

MODEL 3D SEBARAN HIDROTERMAL BERDASARKAN NILAI RESISTIVITAS DI DAERAH GEOWISATA TAMBANG SAWAH, LEBONG, BENGKULU

Sendiya Verentina¹, Suhendra¹, Refrizon¹, Intan Gayatriani¹, Halauddin¹

¹Program Studi Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam-Universitas Bengkulu
e-mail : suhendra@unib.ac.id

Abstrak. Di kawasan Geowisata Tambang Sawah, Kecamatan Pinang Berlapis, Kabupaten Lebong, Provinsi Bengkulu terdapat manifestasi permukaan berupa mata air panas dan uap panas. Manifestasi tersebut menunjukkan indikasi adanya potensi hidrotermal yang berada di bawah permukaan bumi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi potensi sebaran hidrotermal berdasarkan nilai resistivitas batuan dengan metode *Vertical Electrical Sounding* (VES) menggunakan konfigurasi *Schlumberger*. Akuisisi data menggunakan alat Resistivity m MAE X612 – EM VHR Multi-Channel yang dilakukan di 20 titik *sounding* dengan jarak tiap titik pengukuran berkisar antara 20 – 30 m dan panjang bentangan kabel 200 m. Pengolahan data diproses dengan *software* Progress 3.0, *software* strater 5 dan *software* surfer 28, sehingga diperoleh hasil berupa log resistivitas 1D dan model penampang resistivitas 3D yang digunakan untuk menggambarkan nilai resistivitas bawah permukaan. Hasil interpretasi memperlihatkan bahwa sebaran hidrotermal di daerah penelitian ini dominan di sisi barat dan selatan titik penelitian dengan nilai resistivitas yang diperoleh antara 0,2 – 7,60 $\Omega.m$ dengan kedalaman bervariasi antara 0,5 – 13 m. Dari titik *sounding* terlihat bahwa sebaran hidrotermal lebih banyak berada pada titik VES 1, VES 8, VES 10, VES 12 dan VES 16.

Kata Kunci: geolistrik; geowisata tambang sawah; hidrotermal

Abstract. In the Tambang Sawah Geotourism area, Pinang Berlapis District, Lebong Regency, Bengkulu Province, there are surface manifestations in the form of hot springs and hot steam. These manifestations show indications of hydrothermal potential below the earth's surface. The purpose of this research is to identify the potential for hydrothermal distribution based on rock resistivity values with the *Vertical Electrical Sounding* (VES) method using the *schlumberger* configuration. Data acquisition using the MAE X612 - EM VHR Multi-Channel Resistivitymeter tool was carried out at 20 sounding points with the distance of each measurement point ranging from 20 - 30 meters and a cable stretch length of 200 meter. Data processing is processed with progress 3.0, strater 5 and surfer 28 software, so as to obtain results in the form of 1D resistivity logs and 3D resistivity cross section models used to describe subsurface resistivity values. The interpretation results show that the hydrothermal distribution in this research area is dominant on the West and South sides of the research point with resistivity values obtained between 0.2 - 7.60 $\Omega.m$ with depths varying between 0.5 - 13 meters. From the sounding points, it can be seen that the hydrothermal distribution is more at points VES 1, VES 8, VES 10, VES 12 and VES 16.

Keywords: geoelectric; hydrothermal; tambang sawah geotourism

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu wilayah dengan kondisi geografis yang dilalui oleh zona *ring of fire* (Rizdinanti dan Jhanesta, 2021), Indonesia juga terletak di pertemuan antara tiga lempeng tektonik aktif yaitu lempeng Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik (Andini dkk., 2020; Ladiba dkk., 2018). Kondisi geografis ini menjadikan Indonesia sebagai daerah tektonik aktif yang memiliki deretan gunung api (Sutrisno dkk., 2019; Safitri dkk., 2022) dan menyebabkan adanya potensi energi panas bumi yang tersimpan pada sistem panas bumi di sekitar gunung api aktif tersebut (Ariyanto dkk., 2019; Rahmat dkk., 2023).

Geothermal atau yang lebih dikenal dengan panas bumi merupakan energi terbarukan, ramah lingkungan, dan rendah karbon (Wang dkk., 2017). Panas bumi dihasilkan oleh aktivitas magmatik yang tersimpan pada lapisan batuan di bawah permukaan dan membentuk sistem panas bumi (Umam dkk., 2018). Sistem panas bumi dapat dikategorikan menjadi beberapa jenis antara lain sistem hidrotermal, sistem vulkanik dan sistem vulkanik-hidrotermal. Di Indonesia sistem panas bumi umumnya berupa sistem hidrotermal (Arrizki dkk., 2017), dimana kondisi reservoirnya mengandung air panas, uap panas atau campuran keduanya (Pongoh dkk., 2020).

