

Interpretasi Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Analisis Anomali Magnetik Sebagai Manifestasi Panas Bumi di Danau Linting Deli Serdang

Yusril Padli Sitompul, Ratni Sirait*), Ridwan Yusuf Lubis
Universitas Islam Negeri Sumatera Utara

Email korespondensi : sirait.ratni@uinsu.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.20527/flux.v21i2.18592>

Submitted: 22nd Januari, 2024; Accepted: 27th Juni, 2024

ABSTRAK- Penelitian tentang jenis litologi bawah permukaan daerah panas bumi di Danau Linting Deli Serdang serta struktur geologi dan jenis batuan yang berfungsi sebagai reservoir dalam manifestasi panas bumi telah dilakukan. Pengolahan data menggunakan metode geomagnetik dengan alat *Proton Precision Magnetometer* (PPM) model *GEM Systems* tipe *GSM-19T*, dimulai dengan koreksi IGRF dan koreksi harian serta interpretasi kualitatif dan kuantitatif. Berdasarkan pemodelan 2D litologi bawah permukaan model penampang reduksi ke kutub lintasan A-A' didominasi oleh batuan dasit dengan suseptibilitas 0,003 cgs, batu andesit memiliki suseptibilitas 0,006 cgs, dan batu piroklastik memiliki suseptibilitas 0,001 cgs. Adapun model penampang reduksi ke kutub lintasan B-B' didominasi oleh batuan piroklastik memiliki suseptibilitas 0,001 cgs, batu dasit memiliki suseptibilitas 0,003 cgs, dan batu andesit memiliki suseptibilitas 0,006 cgs. Struktur geologi berdasarkan model penampang reduksi ke kutub lintasan A-A' dan B-B' ditandai dengan adanya grafik naik turun dari intensitas magnet positif sampai dengan intensitas magnet negatif diperkirakan merupakan sesar normal dan batuan yang berfungsi sebagai reservoir yang baik adalah batuan dasit, karena batuan dasit memiliki porositas dan permeabilitas yang baik, sehingga panas bumi dapat terpanaskan dan terakumulasi dengan baik, hal ini didasarkan karena memiliki nilai anomali rendah dengan nilai anomali -44 nT. Batuan ini merupakan jenis batuan beku vulkanik penyusun zona reservoir panas bumi.

KATA KUNCI: Geomagnetik, Litologi, Struktur Geologi, Suseptibilitas

ABSTRACT- Research has been carried out with the aim of determining the type of subsurface lithology of the geothermal area in Lake Linting Deli Serdang, to determine the geological structure, as well as the type of rock that functions as a reservoir for geothermal manifestations. Data processing uses geomagnetic methods with a Proton Precision Magnetometer (PPM) model GEM Systems type GSM-19T, starting with IGRF corrections and daily corrections as well as qualitative and quantitative interpretation. Based on 2D modeling of subsurface lithology, the reduction cross-section model to the poles of the A-A' path is dominated by dacite rock with a susceptibility of 0.003 cgs, andesite rock has a susceptibility of 0.006 cgs, and pyroclastic rock has a susceptibility of 0.001 cgs. The reduction cross-section model to the poles of the B-B' path is dominated by pyroclastic rocks with a susceptibility of 0.001 cgs, dacite rocks with a susceptibility of 0.003 cgs, and andesite rocks with a susceptibility of 0.006 cgs. The geological structure based on the pole-reduction cross-section model of the A-A' and B-B' trajectories is characterized by a graph of ups and downs from positive magnetic intensity to negative magnetic intensity, which is estimated to be a normal fault and the rock that functions as a good reservoir is dacite rock, because Dacite rock has good porosity and permeability, so that geothermal heat can be heated and accumulated well, this is based on the fact that it has a low anomaly value with an anomaly value of -44 nT. This rock is a type of volcanic igneous rock that makes up the geothermal reservoir zone.

