

IDENTIFIKASI GEOLOGI BAWAH PERMUKAAN DAERAH PANAS BUMI PLTP ULUMB DENGAN MENGGUNAKAN METODE GEOMAGNETIK

Yosepha Widiawati, Jehunias L. Tanesib, Hadi Imam Sutaji, Abdul Wahid

Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Jl. Adisucipto

Penfui, Kota Kupang, 85001, Indonesia

E-mail: sefwidiawati22@gmail.com

Abstrak

Telah dilakukan penelitian dengan menggunakan metode geomagnetik yang bertujuan untuk membuat pemodelan bawah permukaan daerah panas bumi PLTP Ulumbu dan untuk mengidentifikasi batuan apa saja yang terdapat di bawah permukaan daerah panas bumi PLTP Ulumbu berdasarkan data geomagnetik. Data penelitian ini diperoleh dari Earth Magnetic Anomaly Grid versi 3 (EMAGv3) melalui website NOAA Emag2v3. Pengolahan data dilakukan dengan metode downward continuation menggunakan perangkat lunak Surfer 13, dengan penerapan teknik Moving Average, sehingga diperoleh nilai anomali residual kemudian membuat pemodelan dua dimensi (2D) dengan menggunakan Software Zondgm2d. Hasil penelitian menunjukkan pemodelan dua dimensi (2D) bawah permukaan PLTP Ulumbu jenis batuan yang dapatkan adalah berupa intrusi mafik, basalt segar, batuan vulkanik seperti seperti andesite-basat, tufa, batu lava, dan batuan non-magnetik dan Jenis batuan ini ditemukan pada kedalaman yang berbeda-beda.

Kata kunci: *Geomagnetik; Pemodelan 2D; Suseptibilitas PLTP Ulumbu.*

Abstract

This research was conducted using the geomagnetic method with the aim of modeling the subsurface conditions of the Ulumbu geothermal area and identifying the types of rocks present beneath the surface based on geomagnetic data. The research data were obtained from the Earth Magnetic Anomaly Grid version 3 (EMAGv3) through the NOAA EMAG2v3 website. Data processing was carried out using the downward continuation method in Surfer 13 software, applying the Moving Average technique to obtain residual anomaly values. A two-dimensional (2D) modeling was then performed using ZondGM2D software. The results of the study show that the subsurface rock types in the Ulumbu geothermal area include mafic intrusions, fresh basalt, volcanic rocks such as andesite-basalt, tuff, lava rock, and non-magnetic rocks. These rock types are found at varying depths.

Keywords: *Geomagnetic; 2D Modeling; Susceptibility; Ulumbu Geothermal Area*

PENDAHULUAN

Wilayah Indonesia juga memiliki kandungan sumber daya alam berupa mineral dan energi yang cukup tinggi, salah satunya adalah panas bumi. Sumber energi panas bumi Indonesia umumnya berada pada jalur gunung api, membentang mulai dari ujung Pulau Sumatera, sepanjang Pulau Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Sulawesi, dan Maluku [1].

Panas bumi adalah sumber energi panas yang terkandung di dalam air panas, uap air dan batuan bersama mineral ikutan dan gas

lainnya yang secara genetik semuanya tidak dapat dipisahkan dalam suatu sistem panas bumi dan untuk pemanfaatannya diperlukan proses penambangan [2]

Penelitian sebelumnya pernah dilakukan untuk mengidentifikasi struktur bawah permukaan di daerah panas bumi Tarutung Bagian Selatan, Provinsi Sumatra Utara [3]. Penelitian ini juga menggunakan metode geomagnetik untuk mendeteksi anomali medan magnetik yang berkaitan dengan struktur geologi seperti sesar dan lipatan. Hasil

penelitian menunjukkan bahwa sesar yang terdeteksi berfungsi sebagai jalur transportasi panas dari dalam bumi ke permukaan, yang kemudian memunculkan manifestasi geotermal berupa mata air panas dan fumarol. Keberadaan sesar ini sangat penting dalam pemodelan reservoir geotermal. Di PLTP Ulumbu belum ada penelitian tentang indentifikasi geologi bawah permukaan daerah panas bumi menggunakan metode geomagnetik.

Penelitian potensi panas bumi di Nusa Tenggara Timur juga dilakukan dengan ditemukannya potensi panas bumi di Maritaing, Alor [4]. Eksplorasi sumber daya alam batuan gamping juga dilakukan di Kupang dengan menerapkan metode geomagnetik [5]. Berdasarkan uraian di atas, penelitian dengan metode geomagnetik digunakan untuk mengidentifikasi geologi bawah permukaan daerah potensi panas bumi Ulumbu.

