

DELINEASI NILAI RESISTIVITAS DI LAPANGAN PANAS BUMI TAMBANG SAWAH MENGUNAKAN METODE MAGNETOTELLURIK

DELINEATION OF RESISTIVITY VALUE IN GEOTHERMAL TAMBANG SAWAH USING MAGNETOTELLURIC METHOD

Andre Rahmat Al Ansory, Hana Raihana, Vinki Lovely Pritama, Welly Saputri,
Faritz Bagda Maghribi, Halauddin, Budi Harlianto, Muchammad Farid,
dan Arif Ismul Hadi Nanang Sugianto

Program Studi Geofisika, Jurusan Fisika, Universitas Bengkulu
nanang.s@unib.ac.id

ABSTRAK

Gambaran struktur bawah permukaan lapangan panas bumi Desa Tambang Sawah telah terpetakan. Penelitian ini bertujuan untuk mendelineasi nilai resistivitas di daerah Desa Tambang Sawah, Kabupaten Lebong, Provinsi Bengkulu berdasarkan pengukuran magnetotellurik yang hasilnya nanti dapat mengidentifikasi nilai resistivitas rendah, menengah, dan tinggi untuk menginterpretasikan panasbumi di daerah penelitian tersebut. Metode magnetotellurik (MT) dengan sensor elektrik dan magnet digunakan untuk mengumpulkan data di lapangan. Ada dua sensor listrik berarah horizontal (E_x , E_y) dan tiga buah sensor magnetik yang berarah horizontal (H_x , H_y) dan vertikal (H_z). Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah nilai resistivitas 20ohm.m sampai dengan 50 ohm.m dianggap sebagai reservoir, sedangkan resistivitas 0,26ohm.m sampai dengan 0,8 ohm.m dianggap sebagai *caprock*, dan resistivitas lebih besar dari 300 ohm.m dianggap sebagai batuan sumber panas (*hot rock*).

Kata kunci: *geothermal*, magnetotellurik, resistivitas, reservoir, *caprock*, *hot rock*, Tambang Sawah

ABSTRACT

The subsurface structure of the geothermal field in Desa Tambang Sawah has been mapped. This research aims to delineate the resistivity values in the area of Tambang Sawah Village, Lebong Regency, Bengkulu Province based on magnetotelluric measurements which can later identify low, medium, and high resistivity values to interpret geothermal in the research area. The magnetotelluric (MT) method with electrical and magnetic sensors is used to collect data in the field. There are two electrical sensors in horizontal direction (E_x , E_y) and three magnetic sensors in horizontal direction (H_x , H_y) and vertical (H_z). The results obtained from this study are that resistivity values of 20-50 ohm.m are considered as reservoirs, while resistivity of 0.26-0.8 ohm.m is considered as caprock, and resistivity greater than 300 ohm.m is considered as hot rock.

Keywords: *Keywords: geothermal, magnetotelluric, resistivity, reservoir, caprock, hot rock, Tambang Sawah*

PENDAHULUAN

Secara geologi Indonesia merupakan wilayah dengan potensi panas bumi yang cukup melimpah, hal itu dikarenakan Indonesia berada pada zona

persambungan tiga lempeng yaitu Lempeng Indo-Australia, Eurasia dan Lempeng Pasifik sehingga ditandai dengan keberadaan cincin api (*ring of fire*) atau banyak gunung api yang aktif (Andini dkk., 2020).

Kabupaten Lebong merupakan kabupaten yang berada di Provinsi Bengkulu, yang terletak di zona sesar Sumatera (*Sumatra fault zone*) hal tersebut dinyatakan secara geologi. Daerah Tambang Sawah di Lebong Utara merupakan salah satu wilayah di Sumatera yang dilintasi zona patahan ini (Mukazairo dkk., 2020). Seiring berjalannya waktu, pertumbuhan industri dan penduduk setiap tahunnya meningkatkan konsumsi energi, termasuk listrik. Salah satu sumber energi terbarukan yang bisa dimajukan adalah energi panas bumi (Andini dkk., 2020).

Sumber energi panas bumi berasal dari magma di dalam bumi. Magma secara konduktif menghantarkan panas ke batuan di sekitarnya (Suparno, 2009). Panas bumi pada umumnya berkaitan dengan mekanisme pembentukan magma dan kegiatan vulkanisme. Sistem panas bumi dengan suhu yang tinggi, umumnya terletak di sepanjang zona vulkanik punggung pemekaran benua, di atas zona subduksi seperti di Indonesia, dan anomali pelelehan di dalam lempeng. Batas-batas pertemuan lempeng yang bergerak merupakan pusat lokasi untuk munculnya sistem hidrotermal magma. Transfer energi panas secara konduktif pada lingkungan tektonik lempeng diperbesar oleh gerakan magma dan sirkulasi hidrotermal (Kasbani, 2009). Adapun persyaratan utama untuk pembentukan sistem panas bumi (*hidrotermal*) adalah sumber panas yang besar (*heat source*), reservoir untuk mengakumulasi panas, dan lapisan penutup terakumulasinya panas (*cap rock*). Dalam sistem hidrotermal ini, panas dapat berpindah secara konduksi dan konveksi (Kasbani, 2009).