KEYWORDS: Geomagnetic, Lithology, Geological Structure, Susceptibility

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki energi panas bumi

sekitar 27.500 MW, yang berada di Jawa, Maluku, Nusa Tenggara, Papua, dan

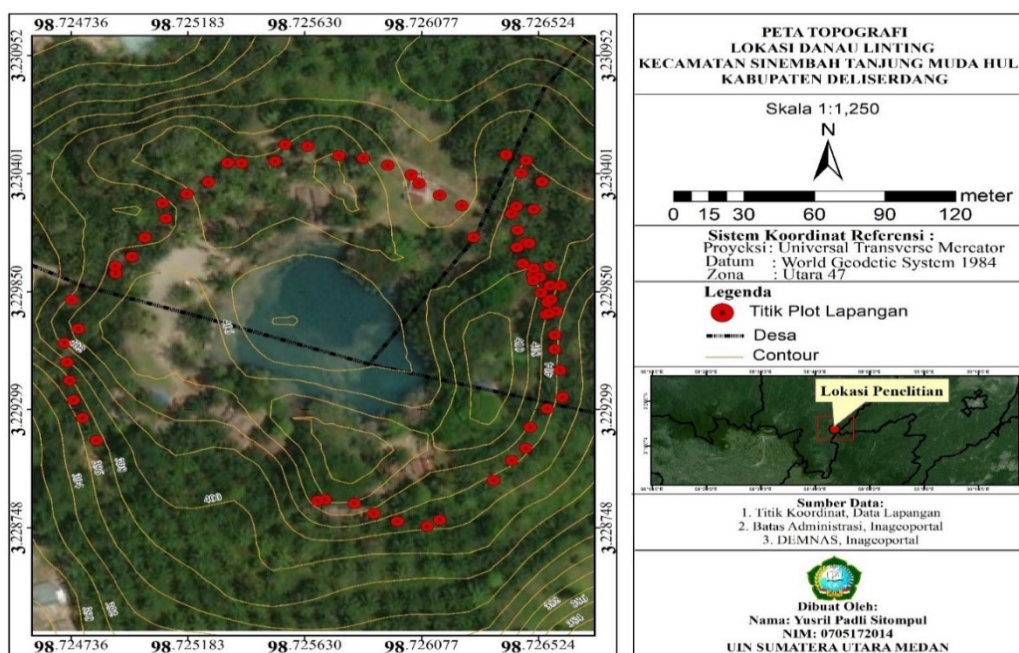
Sumatera. Potensi panas bumi terbesar berada pada Provinsi Sumatera Utara dengan potensi panas mencapai 1.857 MW (Kadri & Sudarma, 2019). Selain daerah tersebut, Deli Serdang juga termasuk daerah yang memiliki potensi panas bumi di pulau Sumatera yang berada di Daerah Danau Linting (Kadri & Sudarma, 2019). Berdasarkan informasi geologi daerah tersebut diduga terdapat sesar sebagai tempat yang mengakibatkan keluarnya fluida panas bumi sehingga memunculkan manifestasi di permukaan berupa mata air panas di Kawasan Danau Linting (N.R., Cameron dkk., 1982)

Metode yang digunakan yaitu pada penentuan nilai suseptibilitas batuan yaitu metode geomagnetik. Pada penelitian ini, penentuan manifestasi panas bumi di lokasi penelitian berdasarkan nilai anomali magnetik yang didapat dari proses koreksi variasi harian dan koreksi igrf untuk membuat peta kontur dengan menggunakan *software Oasis Montaj* dan penampang anomali yang bertujuan Untuk menentukan jenis litologi bawah permukaan, untuk mengetahui struktur geologi dan untuk mengetahui jenis batuan yang memiliki fungsi sebagai reservoir dalam manifestasi panas bumi di Kawasan Danau Linting Kabupaten Deli Serdang dengan

menggunakan metode geomagnetik. Penentuan profil bawah permukaan bumi yang mencakup karakteristik magnetik bumi merupakan metode geomagnetik. Metode magnetik bekerja dengan memanfaatkan sifat kemagnetan bumi agar dapat memperoleh gambaran kontur dari distribusi suseptibilitas batuan dibawah permukaan bumi (Rusita dkk., 2016).

Kemampuan suatu batuan untuk dapat termagnetisasi disebut nilai suseptibilitas. Setiap batuan memiliki nilai suseptibilitas yang berbeda dalam menentukan jenis batuan (Fatimah, 2018). Batuan yang merupakan manifestasi panas bumi adalah Batuan dengan nilai anomali negatif yang artinya memiliki sifat diamagnetik karena memiliki nilai suseptibilitas rendah. Sedangkan batuan yang tidak merupakan manifestasi panas bumi adalah batuan dengan nilai anomali positif yang artinya memiliki sifat ferromagnetik karena memiliki nilai suseptibilitas tinggi (Afandi dkk., 2015)

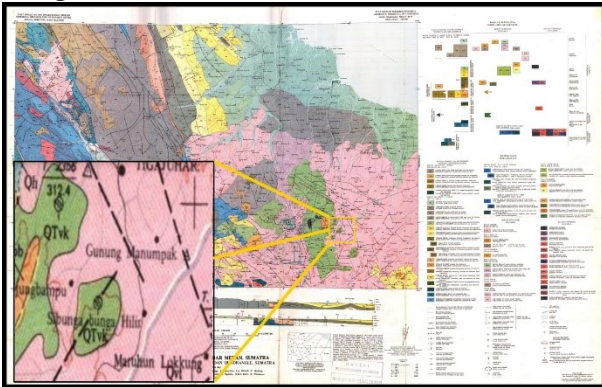
Berdasarkan (Gambar 2) Daerah Danau Linting berada di Sibunga bunga Hilir, diduga adanya sesar, dan memiliki formasi batuan QTvk (Satuan Takur- Takur) yang terdiri dari batuan andesit, dasit, piroklastik.



Gambar 1. Peta Topografi Lokasi Penelitian

METODE PENELITIAN

Pengambilan Data



Gambar 2. Peta Gelologi Lembar Medan, Sumatera (N.R., Cameron dkk., 1982)

Lokasi Penelitian berada di daerah *geothermal* Kawasan Danau Linting, Kabupaten Deli Serdang (Gambar 2). Waktu penelitian dilaksanakan pada bulan September 2022. Pengambilan data dilakukan pada 70 titik pengukuran yang tersebar pada daerah penelitian (Gambar 1), serta dilakukan dengan mengelilingi danau yang bergantung pada target dan kondisi lapangan. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah: *Proton Precision Magnetometer* (PPM) model *GEM Systems* tipe *GSM-19T*, aplikasi *GPSTest* dan meteran. Teknik Pengumpulan data di lapangan dilakukan pengukuran serta pengolahan data dengan menggunakan metode geomagnet dan *software Oasis Montaj*.