METODE

Penelitian ini akan dilaksanakan selama pada bulan januari 2025 sampai dengan bulan mei 2025. Penelitian ini menggunakan data sekunder geomagnet dari Earth Magnetik Anomaly Grid versi 3 (EMAGv3) melalui website NOAA Emag2v3 [6]. Earth Magnetik Anomali Grid versi 3 (EMAGv3) global yang dikompilasi dari satelit kapal, dan pengukuran magnetik udara dan mempunyai spesifikasi jarak antara titik yaitu 4 km.

NOAA Emag2v3 berisi data anomali magnetik bumi dengan 2 menit busur. Wilayah penelitian ini terletak di daerah PLTP Ulumbu, Kabupaten Manggarai. Data yang digunakan dalam penelitian ini antara lain data geomagnetik, data anomali regional, anomali residual, serta data slice A-A' dan B-B'.

Metode yang digunakan dalam penelitian yaitu metode geomagnetik dan metode *moving average*. Metode Geomagnetik merupakan metode geofisika yang manfaatkan sifat kemagnetan bumi [7]. Pada tahapan penelitian ini dimulai dari pengumouulan data sekunder, kemudian diolah untuk mendapatkan pemodelan 2D di bawah permukaan.

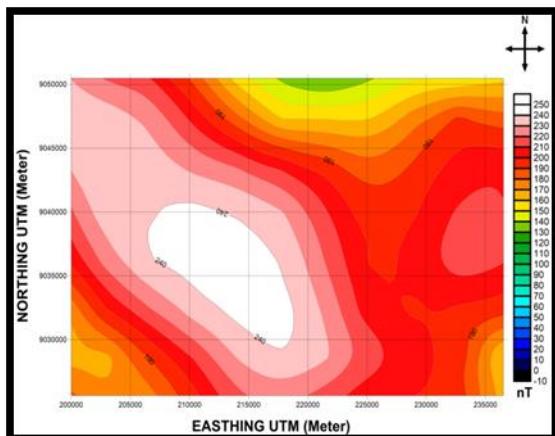


Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini berupa peta anomali magnetik, peta anomali regional, peta anomali residual, serta sayatan pada kontur anomali residual. Peta kontur anomali magnetik pada Gambar 2 menampilkan variasi nilai anomali yang berada dalam kisaran sekitar -10 nT hingga 250 nT. Namun rentang yang paling dominan terdeteksi adalah antara 100 hingga 250 nT. Pada peta, zona anomali tinggi ditampilkan dengan warna putih hingga merah dan terlihat di bagian tengah hingga timur laut wilayah studi. Keberadaan zona ini mengarah pada dugaan adanya batuan yang belum mengalami perubahan atau aktivitas intrusi dangkal, warna hijau hingga kuning menandai area dengan nilai anomali menengah yang diduga sebagai zona transisi atau rekahan, berfungsi sebagai saluran pergerakan fluida panas. Sementara itu, meskipun skala warna mencakup warna biru sebagai representasi nilai anomali rendah, warna tersebut tidak muncul secara mencolok pada peta. Hal ini mengindikasikan bahwa tidak terdapat area dengan respon magnetik yang sangat lemah atau zona alterasi berat yang signifikan di permukaan wilayah penelitian.

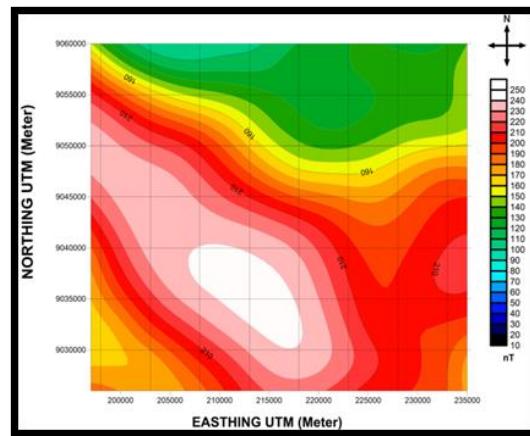
Peta ini merupakan hasil koreksi terhadap variasi harian dan medan magnet utama (IGRF), kemudian diproses menggunakan perangkat lunak Surfer melalui proses gridding berbasis data X dan Y. Karena belum dilakukan pemisahan komponen medan lokal dan regional, informasi yang terlihat pada peta masih bergabung antara kedalaman dalam dan dangkal.