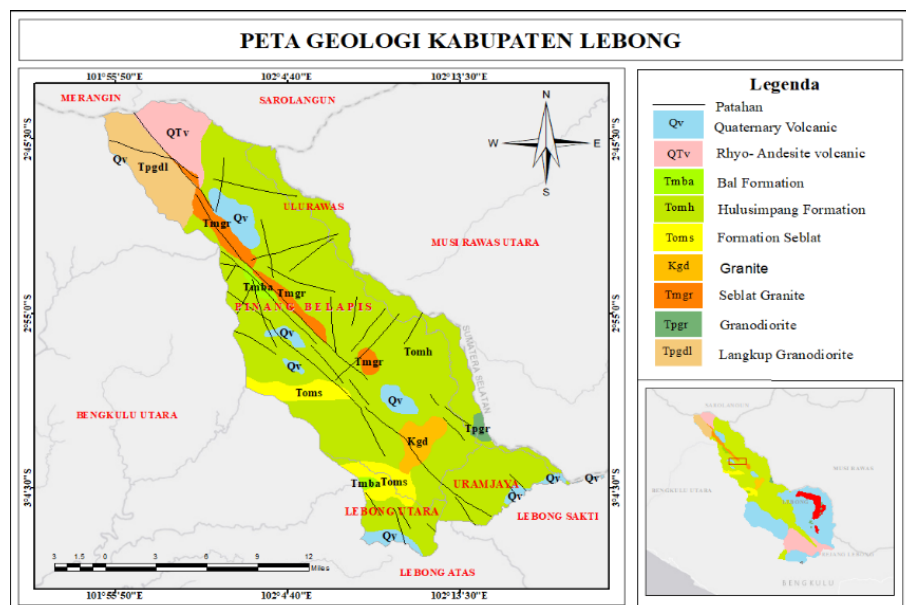
Sistem hidrotermal merupakan salah-satu sistem panas bumi yang terbentuk akibat perpindahan panas dari sumber panas yaitu magma ke sekeliling lapisan batuan (Revil dkk., 2023), dimana perpindahan tersebut dapat terjadi secara konduksi dan konveksi (Wenas dkk., 2022). Syarat untuk terbentuknya sistem hidrotermal

di suatu daerah harus adanya sumber panas (*heat source*) yang mampu memanaskan material di sekitarnya, harus adanya batuan reservoir, lapisan penutup, proses hidrologi, dan kondisi struktur geologi yang mendukung (Febriani, 2020). Sistem hidrotermal dikelompokkan menjadi tiga berdasarkan kondisi temperatur yaitu reservoir temperatur tinggi dengan suhu $>225^{\circ}\text{C}$, reservoir temperatur sedang dengan suhu sekitar $125 - 225^{\circ}\text{C}$, dan reservoir temperatur rendah dengan suhu $<125^{\circ}\text{C}$ (Putra dkk., 2023).

Salah-satu wilayah Indonesia yang terdapat sistem panas bumi dengan jenis sistem hidrotermal berada di Provinsi Bengkulu. Provinsi Bengkulu memiliki sistem panas bumi tersebut karena dilintasi oleh zona sesar Sumatra dengan arah sesar geser *dextral* memanjang dari utara pulau hingga selatan (Mukazairo dkk., 2020; Wilopo & Fathani, 2021). Potensi hidrotermal di Provinsi Bengkulu ini tepatnya terletak di Geowisata Desa Tambang Sawah, Kecamatan Pinang Belapis, Kabupaten Lebong dengan kondisi geologi yang dilintasi beberapa sesar aktif, yaitu sesar ketahun, sesar musi dan sesar daspetah (Lubis dkk., 2019). Selain itu, terdapat gunung api aktif yang merupakan bagian dari kompleks Gunung api Hulu Lais, Gunung api Bukit Daun serta daerah ini termasuk dalam zona jajaran bukit barisan, dengan ketinggian antara 500-1000 mdpl (Putra dkk., 2017).

Banyaknya sesar dan gunung api aktif menyebabkan daerah geowisata Tambang Sawah ini mempunyai potensi panas bumi, dibuktikan dengan adanya manifestasi yang muncul ke permukaan berupa mata air panas dan uap panas. Keberadaan manifestasi mata air panas di Desa Tambang Sawah mengakibatkan adanya perkembangan siklus hidrotermal pada lapisan batuan di atasnya (Sulistiani dkk., 2023). Berdasarkan karakteristiknya daerah panas bumi yang terdapat manifestasi mata air panas dan uap panas disebabkan adanya kondisi geologi yang mendukung seperti rekahan batuan yang terisi oleh air hujan, kemudian mengalir ke bawah permukaan mendekati sumber panas. Air yang terakumulasi pada batuan panas ini, akan terjadi kenaikan temperatur dan tekanan (Putri dan Malik, 2020). Seiring dengan perpindahan panas dan kenaikan tekanan, air akan mengalami perubahan fasa menjadi uap air (Wote dkk., 2023) serta menyebabkan air dan uap panas akan berusaha mencari rekahan batuan untuk menuju ke permukaan dan akan keluar sebagai manifestasi (Landung dkk., 2022).