Pengolahan Data

Koreksi harian

Pengolahan data ini dimulai dengan dilakukannya akuisisi magnetik di lapangan berupa waktu, ketinggian, *latitude*, *longitude*, dan nilai magnetik. Selanjutnya dilakukan koreksi diurnal yaitu koreksi data magnetik dilakukan karena terdapat pengaruh medan magnet luar bumi (aktivitas matahari) dan perbedaan waktu yang menyebabkan terjadinya penyimpangan data magnetik. Persamaan 1 adalah koreksi variasi harian (*diurnal Correction*).

$$\Delta H_{\text{harian}} = \Delta H - H_{\text{obs}} \quad (1)$$

dimana, ΔH_{harian} merupakan koreksi harian, ΔH merupakan medan magnet dan H_{obs} merupakan medan magnet terukur (Sirait, 2021)

Koreksi IGRF

Nilai medan magnet utama bumi, medan magnet luar akibat aktivitas matahari dan medan magnet anomali merupakan nilai yang terukur pada daerah. Nilai IGRF didapatkan dengan mengurangi hasil koreksi IGRF dengan nilai medan magnet total. Secara matematis dapat dihitung dengan Pers. 2.

$$\Delta H = H_D - H_0 \quad (2)$$

$$H_D = H_{\text{obs}} \pm V_{\text{harian}}$$

dengan ΔH adalah anomali medan magnet total, H_D adalah medan magnet akibat pengaruh luar, H adalah medan magnet terukur, H_0 adalah medan magnet utama bumi, dan V_D adalah koreksi harian (Juanita, 2016)

Anomali Magnetik

Nilai anomali selanjutnya diinterpretasikan secara kualitatif. Interpretasi kualitatif didasarkan pada analisis peta kontur anomali magnetik hasil pengolahan data awal dan butterworth filter dilakukan untuk mendapatkan peta kontur anomali regional dan anomali residual. Pada penelitian ini filter yang digunakan yaitu *filter bandpass*, karena lebih akurat dalam membatasi anomali daripada *filter highpas* dan *filter lowpass*. Salah satu metode desain filter klasik yang paling banyak digunakan adalah *Butterworth filter*. Menurut penelitian (Laghari dkk., 2014), filter yang umum digunakan adalah elliptic dan Chebyshev. Filter tersebut dapat dirumuskan sistem matematis Pers. 3.

$$H_B(j\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^{2N}}} \quad (3)$$

dengan ω adalah frekuensi sudut, ω_c adalah frekuensi pojok, N adalah orde filter, dan j adalah $\sqrt{-1}$

Anomali Reduksi ke Kutub

Tahap selanjutnya adalah melakukan reduksi ke kutub. Reduksi ke kutub dilakukan dengan menghilangkan pengaruh sudut inklinasi magnetik dengan memfilter hasil pengolahan data (Yudianto dan Agus Setyawan, 2014).

Pemodelan 2-Dimensi

Setelah dilakukan reduksi ke kutub maka akan lebih mudah untuk melakukan modeling terhadap model forward 2- Dimensi dibawah

permukaan dengan melakukan *slicing* di Daerah Danau Linting Kabupaten Deli Serdang. Penampang anomali Reduksi ke kutub lintasan A-A' dan penampang anomali

reduksi ke kutub lintasan B-B', nilai suseptibilitas batuan harus sesuai dengan rentang nilai suseptibilitas pada (Tabel 1).

Tabel 1. Nilai Suseptibilitas beberapa jenis batuan (Zaki dkk., 2017)

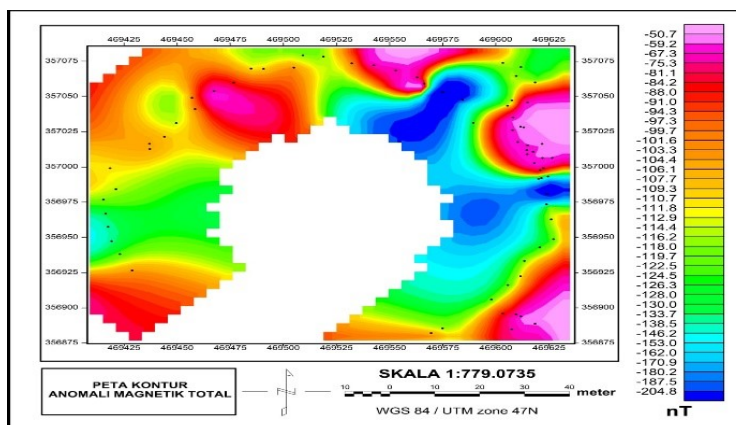
Lithology	# of Samples	Range (cgs)	Average Cgs	Average μcgs	Average SI
Basic Igneous	78	0,000044 – 0,009711	0,002596	2,596	0,0326
Acidic Igneous	58	0,000003 – 0,006527	0,0006527	647	0,00813
Metamorphic	61	0 – 0,005824	0,000349	349	0,00439
Shale	137	0,000005 – 0,001478	0,000052	52	0,00065
Shandtone	230	0 – 0,001665	0,000032	32	0,00040
Limestone	66	0,000002 – 0,000280	0,000023	23	0,00028
Dolomite	66	0 – 0,000075	0,000008	8	0,00010

