebar sepanjang 75 – 550 m dari arah Barat-Timur. Lapisan ketiga memiliki

nilai suseptibilitas 1×10^4 yang ditandai dengan warna biru dan diinterpretasikan sebagai batu pasir (*sandstone*) pada kedalaman 100 – 200 mdpl tersebar sepanjang 150 – 480 m dari arah Barat-Timur. Jenis lapisan bawah permukaan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Lapisan bawah permukaan Sayatan B-B

Nama Lapisan	Nilai Suseptibilitas (SI)	Struktur Batuan
Lapisan Pertama	106×10^3	Diorit
Lapisan Kedua	42×10^3	Granit
Lapisan ketiga	1×10^4	<i>sandstone</i>

Sayatan C-C dibuat dari kontur anomali sedang ke anomali tinggi (Timurlaut - Barat), sayatan tersebut diambil sepanjang 360 meter. Model penampang 2D hasil inversi dari sayatan C-C digambarkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Penampang Bawah Permukaan sayatan C-C

Lapisan pertama memiliki nilai suseptibilitas 17.5×10^3 yang ditandai dengan warna biru dan diinterpretasikan sebagai batuan Batupasir (*sandstone*) pada kedalaman 0 – 140 mdpl tersebar sepanjang 0 -50 m berada di daerah Timurlaut. Lapisan kedua memiliki nilai suseptibilitas 43×10^3 yang ditandai dengan warna hijau dan diinterpretasikan sebagai batuan granit pada kedalaman 0 – 80 mdpl tersebar sepanjang 60 – 360 m dari Timurlaut-Barat. Lapisan ketiga memiliki nilai suseptibilitas 117×10^3 (merah muda hingga kuning) dan diinterpretasikan sebagai batuan diorit pada kedalaman 20 – 140 mdpl tersebar sepanjang 120 - 360 m dari arah Timurlaut-Barat. Lapisan batuan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Lapisan bawah permukaan pada Sayatan C-C

Nama Lapisan	Nilai Suseptibilitas (SI)	Struktur Batuan
Lapisan Pertama	17.5×10^3	sandstone
Lapisan Kedua	43×10^3	Granit
Lapisan ketiga	117×10^3	Diorit

Apabila merujuk kepada sistem penyusupan, batuan penudung (*caprock*) dengan suseptibilitas sebesar $1 \times 10^4 - 19 \times 10^3$ pada kedalaman 0 -200 mdpl tersebar sepanjang 0 – 550 m diperkirakan merupakan batu pasir. Batuan reservoir memiliki nilai suseptibilitas $42 \times 10^3 - 49 \times 10^3$ yang berada pada kedalaman 40 – 140 mdpl tersebar sepanjang 40 – 550 m yang diinterpretasikan sebagai batuan granit. Sementara batuan dasar (*base rock*) berupa batuan diorit memiliki nilai suseptibilitas $106 \times 10^3 - 118.5 \times 10^3$ yang berada pada kedalaman 20 - 200 mdpl tersebar sepanjang 120 – 550 m.

PENUTUP

Simpulan dan Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa suseptibilitas sistem panas bumi daerah Terak terdiri dari bahwa sistem panas bumi non-vulkanik daerah Terak terdiri dari reservoir ($42 \times 10^3 - 49 \times 10^3$), batuan penudung ($1 \times 10^4 - 19 \times 10^3$), dan batuan dasar ($106 \times 10^3 - 118.5 \times 10^3$). Batuan reservoir tersebar pada kedalaman 30 hingga 125 mdpl di area barat laut daerah penelitian. Beberapa batuan reservoir tersingkap di permukaan hingga kedalaman 80 m.

Dibutuhkan studi lebih lanjut terkait penelitian serupa dengan metode pemodelan yang berbeda. Dapat juga diterapkan berbagai metode geofisika, seperti metode gravitasi maupun metode resistivitas dan seismik.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Universitas Bangka Belitung yang telah memfasilitasi penelitian ini melalui pendanaan PDTJ 2020 dari Lembaga Penelitian dan Pengabdian (LPPM UBB).