Gambar 2. Peta Anomali Magnetik

Analisis anomali regional dilakukan melalui proses *downward continuation* dengan metode *Moving Average* yang bertujuan untuk mereduksi efek medan magnet. Peta anomali regional gambar 3 menampilkan distribusi nilai anomali berkisar antara -10 nT hingga 250 nT, ditampilkan dengan gradasi warna dari biru tua hingga putih. Rentang anomali terbagi menjadi tiga kategori: anomali rendah (10–90 nT), sedang (100–200 nT), dan tinggi (210–250 nT). Zona anomali tinggi ditunjukkan oleh warna merah muda hingga putih dan diinterpretasikan sebagai respon magnetik kuat dari kedalaman yang secara geologi dapat mengindikasikan adanya massa batuan panas atau intrusi yang menjadi inti sistem geothermal.

Anomali sedang (hijau–kuning) mencerminkan zona transisi, kemungkinan berupa struktur rekahan atau jalur migrasi fluida panas. Zona ini sering diasosiasikan dengan batuan penudung, sementara itu, zona anomali rendah (hitam–biru) menandai area dengan respon magnetik lemah, yang umumnya berkaitan dengan proses alterasi hidrotermal intensif. Zona ini penting karena bisa menunjukkan keberadaan *clay cap* atau lapisan penutup sistem panas bumi, yang berfungsi menahan akumulasi fluida panas di bawahnya dan menjadi indikator penting dalam eksplorasi reservoir geothermal.



Gambar 3. Peta Anomali Regional

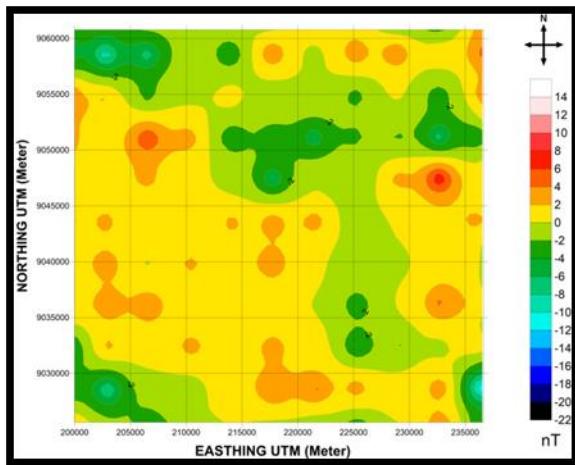
Anomali residual dalam geomagnetik menggambarkan variasi menggambarkan variasi medan magnet yang bersumber dari kedalaman dangkal dan memiliki frekuensi tinggi. Peta anomali residual pada gambar 4 diperoleh melalui pemisahan medan magnet lokal dari komponen regional dengan cara menggunakan metode *downward continuation*. Distribusi nilai anomali pada peta berkisar antara -22 nT hingga 14 nT. Warna merah hingga putih menunjukkan zona anomali tinggi, sementara biru muda hingga hitam menandakan anomali rendah. Warna yang dominan dalam peta adalah kuning, hijau, dan merah, yang mencerminkan distribusi dari zona sedang hingga tinggi.

Zona anomali tinggi (4 hingga 14 nT), yang ditampilkan dalam warna merah–putih, menunjukkan bagian permukaan yang masih memiliki sifat magnetik kuat. Meskipun tidak secara langsung menunjukkan fluida panas, zona ini dapat mewakili batuan penudung yang belum banyak dipengaruhi oleh sistem hidrotermal.

Zona anomali sedang (-8 hingga 2 nT) terlihat dalam warna hijau hingga kuning–oranye. Zona ini mencerminkan daerah transisi, kemungkinan berupa struktur rekahan atau peluruhan awal mineral magnetik, dan berfungsi sebagai jalur awal pergerakan fluida panas dari kedalaman.