HASIL DAN PEMBAHASAN

Anomali Medan Magnet Total

Peta anomali medan magnet total (Gambar 3) merupakan campuran antara medan magnet bersifat regional dan residual sehingga perlu dilakukan pemisahan anomali

berupa anomali regional dan anomali residual serta dilakukan reduksi ke kutub untuk lebih mudah dalam pembuatan penampang anomali reduksi ke kutub lintasan A-A' dan penampang anomali reduksi ke kutub lintasan B-B'.



Gambar 3. Peta Kontur Anomali Magnetik Total

Gambar 3 menunjukkan nilai anomali magnet -204,8 nT sampai -50,7 nT merupakan anomali magnetik bersifat diamagnetik karena memiliki nilai anomali negatif atau kecil.

Pada peta kontur anomali magnetik total terdapat perbedaan warna pada setiap kontur yang dapat dikelompokkan menjadi: nilai anomali -204,8 nT sampai -112,9 nT dikategorikan nilai anomali rendah dengan warna pada peta kontur (Gambar 3) berwarna biru sampai hijau, anomali magnetik -111,8 nT sampai -94,3 nT dikategorikan nilai anomali sedang dengan warna pada peta kontur

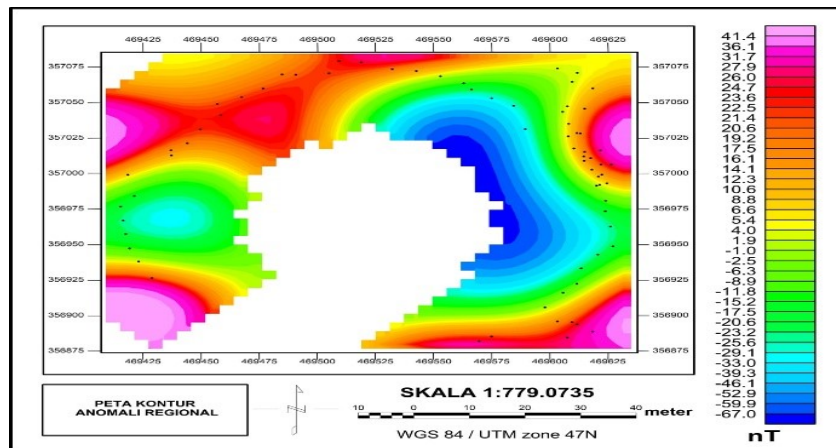
berwarna kuning sampai jingga dengan, dan nilai anomali -91,0 nT sampai -50,7 nT dikategorikan anomali tinggi dengan warna pada peta kontur berwarna merah hingga merah muda.

Anomali Regional dan Residual

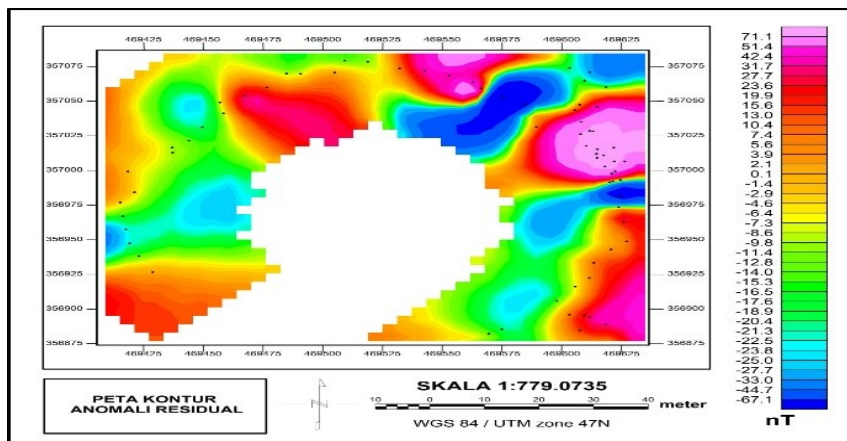
Anomali Regional di dapatkan dari dilakukannya proses *Butterworth filter* dan filter yang digunakan berupa *filter bandpass* karena lebih akurat untuk membatasi anomali daripada *filter lowpass* dan *filter highpass*. Gambar 4. Menunjukkan nilai anomali

regional yaitu -67,0 nT sampai 41,4 nT. Setelah dilakukan substraksi pada peta anomali

regional, kita mendapatkan peta anomali residual (Gambar 5).