Kondisi geologi daerah penelitian ini memiliki kelurusan struktur dari arah utara – selatan dan dari arah barat laut – tenggara, dengan stratigrafi batuan penyusun dari hasil vulkanik berupa formasi yang berumur kuartar (holosen) serta formasi berumur tersier (oligosen). Daerah Lebong memiliki beberapa formasi batuan diantaranya batuan gunung api kuartar (Q_v), formasi hulu simpang (T_{moh}), granit (K_{gd}), formasi seblat (T_{oms}), formasi bal (T_{mba}), batuan gunung api ryho-andesite (Q_{Tv}), granit seblat (T_{mgr}), granodiorit (T_{pgr}), granodiorit lungkup (T_{pgdl}) (Sugianto dkk., 2017; Surbakti dkk., 2021) formasi batuan tersebut akan mempengaruhi nilai resistivitas yang terukur nantinya. Sebaran formasi batuan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Geologi Kabupaten Lebong

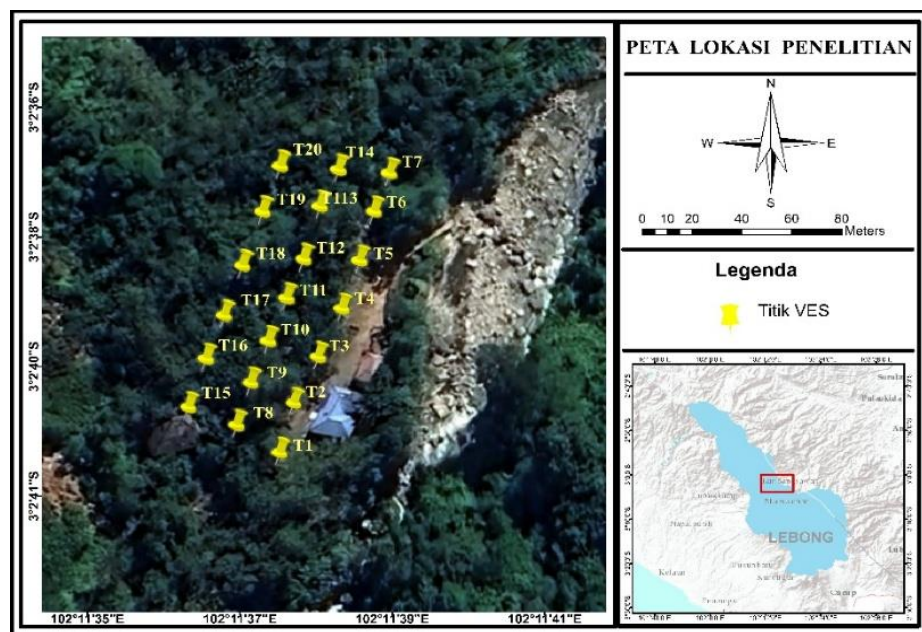
Menurut penelitian yang dilakukan oleh Nur (2021) di Wisata Air Putih Desa Lemeu Kabupaten Lebong, dengan metode *Time Domain Induced Polarization* (TDIP) konfigurasi *Dipole-dipole* dapat diketahui adanya

potensi panas bumi kawasan ini, dibuktikan hasil penelitian tersebut menunjukkan banyak batuan yang telah mengalami alterasi. Menurut Raihana (2023) yang melakukan penelitian di Desa Puguk dengan metode geolistrik konfigurasi *Wenner* menyimpulkan bahwa adanya potensi hidrotermal di daerah ini namun, sebaran hidrotermalnya hanya terletak pada lokasi tertentu. Maka dari itu, perlu adanya studi lebih lanjut terhadap daerah disekitar yang memiliki sistem hidrotermal dan menyimpan cadangan energi panas bumi, untuk mendukung pemanfaatan energi alternatif atau energi terbarukan agar lebih optimal.

Identifikasi sebaran hidrotermal ataupun kedalaman lapisan hidrotermal sangat penting dilakukan karena dapat menjadi indikator utama untuk menentukan potensi energi hidrotermal sebagai energi terbarukan yang layak untuk dimanfaatkan. Selain itu, memiliki implikasi penting untuk pemanfaatan dan perencanaan eksploitasi energi hidrotermal yang lebih efisien. Sehingga, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sebaran hidrotermal di daerah Geowisata Desa Tambang Sawah Kecamatan Pinang Belapis Kabupaten Lebong menggunakan metode *Vertical Electrical Sounding* (VES) dengan konfigurasi *schlumberger* dan direkonstruksi menjadi model 3D. Metode tersebut cocok digunakan dalam penelitian ini karena metode VES sangat baik untuk mengetahui zona hidrotermal, dengan menganalisis perbedaan resistivitas yang kontras.

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dengan geolistrik *sounding* di kawasan geowisata Desa Tambang Sawah, Kecamatan Pinang Berlapis, Kabupaten Lebong Provinsi Bengkulu. Secara kondisi geografis daerah penelitian terletak pada koordinat 3°02'38,09"LS - 102°11'39,33"BT. Pengukuran dilakukan di 20 titik *sounding* dengan jarak spasi 20 – 30 m, dan panjang bentangan pengukuran 200 m. Pada kawasan ini terlihat aktivitas vulkanik yaitu ditandai dengan adanya manifestasi berupa mata air panas yang memiliki suhu antara 50 °C – 85 °C (Kausari dkk., 2024). Desain survei pengukuran titik VES dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Peta Lokasi Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian adalah Resistivimeter MAE X612 – EM VHR Multi-Channel. Keunggulan alat ini adalah sudah menggunakan sistem yang bekerja secara otomatis dan digital untuk merekam resistivitas semu batuan, seperti pada Gambar 3. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode *vertical electrical sounding* (VES) dengan konfigurasi *schlumberger*. Metode geolistrik konfigurasi *schlumberger* cocok digunakan untuk investigasi zona hidrotermal karena memiliki sensitivitas tinggi terhadap distribusi resistivitas vertikal dengan anomali yang memiliki resistivitas kecil. Konfigurasi *schlumberger* juga memberikan hasil dengan resolusi vertikal yang baik sehingga dapat mendeteksi lapisan hidrotermal yang umumnya bersifat vertikal dan berlapis. Selain itu metode konfigurasi *schlumberger* memiliki penetrasi kedalaman yang lebih baik, serta proses pengambilan data yang efisien (Afandi dkk., 2018).