Zona anomali rendah (-22 hingga -10 nT), dengan warna hitam hingga biru muda, menandakan berkurangnya kemagnetan akibat proses alterasi hidrotermal. Hal ini umumnya disebabkan oleh pergerakan fluida panas yang memodifikasi sifat batuan di dekat permukaan. Zona ini sangat penting karena sering

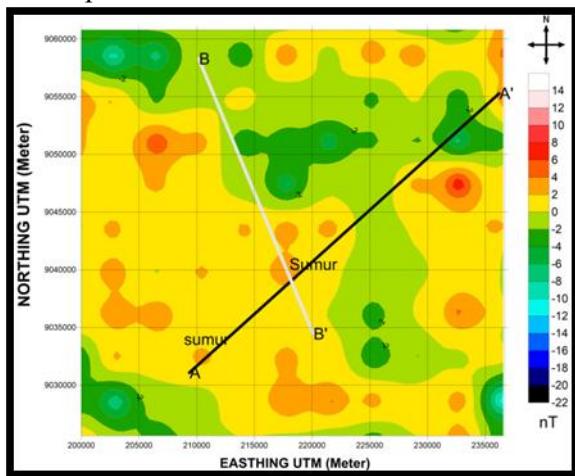
berhubungan dengan keberadaan *clay cap* atau bagian atas dari sistem reservoir panas bumi.



Gambar 4. Peta Anomali Residual

Pemodelan Dua Dimensi (2D)

Pemodelan 2D dilakukan berdasarkan dua lintasan A-A' dan B-B' yang diambil dari peta anomali residual dengan rentang nilai antara -22 hingga 14 nT. Sayatan ini digunakan untuk menggambarkan kondisi bawah permukaan hingga kedalaman -5000 meter. Distribusi warna dari hitam–biru (anomali rendah), hijau–kuning (anomali sedang), hingga merah–putih (anomali tinggi), mencerminkan variasi intensitas medan magnet yang dihubungkan dengan karakteristik batuan bawah permukaan.



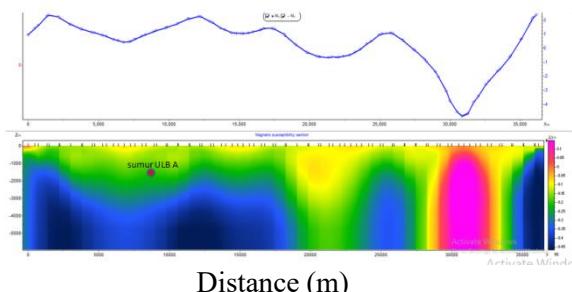
Gambar 5. Peta sayatan A-A' dan B-B'

Pada sayatan A-A', terlihat bahwa zona anomali tinggi berada di sisi kanan puncak yang mengindikasikan adanya batuan segar bermagnet tinggi seperti intrusi mafik atau basalt. Zona tersebar luas di bagian kiri hingga

tengah, dan zona rendah mendominasi sisi kiri bawah, diinterpretasikan sebagai zona alterasi atau batuan lemah yang sudah mempengaruhi fluida panas. Titik sumur pada koordinat UTM (218000 E, 9040480 N) berada pada jarak sekitar 8647 meter dari titik A dan kedalaman -1500 meter. Sumur ini jatuh pada zona anomali sedang, yang diduga berada di bagian atas sistem reservoir atau cap rock.

Sayatan B-B' juga menunjukkan pola serupa dengan zona anomali tinggi pada bagian dangkal di tengah–kanan, zona sedang di tengah, dan zona rendah di sisi kiri–tengah. Zona rendah ini diasosiasikan dengan batuan teralterasi berat atau reservoir panas bumi. Titik sumur pada koordinat (2088811 E, 9033963 N) berjarak 3136 meter dari titik B dan berada pada kedalaman -2000 meter. Lokasinya berada di zona transisi antara anomali sedang dan rendah, yang berpotensi sebagai jalur migrasi fluida hidrotermal.

Distribusi kontras suseptibilitas dan posisi sumur pada kedua sayatan mendukung keberadaan sistem panas bumi bertipe konvektif di PLTP Ulumbu, di mana fluida panas bergerak ke atas melalui rekahan atau zona permeabel menuju permukaan, dan menunjukkan adanya zona prospek eksplorasi panas bumi.