Gambar 4. Peta Kontur Anomali Regional

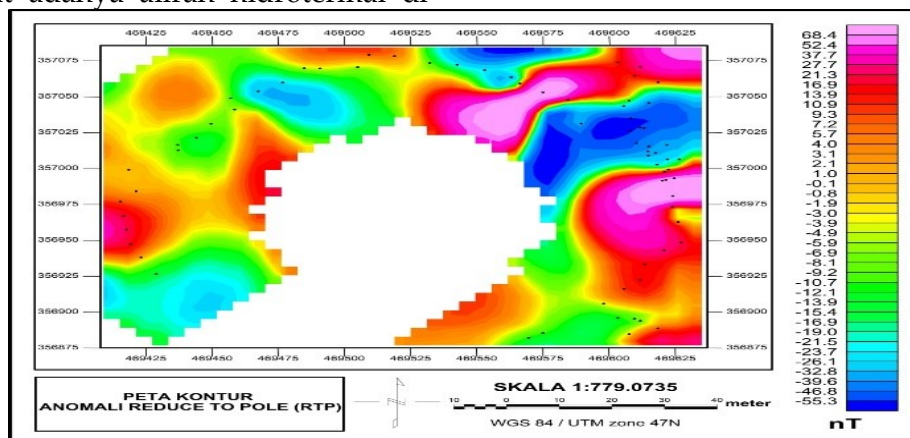


Gambar 5. Peta Kontur Anomali Residual

Anomali Reduksi ke Kutub

Nilai anomali magnetik di daerah penelitian berkisar -55,3 – 68,4 nT. Nilai anomali reduksi ke kutub yang terendah yaitu -55,3 – (-21,5) nT), berasosisasi dengan zona alterasi akibat adanya aliran hidrotermal di

bawah permukaan dan anomali tinggi berkisar 10,9 – 68,4 nT yang tersebar hampir di seluruh daerah penelitian berasosisasi dengan zona intrusi batuan beku atau zona mineralisasi (Gambar 6).

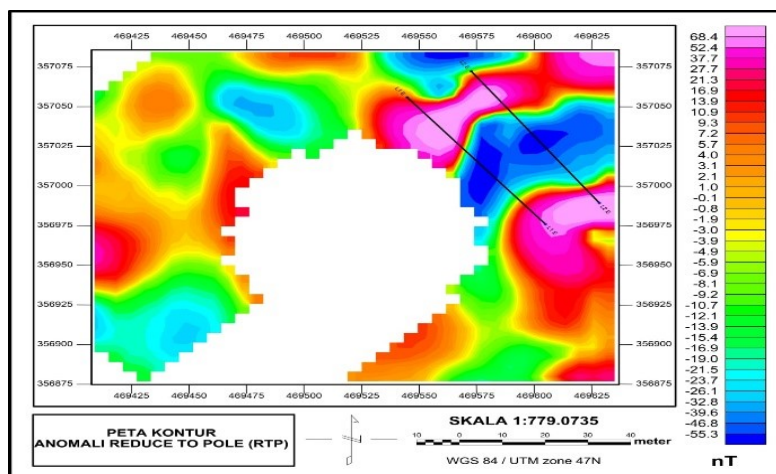


Gambar 6. Peta Kontur Anomali Reduksi ke Kutub

Peta Sayatan Anomali Reduksi ke Kutub A-A' dan B-B'

Berdasarkan peta anomali reduksi ke kutub yang disayat berupa sayatan anomali reduksi ke kutub A-A' dan B-B' menggunakan *software Gm-Sys Oasis Montaj*, dimana

parameter yang dimasukkan yaitu nilai IGRF, inklinasi dan deklinasi. Harga inklinasi dan deklinasi lokasi penelitian ini berturut-turut adalah -9,294 dan -0,412297 dan harga IGRF lokasi penelitian adalah 42102,61 nT.



Gambar 7. Peta Sayatan Anomali Reduksi ke Kutub Lintasan A-A' dan B-B'

Terlihat pada (Gambar 7) dilakukan sayatan untuk melihat litologi bawah permukaan, sayatan dilakukan pada peta reduksi ke kutub dengan arah sayatan dimulai dari timur sampai timur laut dan dipastikan menyayat klosur positif dan klosur negatif. Peta kontur hasil pengolahan data menggunakan Aplikasi Oasis Montaj, terdapat nilai anomali berwarna putih dikarenakan pada saat melakukan penelitian dilapangan tidak melakukan pengukuran di daerah tersebut

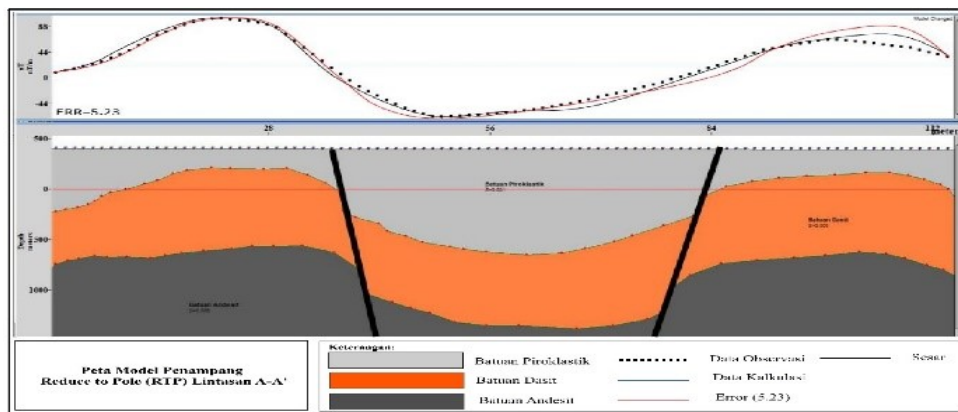
Proses pembuatan model penampang anomali reduksi ke kutub A-A' dan anomali reduksi ke kutub B-B' dilakukan dengan metode *trial and error* (coba-coba) dengan cara mengubah variasi nilai suseptibilitas, kedalaman dan ketebalan model batuan yang dibuat sampai sebanding dengan kurva anomali magnetik dan kurva hasil perhitungan model, oleh karena dalam prosesnya harus diliterasi sehingga didapatkan *error* (ralat) yang terkecil. Jika nilai *error* yang didapatkan bernilai besar, tingkat keakuratan menjadi