Energi panas bumi merupakan energi yang ramah lingkungan dibandingkan dengan energi lainnya. Keberadaan sistem panas bumi dapat diperkirakan dengan melihat nilai resistivitas batuan yang membentuk sistem panas bumi tersebut. Pembentukan sistem panas bumi di permukaan meliputi *warm ground*, *steaming ground*, kolam lumpur panas,

kolam air panas, *fumarole*, sumber air panas, rembesan, geyser, dan daerah altrasi hidrotermal yang berkaitan dengan proses geologi dan model sistem panas bumi yang menaikkan temperatur air di bawah permukaan tanah sehingga menjadi uap panas bumi adalah magma.

Aliran Konveksi merupakan proses sirkulasi arus magma di bawah bumi saat mentransfer panas inti ke litosfer sehingga lapisan-lapisan di kerak bumi mengalami pergerakan. Mantel bumi dipanaskan dari bawah, didinginkan di atas, dan suhu keseluruhannya menurun dalam jangka waktu yang lama. Gaya konveksi mantel bumi ini ditimbulkan karena adanya tekanan panas yang diciptakan oleh peluruhan radioaktif pada inti bumi serta panas yang tersisa dari pembentukan Bumi. Arus konveksi juga mentransfer material yang lebih padat dan lebih dingin dari kerak bumi ke interior bumi melalui subduksi, meskipun radiasi energinya kecil karena radiasi matahari di permukaan dan bertambahnya jarak dari margin lempeng divergen. Aliran konveksi inilah yang menyebabkan munculnya magma ke permukaan yang berusaha keluar melalui rekahan yang disebabkan oleh temperatur dan tekanan yang tinggi (Taufiquddin, 2014).

Salah satu metode geofisika yang digunakan untuk menentukan struktur sistem bawah permukaan bumi di zona panas bumi adalah metode magnetotellurik (MT), sebab metode tersebut dapat mengetahui lapisan bawah permukaan pada kedalaman kurang lebih 8.000 m dimana terdeteksi keberadaan magma di kedalaman tersebut yang menjadi sumber panas dari suatu sistem panas bumi dan relatif jauh di dalam bentuk sistem panas bumi lainnya (Wulandari dkk., 2017). Metode magnetotellurik merupakan metode pasif yang memberikan gambar tentang sebaran sifat kelistrikan batuan bawah permukaan bumi dengan menggunakan interaksi gelombang elektromagnetik (Ramdhani dkk., 2017).

GEOLOGI

Berdasarkan Fisiografi Regional Pulau Sumatera, menurut (Bemmelen, 1969), daerah ini termasuk ke dalam Zona Pegunungan Barisan, dimana pada bagian intinya terdapat batuan granit yang mengindikasikan adanya aktivitas magma di daerah penelitian. Batuan beku granit daerah penelitian termasuk ke dalam Batuan Terobosan (tmgr) yang memiliki unsur Tersier. Daerah Bengkulu merupakan cakupan Cekungan Bengkulu dan Pengunungan Bukit Barisan (Sri dkk., 2009). Sedimentasi Cekungan Bengkulu telah menghasilkan serangkaian stratigrafi Formasi Seblat, Formasi Lemau, Formasi Simpangaur dan Formasi Bintunan. Proses tektonik inilah yang membentuk cekungan antar pengunungan (Iskandar, 2008). Kabupaten Lebong merupakan jajaran bukit barisan yang memiliki ketinggian antara 500 mdpl sampai dengan 1.000 mdpl (Arief dkk., 2018).

Berdasarkan hasil penelitian khusus tentang analisis batuan petrogenesa granitik di dalam dan sekitar area Tambang Sawah, peneliti sampai pada kesimpulan bahwa batuan granit berada dalam fase pegmatik-pneumatolitik dengan tipe magma asam dan jenis magma kalk-alkalin pada suhu rata-rata 800°C sampai dengan 400°C. Struktur sesar yang dapat dijumpai pada struktur geologi daerah penelitian antara lain: kekar, sesar *slip* Air Putih dan sesar Batang Ketahun yang memiliki umur Miosen akhir, saat gaya utama bergerak relatif utara-selatan, merupakan saat terbentuknya struktur geologi di daerah penelitian (Putra dkk., 2017).

Di daerah penelitian ini terdapat beberapa jenis formasi batuan, antara lain:

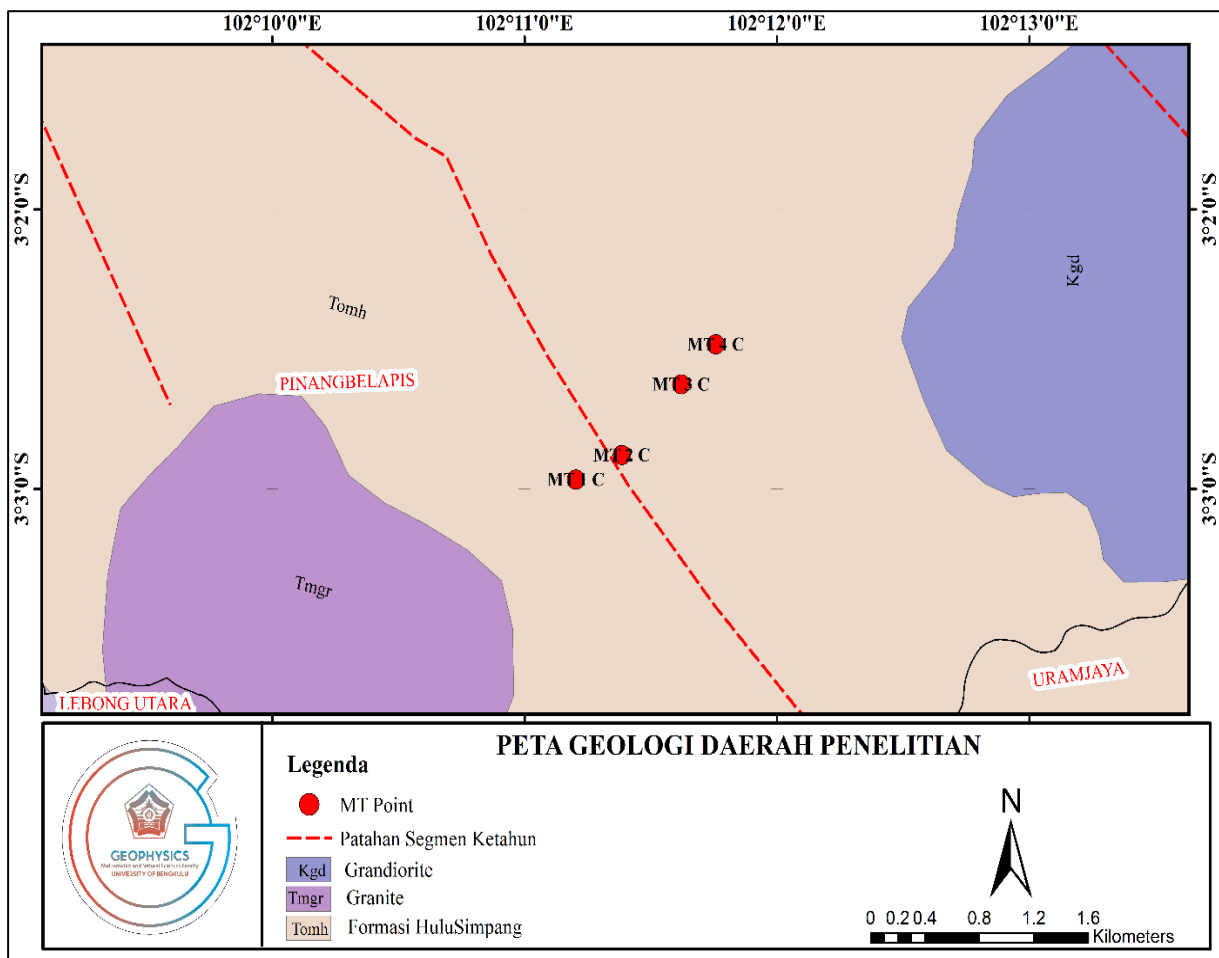
- Formasi Hulusimpang: Formasi Hulusimpang tersusun atas lava, tufa terubah, dan breksi vulkanik serta tersusun oleh batuan andesit hingga basal. Satuan formasi ini diendapkan pada kala Oligosen Akhir - Miosen Awal di daerah transisi darat-laut dangkal.
- Formasi Seblat: Formasi Seblat berumur Oligosen Akhir - Miosen Tengah. Bagian bawah satuan ini terdiri dari batupasir, sebagian komponen karbonat, dan bagian tengah terdiri dari batugamping dan batulempung. Bagian atas terdiri dari serpih batulempung, konglomerat, tufa, dan napal.
- Formasi Lemau: Formasi Lemau terdiri dari breksi dengan sisipan batupasir tufaan dengan komponen moluska di sisi bawah. Sisi atas terdiri dari batu pasir dan batupasir tufaan dengan sisipan batulempung dan batugamping. Satuan formasi ini diendapkan di daerah laut dangkal pada Miosen Tengah-Miosen Akhir.
- Formasi Bintunan: Formasi Bintunan terdiri dari konglomerat, breksi, dan batulempung tufaan dengan lapisan lignit tipis. Berdasarkan satuan stratigrafi, batuan. Formasi Bintunan diendapkan pada daerah transisi air payau pada kala Plio-Plistosen.
- Formasi Simpangaur: Formasi Simpangaur terdiri dari breksi dan konglomerat dengan sisipan batupasir dan batubara pada bagian bawah. Sisi atas adalah batulanau dan batulempung, yang mengandung moluska air tawar. Satuan formasi batuan ini berumur Miosen Akhir-Miosen Awal (Gafoer, s., T.C. Amin., 2007).