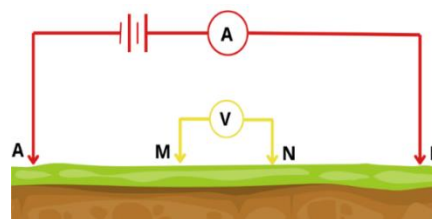


Gambar 3. Alat Resistivitymeter MAE X612 – EM VHR Multi-Channel

Metode geolistrik resistivitas merupakan salah satu metode geofisika untuk mengetahui kondisi lapisan bawah permukaan bumi dengan mengidentifikasi nilai resistivitas dan sifat kelistrikan lapisan batuan di dalam bumi serta mempelajari cara untuk mendeteksi parameter tersebut dari permukaan bumi (Rolia dan Sutjningsih, 2022). Resistivitas atau tahanan jenis merupakan kemampuan suatu jenis lapisan batuan untuk menghambat aliran listrik yang melaluinya. Dimana setiap jenis batuan memiliki resistivitas dan sifat kelistrikan yang berbeda tergantung pada komposisi penyusun batuan, porositas, densitas dan permeabilitas (Blázquez dkk., 2024; Domra dkk., 2015) perbedaan inilah yang akan digunakan sebagai data untuk menentukan lapisan bawah permukaan (Octova dkk., 2019).

Penelitian dilakukan secara *sounding* menggunakan 4 buah elektroda dengan jarak elektroda bervariasi. Elektroda tersebut memiliki fungsi masing – masing, yaitu 2 buah elektroda untuk elektroda potensial (MN) dan 2 buah elektroda lainnya untuk elektroda arus (AB) untuk menginjeksikan arus listrik ke bawah bumi. Sumber daya arus listrik berasal dari *accumulator* (*direct current*) yang dihubungkan dengan kabel rol ke elektroda (Kanata dan Zubaidah, 2017).

Keunggulan konfigurasi *schlumberger* yaitu dapat mendeteksi keberadaan lapisan batuan di bawah permukaan bumi yang bersifat *non-homogenitas*, dengan cara menganalisis perbandingan nilai resistivitas semu pada saat terjadi perubahan jarak elektroda MN dan pertambahan panjang jarak antar elektroda AB, dimana jarak $AB > MN$. Perubahan jarak seharusnya tidak lebih besar dari $1/5$ dari jarak AB. Pada saat panjang jarak elektroda ditambah maka akan semakin dalam lapisan batuan yang terdeteksi (Rofifah dkk., 2021). Susunan elektroda dalam pengukuran geolistrik metode VES dengan konfigurasi *schlumberger*, dapat diamati pada Gambar 4.



Gambar 4. Formasi elektroda AB dan MN konfigurasi *schlumberger*

Berdasarkan Gambar 4. faktor geometri dari konfigurasi *schlumberger* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

$$K = 2\pi \left[\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right]^{-1} \quad (2)$$

$$\Delta V = V_M - V_N \quad (3)$$

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right] \quad (4)$$

Dengan:

ρ_a : resistivitas semu ($\Omega.m$)

K : faktor geometri (m)

ΔV : beda potensial (V)

I : arus listrik (A)

AB : elektroda arus

MN : elektroda potensial

Nilai resistivitas semu (ρ_a) merupakan nilai yang diperoleh dari hasil pengukuran dilapangan, nilai tersebut akan di inversi dengan *software progress* 3.0 untuk memperoleh nilai resistivitas sebenarnya dan dikorelasi dengan *software strater* 5 agar dapat diketahui litologi batuan berdasarkan resistivitas *log* 1D. Data *log* resistivitas yang didapatkan dilakukan interpolasi untuk memperoleh model 3D menggunakan *software surfer* 28 sehingga dapat diketahui sebaran lapisan hidrotermal berdasarkan nilai resistivitas dan jenis batuan.

Zona hidrotermal memiliki resistivitas 0,2 – 7,60 $\Omega.m$ sedangkan air tanah memiliki resistivitas antara 10 – 100 $\Omega.m$ sesuai dengan hasil penelitian Safitri (2022) yang dilakukan di daerah Cagar. Selain itu, menurut hasil penelitian dari Kasaya (2020) diperoleh hasil bahwa nilai resistivitas untuk hidrotermal adalah < 5 $\Omega.m$. Berdasarkan dari dua hasil penelitian itu, dapat disimpulkan bahwa nilai resistivitas hidrotermal lebih kecil dari pada resistivitas air tanah (*freshwater*) dan lebih kecil dari lapisan batuan lainnya. Untuk resistivitas setiap jenis lapisan batuan dapat dilihat pada Tabel 1.