DAFTAR PUSTAKA

- Afni, G.N. and Kusmita, T. (2021), "Identifikasi Struktur Tektonik Sistem Geothermal Non-Vulkanik Daerah Nyelanding dan Permis Bangka Selatan Menggunakan Metode Gravity", *JRFI*, Vol. 2 No. 1, pp. 1–6.
- Alawiyah, U. and Kusmita, T. (2022), "Sebaran Batuan Daerah Panas bumi Terak Bangka Tengah berdasarkan Anomali Magnetik", *Jurnal Riset Fisika Indonesia*, Vol. 3 No. 1, pp. 12–18, doi: 10.33019/jrfi.v3i1.3356.
- Al-Khafaji, W. (2021), *Magnetic Geophysical Method Course Lectures for Undergraduate Students*.
- Anderson, D.N. and Lund, J.W. (1979), *Direct Utilization of Geothermal Energy: A Technical Handbook*, United States, doi: 10.2172/6707209.
- Çağlar, I. and Demірörer, M. (1999), "Geothermal exploration using geoelectric methods in Kestanbol, Turkey", *Geothermics*, Vol. 28 No. 6, pp. 803–819, doi: [https://doi.org/10.1016/S0375-6505\(99\)00044-9](https://doi.org/10.1016/S0375-6505(99)00044-9).
- EBTKE ESDM and Badan Geologi. (2017), *Potensi Panas Bumi Indonesia Jilid 1 Penyusun*.
- Firdaus, R., Oktaviyani, S., Hardianti, P., Kusmita, T. and 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*, Vol. 5 No. 2, pp. 539–543.
- Franto, F. (2015), "Interpretasi Struktur Geologi Regional Pulau Bangka Berdasarkan Citra Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) (Interpretation Structure of Regional Geology on Bangka Island with Shuttle Radar Topography Mission (SRTM))", Vol. 3, pp. 10–20.
- Gusnia, E. and Kusmita, T. (2023), "Identifikasi Batuan Penyusun Sistem Panas Bumi Non-Vulkanik Bangka Tengah Berdasarkan Penampang 2d Anomali Gaya Berat", *Journal Online Of Physics*, Vol. 8 No. 3, pp. 8–13, doi: 10.22437/jop.v8i3.27080.
- Gusnia, E., Kusmita, T. and Indriawati, A. (2022), "Analisis Anomali Gravity Daerah Panas Bumi Non-Vulkanik Di Bangka Tengah (Studi Kasus Panas Bumi Terak dan Keretak)", *JRFI*, Vol. 2 No. 2, pp. 1–7.
- Kanakiya, S., Turner, G.M., Rowe, M.C., Adam, L. and Lindsay, J.M. (2021), "High Remanent Magnetization Measured in Hydrothermally Altered Lavas", *Geophysical Research Letters*, John

- Wiley and Sons Inc, 16 December, doi: 10.1029/2021GL095732.
- Kusmita, T., Adhyaksa, Y.A., Nasri, M. and Joni, W. (2022), "Resistivity analysis of geothermal system at cubadak village west sumatera using magnetotelluric method", *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 1108, IOP Publishing, p. 12066, doi: 10.1088/1755-1315/1108/1/012066.
- Kusmita, T., Fath, A.M. and Joni, W. (2020), "Magnetotelluric method application for conceptual modelling of geothermal system Pariangan West Sumatera", *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 599, doi: 10.1088/1755-1315/599/1/012038.
- Li, D., Liang, Q., Du, J., Sun, S., Zhang, Y. and Chen, C. (2020), "Transforming Total-Field Magnetic Anomalies Into Three Components Using Dual-Layer Equivalent Sources", *Geophysical Research Letters*, Vol. 47 No. 3, doi: 10.1029/2019GL084607.
- Li, X. (2007), "Magnetic Reduction-to-the-pole At Low Latitudes: Practical Considerations", Vol. All Days.
- LUO, Y., XUE, D.-J. and WANG, M. (2010), "Reduction to the Pole at the Geomagnetic Equator", *Chinese Journal of Geophysics*, Vol. 53 No. 6, pp. 1082–1089, doi: 10.1002/cjg2.1578.
- Manga, A. and Djamal, B. (1990), "Peta Geologi Lembar Bangka Utara, Sumatra", Badan Geologi, Bandung.
- Mariita, N.O. (2007), *The Magnetic Method*, Kenya.
- Purwoto, E., Rezky, Y. and Simarmata, R. (2013), *Survei Aliran Panas (Heat Flow) Daerah Panas Bumi Permis Kabupaten Bangka Selatan, Provinsi Bangka Belitung*, Bandung.
- Putri, B.D.A. and Harianja, A.K. (2021), "Identifikasi Prospek Panas Bumi Radiogenik Menggunakan Landsat-8 Dan Gravitasi Di Daerah Permis", *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*, Vol. 7 No. 1, pp. 52–70, doi: 10.23960/jge.v7i1.115.
- Soengkono, S. (2016), "Airborne Magnetic Surveys to Investigate High Temperature Geothermal Reservoirs", in Ismail, B.I. (Ed.), *Advances in Geothermal Energy*, IntechOpen, Rijeka, doi: 10.5772/61651.
- Stella, A. and David, F. (2015), "Regional Magnetic Field Trend and Depth to Magnetic Source Determination from Aeromagnetic Data of Maijuju Area, North Central, Nigeria", *Physical Science International Journal*, Sciencedomain International, Vol. 8 No. 3, pp. 1–13, doi: 10.9734/psij/2015/21652.
- Telford, W., Gerald, L. and Sheriff, R.E. (1990), *Applied Geophysics*, 2nd ed., Cambridge University Press, United Kingdom.
- William Lowrie. (2007), *Fundamentals of Geophysics*, 2nd ed., Cambridge University Press, Cambridge .
- Yang, J., Liu, S. and Hu, X. (2020), "Inversion of high-amplitude magnetic total field anomaly: an application to the Mengku iron-ore deposit, northwest China", *Scientific Reports*, Nature Research, Vol. 10 No. 1, doi: 10.1038/s41598-020-68494-1.