METODOLOGI

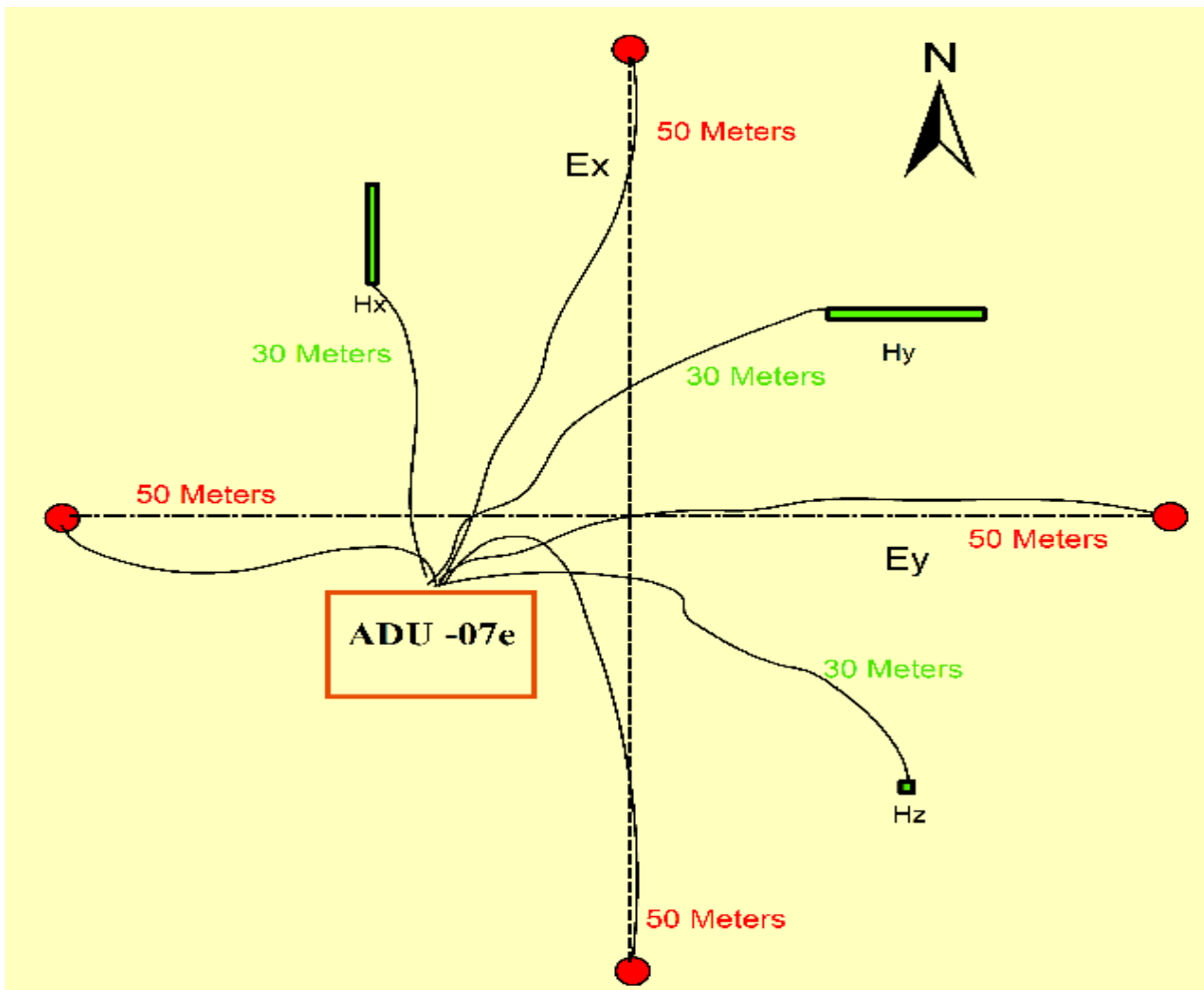
Metode Magnetotelluric (MT) adalah eksplorasi elektromagnetik (EM) pasif yang mengukur komponen ortogonal dari medan listrik dan magnetik di permukaan bumi. Gambar 1 menunjukkan pengaturan MT yang khas. Variasi yang dihasilkan secara alami dalam medan magnetik bumi adalah medan sumber, memberikan spektrum yang luas dan terus menerus dari gelombang Elektromagnetik yang menginduksi arus di dalam bumi. Arus

induksi ini berkontribusi pada medan yang diukur di permukaan dan bertahan informasi tentang struktur konduktivitas bawah permukaan mulai dari beberapa puluh meter hingga kedalaman ratusan kilometer. Pengaturan MT dalam sistem koordinat internal. Pengaturan ini mengukur medan listrik dalam arah horizontal ortogonal dan medan magnetik dalam arah vertikal dan horizontal ortogonal (Rosenkjær, 2011).

Struktur konduktivitas listrik bumi bisa diselidiki menggunakan medan elektromagnetik alami. Pada metode magnetotellurik yang memiliki frekuensi di atas 1 Hz merupakan badai petir, sementara yang memiliki frekuensi sebagian besar sinyal di bawah 1 Hz disebabkan karena sistem magnetosphere oleh aktivitas matahari. Frekuensi yang digunakan metode MT berkisaran 10^{-5} Hz – 10^3 Hz (Fitrida dkk., 2015).