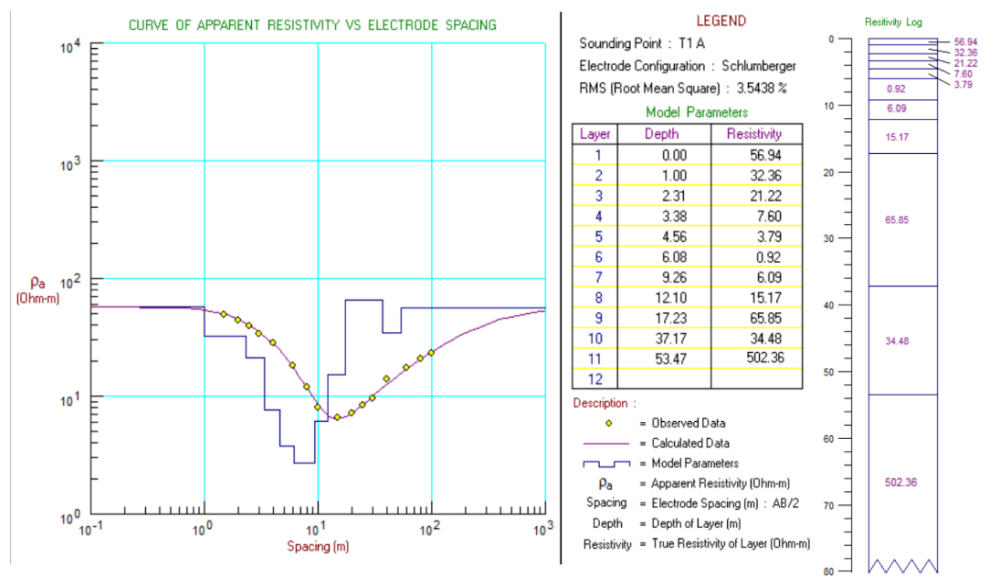
Tabel 1. Nilai resistivitas jenis batuan dan mineral (Telford dkk., 1990)

No	Types of rock and minerals (Jenis mineral dan batuan)	Resistivitas Batuan ($\Omega.m$)
1	Clay (Lempung)	1 – 100
2	Bedrock (Batuan dasar)	300 – 900
3	Gravel (Kerikil)	100 – 600
4	Water (Air)	1 – 100
5	Sand (Pasir)	1 – 600
6	Sandy Gravel (Kerikil Pasiran)	100 – 150
7	Brackish water / swamp water (Air payau / air rawa)	0,3 – 5
8	Alluvium	40 – 400
10	Sandstone (Batu pasir)	1 – 6 x 10 ⁸
11	Conglomerate (Konglomerat)	2 – 103 x 10 ⁴
12	Surface Water (Air permukaan)	30 – 3 x 10 ³
13	Sea Water (Air laut)	0,2

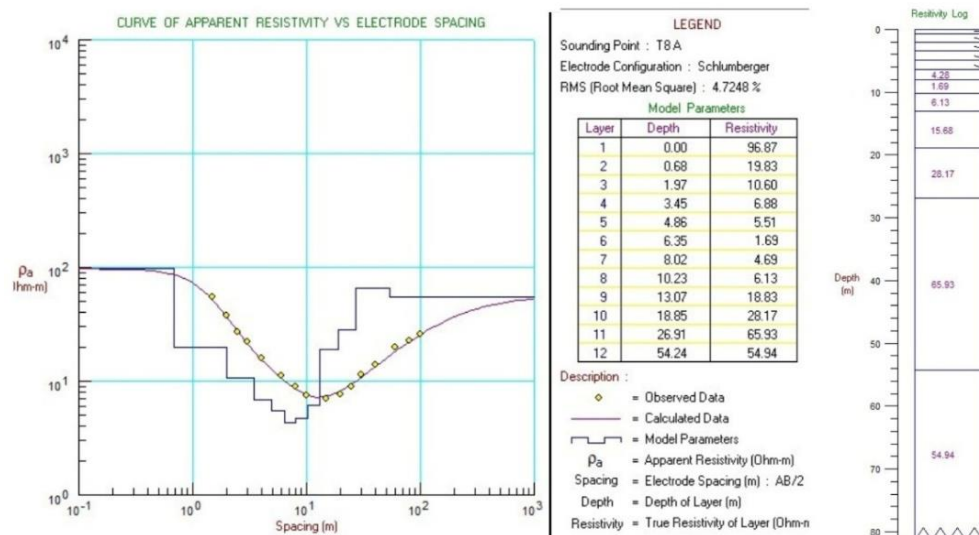
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan data geolistrik dari 20 titik VES dilakukan dengan *software progress* 3.0 untuk mendapatkan penampang litologi 1D berupa *log* resistivitas dengan cara pemodelan secara inversi untuk mengetahui kecocokan model data dengan kondisi model yang sebenarnya di lapangan. Dalam pencocokan model harus memperhatikan nilai maksimal *error* atau *Root Mean Square* (RMS), model yang baik adalah model yang mendekati kondisi sebenarnya dan model yang memiliki RMS di bawah 5%. *Log* resistivitas yang didapatkan dari hasil pengolahan data bertujuan untuk mengetahui nilai resistivitas sebenarnya setiap lapisan batuan di bawah permukaan.