lebih kecil. Begitu juga sebaliknya.

Pemodelan Lintasan A-A'

Pada pemodelan anomali reduksi ke kutub lintasan A-A' mempunyai kedalaman ± 1900 m, dengan dilakukan sayatan sepanjang ± 114 m, sayatan melintasi batuan andesit, dasit, piroklastik serta beberapa variasi nilai anomali magnetik hasil reduksi ke kutub adalah -66 nT sampai 110 nT.

Berdasarkan (Gambar 8) didapatkan nilai suseptibilitas batuan andesit adalah 0,006 cgs dan batuan dasit dengan suseptibilitas 0,003 cgs dimana sesuai dengan rentang suseptibilitas pada (Tabel 1) yaitu 0,000044 – 0,009711 cgs merupakan *basic igneus* Sedangkan batuan piroklastik dengan suseptibilitas 0,001 cgs merupakan *acidic igneous* dengan rentang suseptibilitas 0,000003 – 0,006527 cgs. Terlihat pada (Gambar 8) Penampang reduksi ke kutub lintasan A-A' didominasi oleh batuan dasit dengan suseptibilitas 0,003 cgs, batuan andesit memiliki suseptibilitas 0,006 cgs, dan batuan piroklastik memiliki suseptibilitas 0,001 cgs.



Gambar 8. Peta Model Penampang Reduksi ke Kutub Lintasan A-A'

Pada pemodelan lintasan A-A' merupakan hasil dari sayatan yang terdapat pada (Gambar 7), pada hasil pemodelan 2D secara visual terdapat 3 batuan yang berada di bawah permukaan Danau Linting, lapisan batuan piroklastik dekat permukaan yang berada di kedalaman ± 1150 m. Lapisan penudng yang memiliki permeabilitas rendah adalah batuan piroklastik (Suci & Putra, 2021) dan struktur ini juga dapat menahan keluarnya fluida panas bumi ke permukaan dan diindikasikan sebagai lapisan batuan penudung (*caprock*).

Lapisan kedua terdapat batuan dasit. Batuan dasit memiliki porositas dan permeabilitas yang baik, sehingga panas bumi dapat terpanaskan dan terakumulasi dengan baik, hal ini didasarkan karena memiliki nilai anomali rendah dengan nilai anomali -44 nT. Batuan beku vulkanik pada penelitian ini yang menjadi reservoir panas bumi adalah batuan dasit (Awaliyatun & Hutahean, 2015).

Lapisan reservoir ini berada di kedalaman $\pm 200 - 1800$ m. Terjadi penurunan nilai susceptibilitas magnetik pada struktur ini yang mengakibatkan adanya indikator reservoir panas bumi (Heningtyas dkk., 2017). Lapisan ketiga terdapat batuan andesit yang berperan sebagai *heatsource* atau batuan pemanas yang memanaskan fluida yang berada di dibawah batuan reservoir (Gunawan et al., 2022)

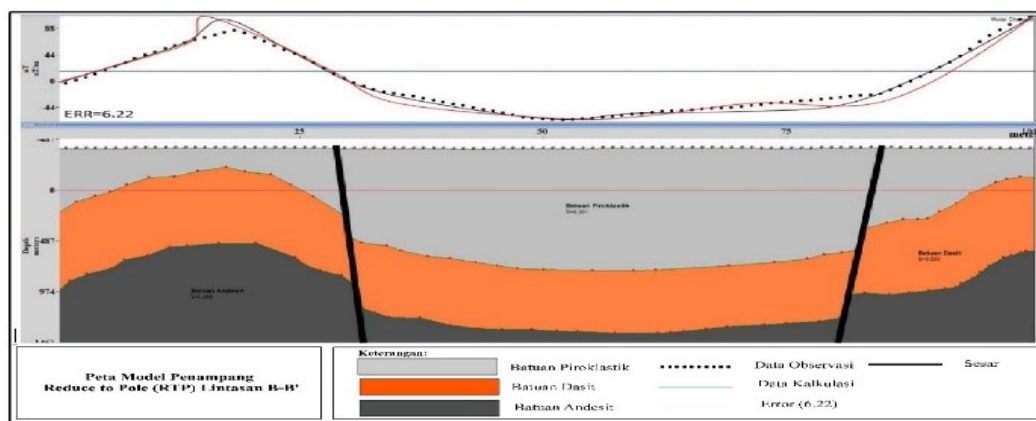
Panas bumi di Danau Linting terdapat struktur geologi berupa sesar sebagai tempat yang mengakibatkan di daerah penelitian mengeluarkan fluida panas bumi yang

memunculkan manifestasi di permukaan berupa mata air panas (N.R., Cameron dkk., 1982). Zona permeabel adalah komponen penting dalam menunjukkan keberadaan sumber panas dan berpotensi untuk dieksplorasi. Sesar yang terdapat di lokasi penelitian ditandai dengan adanya kurva grafik naik turun dari intensitas magnet positif sampai dengan intensitas magnet negatif diperkirakan merupakan sesar normal (Gambar 8).