Gambar 1. Peta geologi daerah penelitian



Gambar 2. Susunan MT dalam sistem koordinat internal (Rosenkjær, 2011)

Persamaan umum yang menjabarkan sifat gelombang EM yang digunakan persamaan Maxwell (Hendra, 2013) yaitu terdiri atas:

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (\text{Hukum Faraday}) \quad (1)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (\text{Hukum Ampere}) \quad (2)$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (\text{Hukum Colomb}) \quad (3)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (\text{Hukum Fluks Magnet}) \quad (4)$$

dimana E : medan listrik (Volt/m), B : fluks atau induksi magnetik (Weber/m² atau Tesla), H : medan magnet (Ampere/m), J : rapat arus (Ampere/m²), D : perpindahan listrik (Coulomb/m²), ρ/ϵ_0 rapat muatan listrik (Coulomb/m³). Pada persamaan pertama yaitu hukum Faraday, yang menjabarkan bahwa medan listrik akan berubah seiring waktu jika induksi medan

magnet berubah. Menurut hukum Ampere, ada sumber arus listrik dan medan magnet dihasilkan ketika medan listrik berubah seiring waktu. Hukum Colomb menjelaskan bahwa timbulnya medan listrik disebabkan oleh adanya muatan listrik. Hukum fluks magnet mendeskripsikan bahwa tidak ada medan magnetik yang bersifat monopol (Iqbal dan Wachisbu, 2015).

Penelitian ini menggunakan alat Magnetotellurik ADU-07e di Desa Tambang Sawah, Kabupaten Lebong. Pengukuran lapangan telah dilakukan pada bulan Oktober 2022. Dengan jumlah titik pengukuran sebanyak 4 titik pengukuran yang tersebar di wisata Air Putih Kabupaten Lebong. Penelitian ini menggunakan 4 titik pengukuran untuk melihat variasi nilai resistivitas untuk

penentuan potensi panas bumi. Ilustrasi pengukuran di lapangan dapat dilihat pada Gambar 3. Hasil pengukuran di lapangan yang diolah dengan *software* MAPROS yang kemudian mendapatkan model 2D dengan menggunakan *software* ZONDMT2D.

HASIL DAN PEMBAHASAN

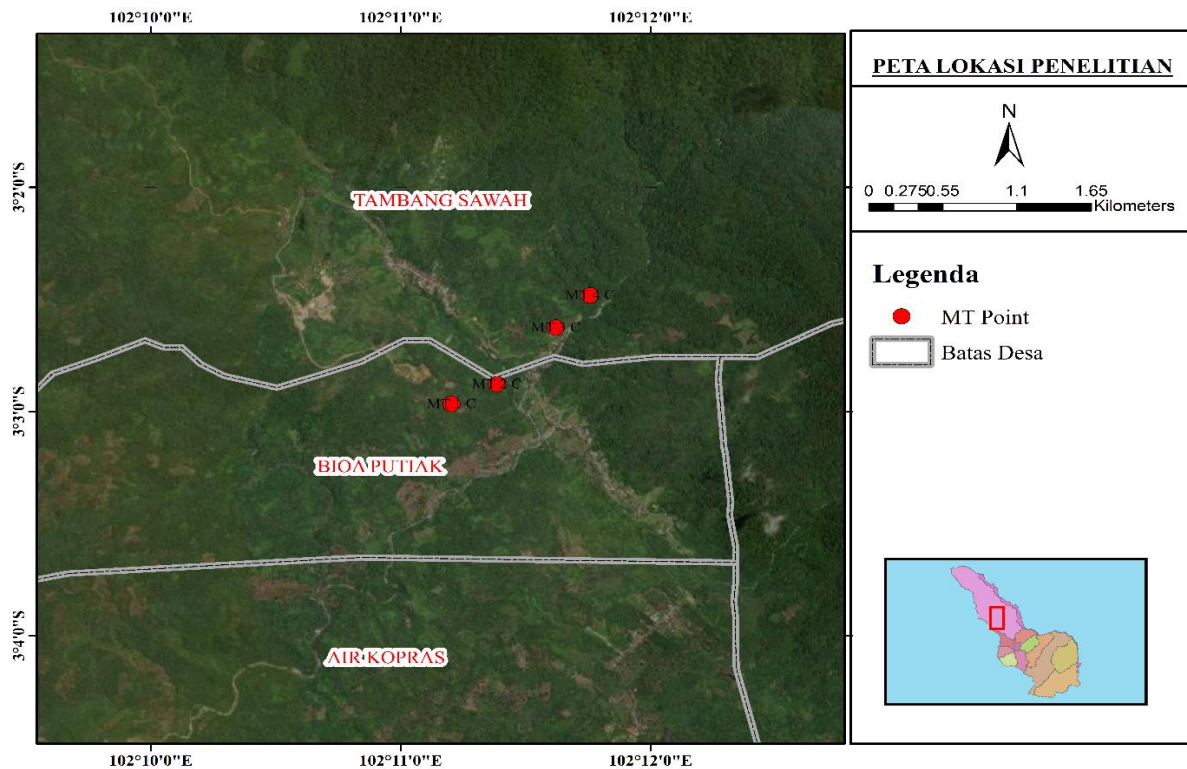
Model resistivitas 2D menunjukkan distribusi nilai resistivitas panas bumi daerah tambang sawah Kabupaten Lebong, pengukuran dilakukan dengan frekuensi rendah (128 Hz), sedang (1024 Hz), dan frekuensi tinggi (4096 Hz). Nilai resistivitas dibagi menjadi 3 kelompok yaitu resistivitas rendah dengan nilai (20-50 Ω .m), sedang (50-200 Ω .m), dan tinggi (>200 Ω .m), nilai resistivitas tinggi diperkirakan sebagai *heat source* (Sugianto dan A.W, 2012). Hasil penelitian menunjukkan potensi panas bumi berada pada kedalaman 1,8 km sampai 6,5 Km.