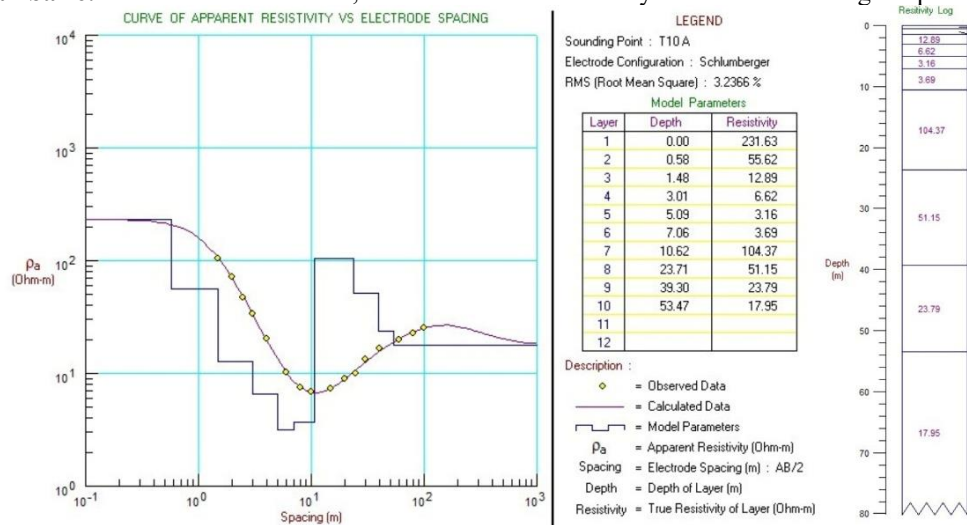
Berdasarkan hasil pengolahan data, didapatkan kurva hubungan antara *apparent resistivity* terhadap *electrode spacing* dan diperoleh nilai resistivitas sebenarnya setiap lapisan bawah permukaan. Kurva tersebut terdiri dari model data dengan warna ungu dan parameter model atau jumlah lapisan yang terdapat pada data tersebut dengan warna biru, dari hasil pengolahan data tersebut didapatkan nilai resistivitas geolistrik berkisar antara 0,2 - 548 $\Omega.m$ dengan kedalaman investigasi 80 m, yang dapat diamati pada Gambar 5 sampai dengan Gambar 10.



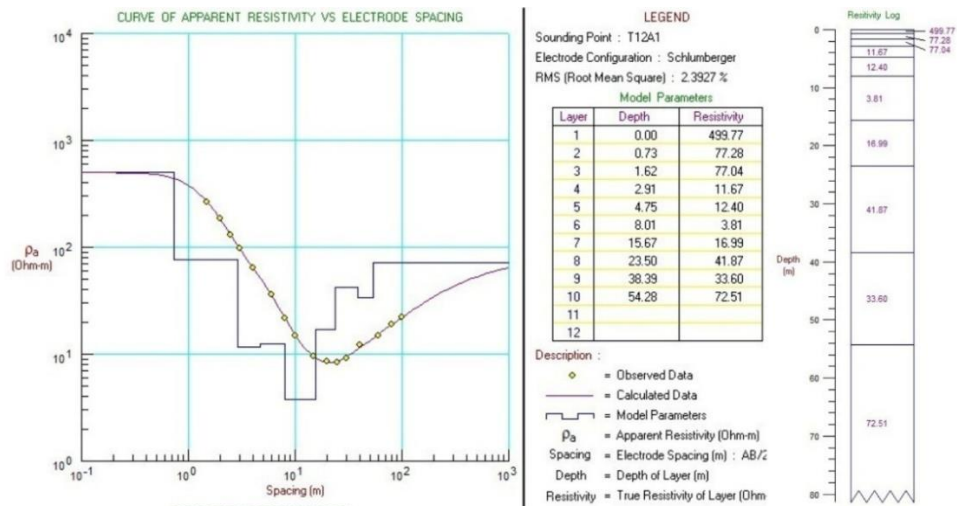
Gambar 5. Kurva resistivitas semu, tabel resistivitas sebenarnya dan resistivitas log 1D pada VES 1



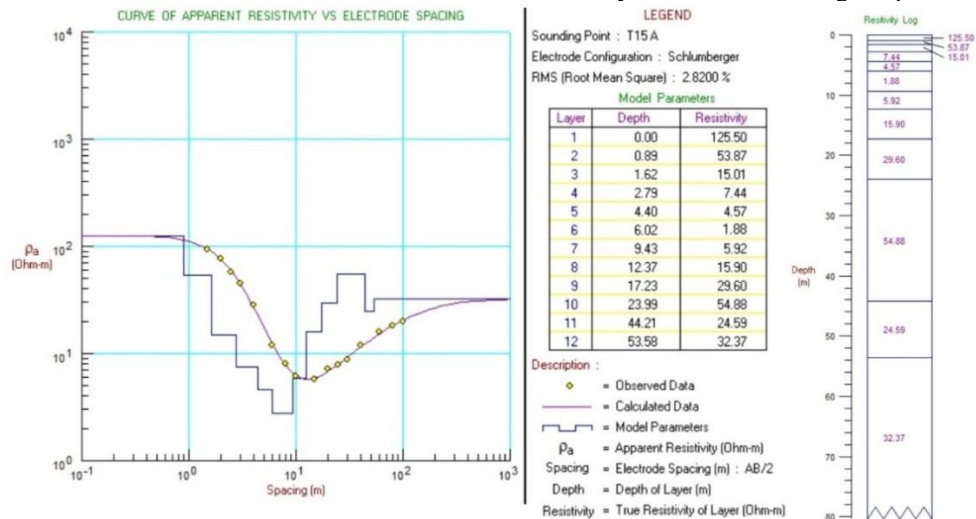
Gambar 6. Kurva resistivitas semu, tabel resistivitas sebenarnya dan resistivitas log 1D pada VES 8