Pemodelan Lintasan B-B'

Pemodelan anomali magnet reduksi ke kutub pada lintasan B-B' mempunyai kedalaman ± 1887 m, dengan dilakukan sayatan sepanjang ± 100 sayatan melintasi batuan andesit, dasit, dan piroklastik, serta beberapa variasi nilai anomali magnetik hasil reduksi ke kutub adalah -66 nT sampai 110 nT.

Berdasarkan (Gambar 9) didapatkan nilai susceptibilitas batuan andesit adalah $0,006$ cgs dan batuan dasit dengan susceptibilitas $0,003$ cgs dimana sesuai dengan rentang susceptibilitas pada (Tabel 1) yaitu $0,000044 - 0,009711$ cgs merupakan *basic igneus* Sedangkan batuan piroklastik dengan susceptibilitas $0,001$ cgs merupakan *acidic igneous* dengan rentang susceptibilitas $0,000003 - 0,006527$ cgs. Terlihat pada (Gambar 9) Penampang reduksi ke kutub lintasan B-B' didominasi oleh batuan piroklastik dengan susceptibilitas $0,001$ cgs, batu dasit memiliki susceptibilitas $0,003$ cgs, dan batu andesit memiliki susceptibiliras $0,006$ cgs.



Gambar 9. Peta Model Penampang Reduksi ke Kutub Lintasan B-B'

Pada pemodelan lintasan B-B' merupakan hasil dari sayatan yang terdapat pada (Gambar 7), pada hasil pemodelan 2D secara visual terdapat 3 batuan yang berada di bawah permukaan Danau Linting, lapisan batuan piroklastik dekat permukaan yang berada di kedalaman ± 1137 m. Jenis batuan lapisan penudung yang memiliki permeabilitas rendah yaitu piroklastik (Suci & Putra, 2021). dan struktur ini juga mampu menahan fluida panas bumi yang akan keluar sebagai lapisan batuan penudung (caprock).

Lapisan kedua terdapat batuan dasit. Batuan Lapisan kedua terdapat batuan dasit. Batuan dasit memiliki porositas dan permeabilitas yang baik, sehingga panas bumi dapat terpanaskan dan terakumulasi dengan baik. Hal ini didasarkan karena memiliki nilai anomali rendah dengan nilai anomali -44 nT. Batuan ini merupakan jenis batuan beku vulkanik penyusun zona reservoir panas bumi (Awaliyatun & Hutahean, 2015). Lapisan reservoir ini berada di kedalaman $\pm 200 - 1800$ m. Terjadi penurunan nilai susceptibilitas magnetik pada struktur ini yang mengakibatkan adanya indikator reservoir panas bumi (Heningtyas dkk., 2017).

Lapisan ketiga terdapat batuan andesit yang berperan sebagai *heatsource* atau batuan pemanas yang memanaskan fluida yang berada di dibawah batuan reservoir (Gunawan et al., 2022). Panas bumi di Danau Linting terdapat struktur geologi berupa sesar sebagai tempat yang mengakibatkan di daerah penelitian mengeluarkan fluida panas bumi yang memunculkan manifestasi di permukaan

berupa mata air panas (N.R., Cameron dkk., 1982). Sesar yang terdapat di lokasi penelitian ditandai dengan adanya kurva grafik naik turun dari intensitas magnet positif sampai dengan intensitas magnet negatif diperkirakan merupakan sesar normal (Gambar 9).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis anomali magnetik untuk membuat model penampang reduksi ke kutub lintasan A-A' dan B-B'. Litologi bawah permukaan pada model penampang reduksi ke kutub lintasan A-A' didominasi oleh batuan dasit dengan susceptibilitas $0,003$ cgs, batu andesit memiliki susceptibilitas $0,006$ cgs, dan batu piroklastik memiliki susceptibilitas $0,001$ cgs. Sedangkan, pada model penampang reduksi ke kutub lintasan B-B' didominasi oleh batuan piroklastik dengan susceptibilitas $0,001$ cgs, batu dasit memiliki susceptibilitas $0,003$ cgs, dan batu andesit memiliki susceptibilitas $0,006$ cgs.