Penelitian di daerah yang sama (Raihana.H dkk, 2023) berdasarkan hasil pengukuran dengan metode geolistrik *Time Domain Induced Polarization* (TDIP), struktur bawah permukaan diperoleh dari penampang resistivitas dan *chargeability* dalam 2 dimensi. Karakteristik alterasi hidrotermal di daerah penelitian adalah terlihat: zona alterasi potasik, zona alterasi silikat, dan zona alterasi profilit.

Penelitian ini dilakukan di Kabupaten Lebong, tepatnya di Desa Tambang Sawah, Kecamatan Pinang Berlapis, Provinsi Bengkulu (Gambar 3). Secara astronomis terletak pada 105°-108° Bujur Timur dan 02°,65'-03°,60' Lintang Selatan di sepanjang Bukit Barisan serta terklasifikasi sebagai daerah perbukitan dengan ketinggian 500 mdpl sampai dengan 1.000 mdpl. Kabupaten Lebong memiliki energi primer panas bumi yang diperkirakan potensinya mencapai 600 MW dan tersebar pada tiga lokasi Bukit Gedang

Hulu Lais, Tambang Sawah dan Bukit Daun.

Berdasarkan gambar 5. Terdapat tiga hasil penampang, diantaranya penampang 1 merupakan data lapangan dengan nilai resistivitas semu, penampang 2 merupakan model kalkulasi antara data lapangan dan data model yang dihasilkan oleh *software*, dan penampang 3 merupakan hasil nilai resistivitas yang sebenarnya. Model penampang resistivitas 2D menunjukkan nilai resistivitas yang dapat digolongkan ke dalam tiga kelompok, yaitu resistivitas rendah, sedang, dan tinggi yang ditunjukkan pada Tabel 1. Resistivitas rendah (0.26 – 0.8 Ohm.m) yang ditampilkan dengan warna biru, diduga berasosiasi dengan lapisan *caprock* pada sistem Panas Bumi dengan kedalaman >0,8 km. Pada zona ini diidentifikasi terdapat jenis batuan lava andesitik dimana batuan ini telah mengalami ubahan. Sebagian ubahan berupa klorit dan lempung sehingga dapat menahan keluarnya fluida panas bumi ke atas permukaan karena batuan ini bersifat impermeabel (Andini dkk., 2020). Resistivitas sedang (20 - 50 Ohm.m) ditampilkan dengan warna hijau hingga kuning, diduga berasosiasi dengan lapisan reservoir pada sistem Panas Bumi yang berada pada kedalaman <1,5 km yang terperangkap di bawah *caprock*. Pada zona ini diperkirakan terdapat jenis batuan andesitik yang telah mengalami rekahan yang diduga sebagai tempat menyimpannya fluida panas bumi. Resistivitas tinggi (>300 Ohm.m) ditampilkan dengan warna oranye hingga merah, diduga berasosiasi dengan batuan sumber panas pada sistem Panas Bumi dengan kedalaman 1,8-6,5 km. *Hot rock* yang terdapat pada sistem panasbumi daerah Tambang Sawah Kabupaten Lebong, tersusun atas batuan metamorf dan beku (*igneous rock*) (Salam dan Harmoko, 2017). Batuan pemanas (*hot rock*) terdapat di bawah batuan reservoir.



Gambar 3. Lokasi Penelitian MT

Tabel 1. Pendugaan Pengelompokan Nilai Resistivitas ($\Omega.m$)