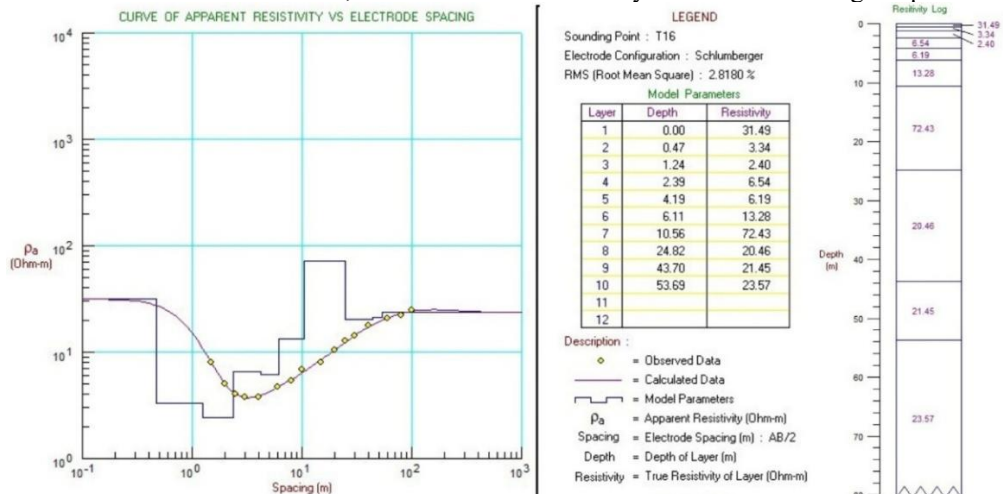
Gambar 7. Kurva resistivitas semu, tabel resistivitas sebenarnya dan resistivitas log 1D pada VES 10



Gambar 8. Kurva resistivitas semu, tabel resistivitas sebenarnya dan resistivitas log 1D pada VES 12



Gambar 9. Kurva resistivitas semu, tabel resistivitas sebenarnya dan resistivitas log 1D pada VES 15



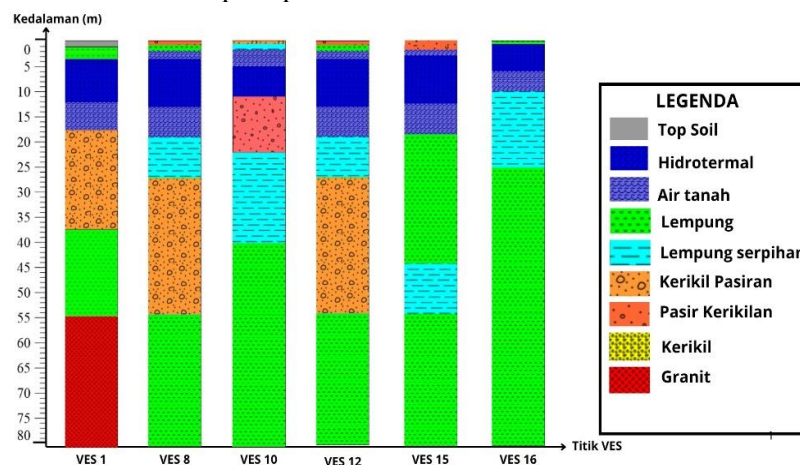
Gambar 10. Kurva resistivitas semu, tabel resistivitas sebenarnya dan resistivitas log 1D pada VES 16

Dari log resistivitas 1D menunjukkan bahwa kedalaman hidrotermal bervariasi, dari kedalaman 0,5 – 13 m, serta ketebalan lapisan hidrotermal yang berbeda di setiap titik VES antara 1 – 9,5 m. Untuk mengetahui kedalaman dan ketebalan lapisan hidrotermal di setiap titik VES secara lebih mendetail dideskripsikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai resistivitas, kedalaman, ketebalan dari lapisan hidrotermal dan RMS setiap titik VES

Titik VES	Kedalaman Hidrotermal (m)	Ketebalan Hidrotermal (m)	Nilai Resistivitas ($\Omega.m$)	RMS (%)
1	3 – 12	8	0,92 – 7,60	3,548
2	4 – 8	4	1,25 – 5,33	1,917
3	5 – 7	2	4,86	2,664
4	2,5 – 7	4,5	1,04 – 6,62	2,185
5	4 – 9	4	3,40 – 4,65	2,344
6	6 – 11	5	2,29 – 5,75	2,991
7	-	-	-	3,505
8	3,5 – 13	9,5	1,69 – 6,88	4,724
9	5 – 8	3	0,42 – 12,3	3,316
10	5 – 11	6	3,16 – 6,69	3,236
11	8 – 12,5	3,5	3,23	3,551
12	8 – 16	8	3,81	2,392
13	-	-	-	2,989
14	-	-	-	1,536
15	3 – 12,2	8,2	1,88 – 7,44	2,820
16	0,5 – 8,5	7	2,40 – 6,19	2,818
17	-	-	-	2,663
18	5 – 10	5	1,55 – 6,40	1,730
19	0,5 – 4	3,5	0,76 – 5,74	2,247
20	1 – 2	1	0,29	2,256