Struktur geologi model penampang reduksi ke kutub lintasan A-A' dan B-B' yang terdapat di lokasi penelitian ditandai dengan adanya grafik naik turun dari intensitas magnet positif sampai dengan intensitas magnet negatif diperkirakan merupakan sesar normal. Dan batuan yang berfungsi sebagai reservoir dalam manifestasi panas bumi adalah batuan dasit karena Batuan dasit memiliki porositas dan permeabilitas yang baik, sehingga panas bumi dapat terpanaskan dan terakumulasi dengan baik. Hal ini didasarkan karena memiliki nilai anomali

rendah dengan nilai anomali -44 nT. Batuan ini merupakan jenis batuan beku vulkanik penyusun zona reservoir panas bumi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada BMKG Stasiun Geofisika Kelas I Deli Serdang yang sudah membantu dalam proses penelitian dan penyediaan alat Geomagnet sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, A., Maryanto, S., & Rachmansyah, A. (2013). Identifikasi Reservoir daerah Panas Bumi dengan Metode Magnetik Daerah Blawan Kecamatan Sempol Kabupaten Bondowoso. *Jurnal Neutrino*, 6(1), 1–10.
- Awaliyatun F.Z dan Hutahaean, J. (2015). Penentuan Struktur Bawah Permukaan Tanah Daerah Potensi Panas Bumi dengan Metode Geomagnetik di Tinggi Raja Kabupaten Simalungun. *Jurnal Einstein*, 3(1), 1–8.
<http://jurnal.unimed.ac.id/2012/index.php/einstein>
- Belista et al. (2022). Identifikasi Pemodelan 2D dan Suhu Permukaan Daerah Panas Bumi Gunung Gede-Pangrango, Jawa Barat menggunakan Metode Gravitasi. Vol. 1. No. 1. PP. 1-14
- Fatimah. (2018). Analisis Potensi Panas Bumi dengan Metode Geomagnetik di Daerah Gedong Songo Ungaran Jawa Tengah. *Jurnal Ilmiah Bidang Teknologi*, X(1), 9–16.
- Gunawan, B., Anjani, A., & Anjalni, A. (2022). Identifikasi Pemodelan 2D dan Suhu Permukaan Daerah Panas Bumi Gunung Gede-Pangrango, Jawa Barat menggunakan Metode Gravitasi. *Journal of Engineering Environmental Energy and Sciece*, 1(1), 1–14.
<http://ejurnal.ubharajaya.ac.id/index.php/JOE3S>
- Heningtyas, Wibowo, N. B., & Darmawan, D. (2017). Interpretasi Struktur Bawah Permukaan dengan Metode Geomagnet di Jalur Sesar Oyo. *Jurnal Fisika*, 6(2), 1–11.
- Juanita, I. L. (2016). *Aplikasi Metode Geomagnet untuk Mengetahui Struktur Bawah Permukaan Ranu Segawan Duwes Kecamatan Tiris Probolinggo Jawa Timur*.
- Kadri, Muhammad. , S. T. F. (2019). Penentuan Struktur Bawah Permukaan Daerah Geothermal Menggunakan Metode Geolistrik di Desa Penen Kecamatan Biru Biru Kabupaten Deli Serdang. *Tunas Geografi*, 8(1), 1.
<https://doi.org/10.24114/tgeo.v8i1.13914>
- Laghari, W. M., Baloch, M. U., Mengal, M. A., & Shah, S. J. (2014). Performance Analysis of Analog Butterworth Low Pass Filter as Compared to Chebyshev Type-I Filter, Chebyshev Type-II Filter and Elliptical Filter. *Circuits and Systems*, 05(09), 209–216.
<https://doi.org/10.4236/cs.2014.59023>
- N.R, C. dkk. (1982). Peta Geologi Lembar Medan, Sumatera. In *Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi*.
- Rusita, S., Siregar, S. S., & Sota, I. (2016). Identifikasi Sebaran Bijih Besi dengan Metode Geomagnet di Daerah Pernalongan, Bajuin Tanah Laut. *Jurnal Fisika Flux*, 13(1), 49–59.
- Sirait, R. (2021). Analisis Anomali Magnetik dalam Penentuan Struktur Geologi dan Litologi Bawah Permukaan sebagai Manifestasi Panas Bumi Di Panyabungan Selatan Sumatera Utara. *Jurnal Fisika Flux*, 18(2), 83.
<https://doi.org/10.20527/flux.v18i2.7402>
- Suci, R. T., & Putra, A. (2021). Pemetaan Struktur Bawah Permukaan di sekitar Manifestasi Panas Bumi Desa Sungai Tutung Kerinci Menggunakan Metode Geomagnetik. *Jurnal Fisika Unand*, 10(4), 540–547.
<https://doi.org/10.25077/jfu.10.4.540-547.2021>
- Yudianto dan Agus Setyawan. (2014). Interpretasi Struktur Bawah Permukaan Daerah Manifestasi Panas Bumi Gedong Songo Ungaran Menggunakan Metode Magnetik. *Youngster Physics Journal*, 2(1), 39–48.
- Zaki, O. A., AbdAlnabi, S. H., Abd El Wahab, S.

E., Ismail, A. A., & Soliman, N. M. (2017).
Aeromagnetic signature analysis of Gasus
area and its surrounding, central eastern

desert, Egypt. *Arabian Journal of
Geosciences*, 10(310), 1–20.
<https://doi.org/10.1007/s12517-017-3100-3>