Gambar 5. Grafik pemodelan dan kontras suseptibilitas sayatan A-A'

Gambar 5 di atas menampilkan hasil pemodelan 2D sayatan A-A' yang terdiri dari dua bagian utama, yaitu grafik anomali magnetik (nT) dengan model kontras suseptibilitas bawah permukaan. Grafik anomali magnetik menampilkan kesesuaian antara data observasi dan hasil pemodelan, dengan nilai berkisar antara 2 nT hingga -4 nT. Sumbu X menunjukkan jarak pengukuran dalam meter, sementara sumbu Y menyatakan nilai kedalaman dan ke bawah dari permukaan

tanah, yang dinyatakan dalam nilai negatif. Berdasarkan hasil model, terlihat distribusi suseptibilitas magnetik terhadap kedalaman mulai dari permukaan 0 meter hingga -5000 meter dengan zona variasi warna dan nilai suseptibilitas

Zona warna merah hingga ungu berada di sisi kanan sayatan dan memiliki nilai kerentanan antara 0 hingga 0.1, membentang dari permukaan (0 meter) hingga kedalaman sekitar -5000 meter. Zona ini dapat diinterpretasikan sebagai batuan yang sangat magnetik seperti intrusi mafik, basalt segar, atau intrusi tubuh dangkal yang berperan sebagai sumber panas (*heat source*) dalam sistem panas bumi.

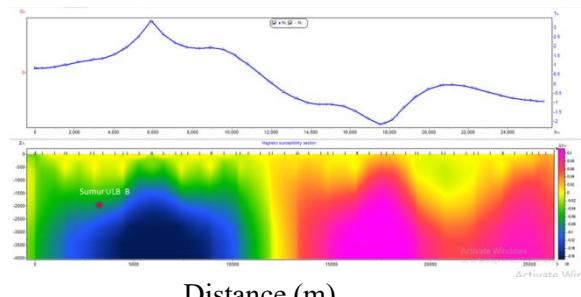
Zona hijau hingga kuning memiliki rentang nilai kerentanan -0.25 hingga -0.05 SI dan tersebar luas dari kiri hingga kanan gambar. Di sisi kiri dan tengah lintasan, zona ini muncul pada kedalaman -2000 hingga -3500 meter, sedangkan di sisi kanan, menjangkau dari permukaan hingga -5000 meter.

Zona ini diinterpretasikan sebagai batuan vulkanik seperti andesit-basalt yang telah mengalami perubahan ringan, dan berperan sebagai batuan penudung atau lapisan transisi dalam sistem geotermal. Keberadaan zona ini juga berpotensi sebagai jalur awal migrasi fluida panas sebelum mencapai reservoir utama.

Zona biru tua hingga hitam menunjukkan nilai kerentanan -0.45 hingga -0.3, yang tersebar di sisi kiri gambar pada kedalaman -1500 hingga -5000 meter, serta di sisi kanan gambar pada kedalaman -200 hingga -5000 meter. Zona ini diinterpretasikan sebagai batuan lempung, tufa, atau batuan yang mengalami alterasi hidrotermal intensif, yang menyebabkan hilangnya kemagnetan. Zona ini merupakan bagian atas dari sistem reservoir, atau dikenal sebagai clay c, yang menahan akumulasi fluida panas di bawah.

Pola hubungan vertikal dan lateral antara ketiga zona ini mendukung keberadaan sistem panas bumi bertipe konvektif di PLTP Ulumbu. Di mana panas dari sumber dalam naik melalui zona permeabel (zona transisi), melewati clay cap, dan menghasilkan pola distribusi kerentanan yang konsisten dengan sistem geotermal aktif. Titik sumur pada lintasan ini berada di zona kerentanan sedang pada kedalaman -1500 meter dan jarak dari

titik A sebesar 8647 meter, menunjukkan sebagai jalur pergerakan fluida hidrotermal dan lokasi strategis untuk eksplorasi.



Gambar 6. Grafik pemodelan dan kontras suseptibilitas sayatan B-B'

Gambar 6 di atas menampilkan hasil pemodelan 2D sayatan B-B' yang terdiri dari dua bagian utama, yaitu grafik anomali magnetik (nT) dengan model kontras suseptibilitas bawah permukaan. distribusi nilai kerentanan magnetik bawah permukaan dengan jarak -0.16 hingga 0.1 SI dan kedalaman dari permukaan hingga -4000 meter.

Zona dengan nilai suseptibilitas tinggi sekitar 0.04 hingga 0.1 SI, ditampilkan oleh warna merah ke ungu dan tampak dominan pada sisi kanan gambar dari kedalaman -500 m hingga -4000 meter. Zona ini diinterpretasikan sebagai batuan beku bermagnetik kuat, seperti diorit, andesit, atau basalt segar, yang berperan sebagai sumber panas (*heat source*) dalam sistem panas bumi.