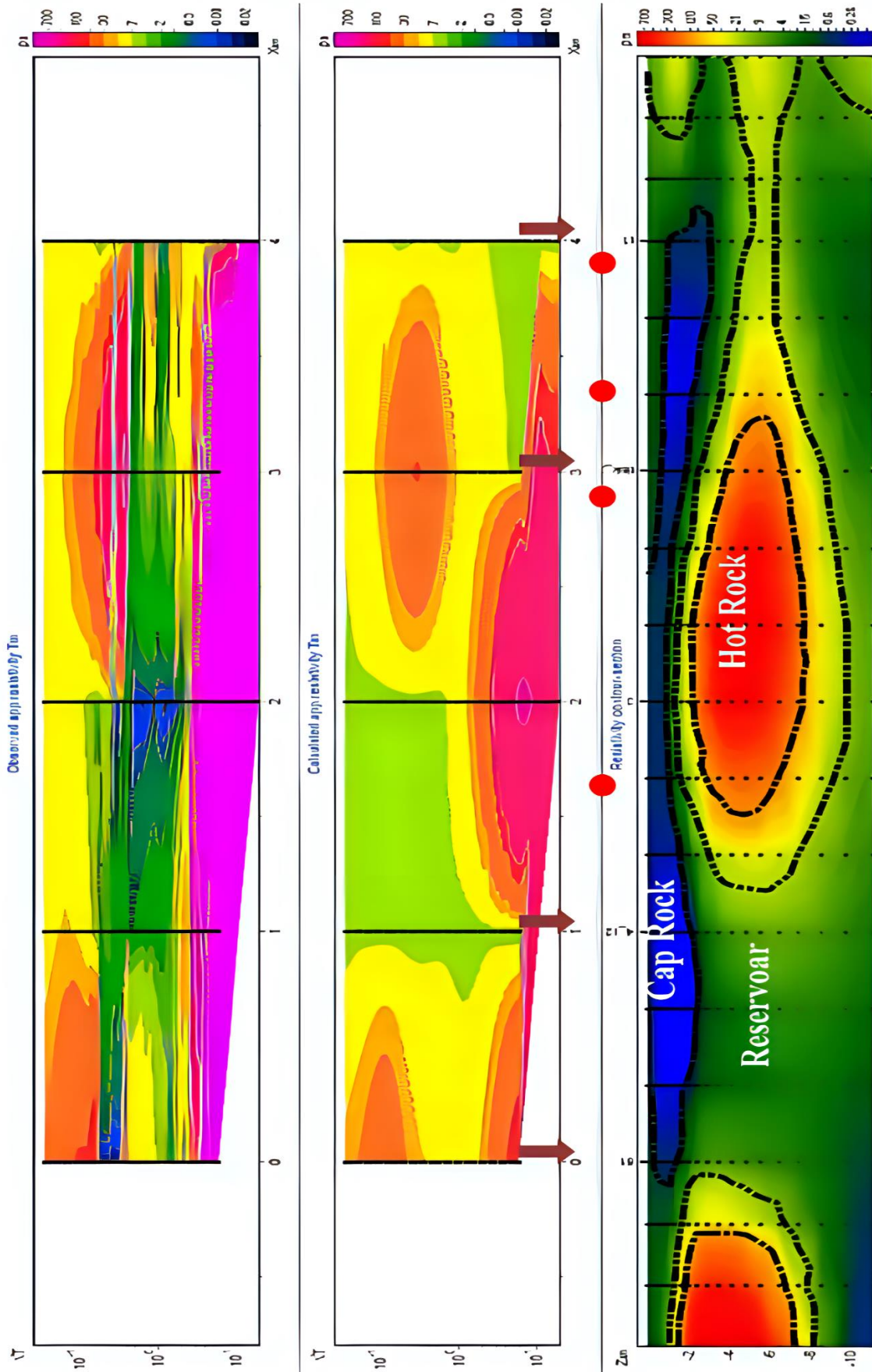
No	Resistivitas ($\Omega.m$)	Kedalaman (km)	Keterangan
1	0,26 – 0,8	> 0,8	Caprock
2	20 - 50	<1,5	Reservoir
3	>300	1,8-6,5	Hot Rock

Secara garis besar model ini memperlihatkan tiga fitur utama. Fitur pertama merupakan batuan dengan nilai resistivitas tinggi, yang diinterpretasikan sebagai batuan sumber panas. Fitur kedua adalah lapisan resistivitas rendah yang diinterpretasikan sebagai lapisan penudung (*caprock*). Fitur ketiga adalah lapisan resistivitas menengah yang diinterpretasikan sebagai lapisan reservoir, dengan ketebalan 2000 meter. Nilai resistivitas terkecil yang teramati pada bagian permukaan diinterpretasikan sebagai *overburden* yang tidak mengalami proses alterasi. Namun model inversi 2D yang dihasilkan tidak dapat membedakan antara reservoir berkarakter dominasi uap dan dominasi air.

KESIMPULAN

Model resistivitas 2D pada daerah Panas Bumi Tambang Sawah, Kabupaten Lebong menunjukkan bahwa daerah penelitian memiliki tiga kelompok nilai resistivitas, yaitu resistivitas rendah, sedang, dan tinggi. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa identifikasi nilai resistivitas daerah Desa Tambang Sawah, Kabupaten Lebong dibagi menjadi 3 lapisan yaitu nilai resistivitas antara 20-50 $\Omega.m$ dianggap sebagai lapisan reservoir yang berada pada kedalaman <1,5 km. Lapisan *caprock* diinterpretasikan memiliki nilai resistivitas 0,26-0,8 $\Omega.m$ dengan kedalaman >0,8 km serta nilai resistivitas tinggi >300 $\Omega.m$ diinterpretasikan sebagai batuan sumber panas dengan kedalaman 1,8 km sampai dengan 6,5 km.

Gambar 4. Model Resistivitas 2D



UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penelitian ini, dan didukung penuh oleh program studi Geofisika Universitas Bengkulu, terutama kepada dosen pembimbing yang telah membantu dalam proses pengolahan data hingga tahap interpretasi, yang telah mendampingi proses penulisan jurnal ini dengan sangat baik. Kami juga mengucapkan terima kasih kepada Kepala Desa dan masyarakat Desa Tambang Sawah, Kecamatan Pinang Belapis, Kabupaten Lebong, yang telah menerima kami dengan baik dan ramah saat kami melakukan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Andini, D., Lepong, P., Natalisanto, A.I., 2020. Identifikasi Kawasan Zona Panas Bumi (Geothermal) Di Daerah X Menggunakan Metode Magnetotellurik. *J. Geosains Kutai Basin* 3, 1–8.

Arief, R., Sukandar, M., Putra, C., 2018. Penelitian geologi medis daerah Lebong Tambang Kabupaten Lebong, Provinsi Bengkulu. *Bid. Miner.* 1–32.

Bemmelen, R.W.V.A.N., 1969. THE ALPINE LOOP OF THE TETHYS ZONE. *tectonophysiscs* 8, 107–113.

Fitrida, S.M., Sampurno, J., Ivansyah, O., Kholid, M., 2015. Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Metode Magnetotellurik di Kawasan Panas Bumi Wapsalit Kabupaten Buru Provinsi Maluku. *POSITRON V.*

Gafoer, s., T.C. Amin., & R.P., 2007. Peta geologi lembar Bengkulu, Sumatera [Peta] = Geological map of the Bengkulu quadrangle, Sumatera / oleh S. Gafoer, T.C. Amin dan R. Pardede. Bandung : Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, 2007.

Hana Raihana, Jesika Erni Elfrita Sinaga, Adinda Gusti Cahyani, Halauddin, Suhendra, Anggiat Hutaaruk, N.S., 2023. Identification of Alteration Zones Based on Resistivity and Induced Polarization Geoelectric Survey. *Jambura Geosci. Rev.* 5, 119–126.
<https://doi.org/10.34312/jgeosrev.v5i2.17931>

Hendra, G., 2013. *Metoda Magnetotellurik* 1–17.

Iqbal, M., Wachisbu, M., 2015. *Pemodelan Data Magnetotellurik Dengan Remote Reference Untuk Eksplorasi Cekungan Migas Studi Kasus : Lapangan Em-4 Dosen Pembimbing Remote Reference For Oil And Gas Basin Exploration Case Study : Em-4 Field.*

Iskandar, Z., 2008. Petrogenesis batuan vulkanik daerah tambang emas Lebong Tandai , Provinsi Bengkulu , berdasarkan karakter geokimianya. *Indones. J. Geosci.* 3, 57–73.

Kasbani, 2009. *TIPE SISTEM PANAS BUMI DI INDONESIA DAN ESTIMASI POTENSI ENERGINYA.* PMG – Badan Geol.

Mukazairo, D.S.E., Refrizon, R., Sugianto, N., 2020. Peta Anomali Magnetik Daerah Mineralisasi Emas Di Desa Tambang Sawah Kecamatan Lebong Utara Berdasarkan Pengukuran Magnetik. *Newton-Maxwell J. Phys.* 1, 19–24.
<https://doi.org/10.33369/nmj.v1i1.14292>

Putra, ilham dharmawan, Nasution, reza ade firdaus, Harijoko, A., 2017. Aplikasi Landsat 8 Oli/Tirs Dalam Mengidentifikasi Altrasi Hidrotermal Skala Regional : Studi Kasus Daerah Rejang Lebong dan Sekitarnya, Provinsi Bengkulu. *kebumian* 2, 56–63.

- Ramdhani, F., Setiawan, A., Raharjo, imam b., A, L., 2017. Pemodelan 2 dimensi data magnetotellurik berdasarkan analisis phase tensor dalam penentuan geoelectrical strike dan dimensionalitas data di Lapangan Panas Bumi “ X .” *youngster Phys. jaournal* 6, 205–212.
- Rosenkjær, G.K., 2011. Electromagnetic methods in geothermal exploration. 1D and 3D inversion of TEM and MT data from a synthetic geothermal area and the Hengill geothermal area, SW Iceland. Faculty of Earth Sciences School of Engineering and Natural Sciences University of Iceland.
- Salam, R.A., Harmoko, U., 2017. Pemodelan 2D Sistem Pana Bumi Daerah Garut Bagian Timur Menggunakan Metode Magnetotellurik. *Youngster Phys. J.* 6, 143–150.
- Sri, Setiawan, I., Fiqih, F.M., Fauzi, A.I., 2009. Batuan vulkanik.
- Sugianto, A., A.W, A.K., 2012. Survei Magnetotellurik Daerah Pana Bumi Kepahiang Kabupaten Kepahiang, Bengkulu [WWW Document]. Pus. Sumber Daya Geol.
- Suparno, S., 2009. Energi Panas Bumi. A present from the heart of the earth. Univ. Indones. Depok 13–26.
- Taufiquddin, 2014. Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Daerah Panas Bumi Dengan Metode Gravity (Studi Kasus di Daerah Sumber Air Panas Desa Lombang Kecamatan Batang-Batang Kabupaten Sumenep).
- Wulandari, J.C., Gaffar, E.Z., Zulaikah, S., P, N.A., 2017. Penentuan Struktur Litologi Daerah Panasbumi Probolinggo Menggunakan Metode Magnetotellurik (MT).

Diterima : 30 Desember 2022
Direvisi : 11 April 2023
Disetujui : 28 November 2023