Zona berwarna hijau hingga kuning, dengan nilai kerentanan berkisar antara -0.06 hingga -0.02 SI, tersebar cukup dominan dari sisi kiri hingga ke kanan lintasan. Pada bagian kiri dan tengah penampang, zona ini muncul dari permukaan hingga kedalaman -4000 meter, sedangkan di sisi kanan, zona tersebut hanya mencapai -2500 meter. Secara geologi, zona ini mewakili batuan vulkanik yang masih memiliki sifat kemagnetan sedang, seperti andesit atau basalt yang telah mengalami proses alterasi ringan. Fungsinya dalam sistem panas bumi diperkirakan sebagai penyangga hidrotermal (penyangga termal) yang memisahkan zona panas dan dingin, sekaligus berperan sebagai jalur awal pergerakan fluida panas menuju bagian reservoir yang lebih dalam.

Zona berwarna hitam - biru, dengan nilai suseptibilitas rendah (-0,16 hingga -0,08 SI)

pada kedalaman -1.500 hingga -4.000 meter, diinterpretasikan sebagai batu lempung (batuan lempung), tufa teralterasi, dan breksi tufaan semua hasil dari alterasi hidrotermal intensif yang berfungsi sebagai zona reservoir tempat akumulasi fluida panas.

SIMPULAN

Pemodelan dua dimensi (2D) bawah permukaan daerah panas bumi Ulumbu berbasis data anomali magnetik residual secara umum mengidentifikasi area tersebut sebagai sumber panas bumi. Pemodelan pada sayatan A-A' dan B-B' menunjukkan kesesuaian antara data observasi dan hasil model, dengan rentang anomali sekitar -4 nT hingga 3 nT dan kedalaman mencapai -5000 meter. Hasil tersebut menunjukkan bahwa model yang dibangun cukup representatif dalam menggambarkan kondisi geologi bawah permukaan.

Identifikasi batuan bawah permukaan daerah Panas Bumi Ulumbu menunjukkan nilai suseptibilitas dengan kedalaman dari permukaan hingga 5000 meter. Pada sayatan A-A' memiliki rentang nilai suseptibilitas -0.45 hingga 0.1 , dan pada sayatan B-B' memiliki rentang nilai suseptibilitas -0.16 hingga 0.1 . Nilai suseptibilitas magnetik menunjukkan tiga zona utama yaitu suseptibilitas tinggi sebagai batuan beku bermagnetik kuat (sumber panas), suseptibilitas sedang sebagai batuan vulkanik teralterasi ringan (cap rock/jalur fluida), dan suseptibilitas rendah sebagai batuan teralterasi berat (zona reservoir).

SARAN

Untuk penelitian selanjutnya disarankan agar melakukan pemodelan 3D untuk mendapatkan Gambaran yang lebih menyeluruh mengenai distribusi batuan di bawah permukaan. Selain itu, data geomagnetik sebaiknya dikombinasikan dengan data geofisika lain seperti gaya berat

dan geolistrik untuk meningkatkan akurasi interpretasi.

DAFTAR PUSTAKA

- 1 Royana R. Panduan Kelestarian Ekosistem Untuk Pemanfaatan Panas Bumi. WWF Indonesia dan British Embassy, Jakarta. 2013.
- 2 Sekretariat Negara Republik Indonesia. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 27 Tahun 2003 tentang Panas Bumi. .
- 3 Hidayati N, Arman Y, Zulfian. 2022. Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Daerah Panas Bumi dengan Metode Magnetik di Daerah Tarutung Bagian Selatan dan Sekitarnya, Provinsi Sumatra Utara. Priwma Fis. **10**(2): 206.
- 4 Boling RA, Tanesib JL, Sutaji HI, Lapono LAS, Lewerissa R. 2024. Re-evaluation of a geothermal system model based on high-resolution gravity field inversion: A case study of the Maritaing geothermal field, Alor Regency, East Nusa Tenggara Province, Indonesia. Kuwait J. Sci. **51**(2): 100187.
- 5 Mauribu Y, Tanesib JL. 2021. Interpretasi Data Anomali Magnetik Bawah Permukaan Area Penambangan Batuan Gamping PT Sarana Arga Gemilang KSO PT Semen Kupang. Magn. Res. J. Phys. It's Appl. **1**(1): 26.
- 6 National Centers for Environmental Information. 2017. EMAG2v3: Earth Magnetic Anomaly Grid (2-arc-minute resolution) [Dataset]. .
- 7 Takaeb Y, Sutaji HI. 2018. Interpretasi jenis batuan menggunakan metode geomagnetik pada daerah terakumulasinya air tanah di bina amanuban selatan. J. Fis. Sains dan Apl. **3**(2): 126.