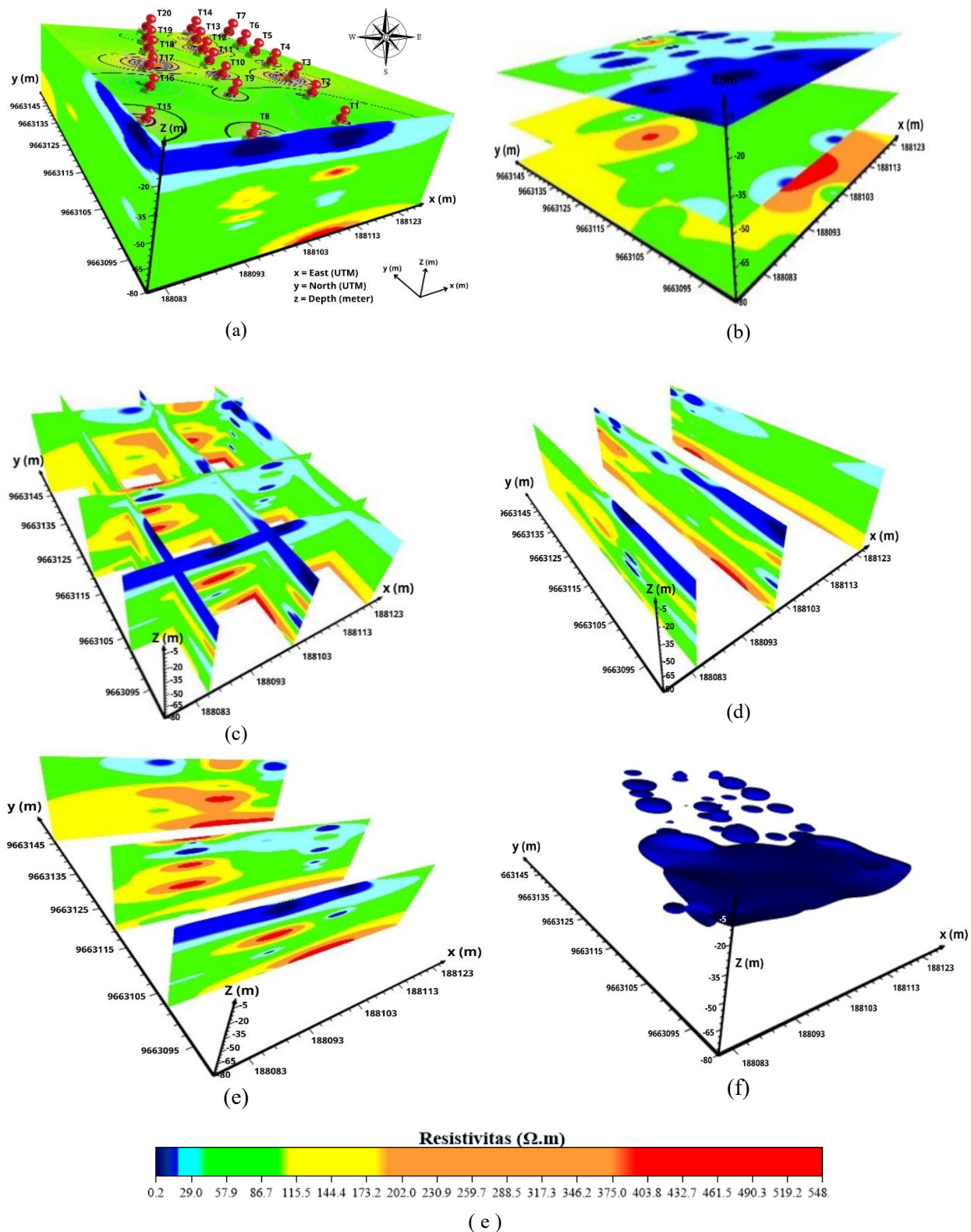
Dari Tabel 2. dapat diketahui bahwa lapisan hidrotermal yang memiliki ketebalan dominan pada titik VES 1, VES 8, VES 10, VES 12, VES 15 dan VES 16. Sedangkan di titik VES 7, VES 13, VES 14, dan VES 17 tidak adanya lapisan hidrotermal. Kondisi litologi dari lapisan hidrotermal pada 6 titik VES tersebut dapat digambarkan secara lebih mendetail seperti pada Gambar 11.



Gambar 11. Log resistivitas 1D terhadap kondisi litologi di lapisan hidrotermal

Nilai resistivitas setiap lapisan batuan pada penampang *log* resistivitas 1D kemudian diklasifikasikan jenis lapisan batuan nya berdasarkan Tabel 1 nilai resistivitas dan mineral (Telford dkk., 1990) dan kondisi geologi Desa Tambang Sawah pada Gambar 1 Hasil *log* resistivitas pada Gambar 11 menunjukan bahwa daerah penelitian tersebut memiliki 4 – 6 jenis lapisan batuan. Setiap lapisan batuan tersebut menggambarkan kondisi litologi bawah permukaan di geowisata Desa Tambang Sawah yang terdiri dari kerikil pasiran (*sandy gravel*), hidrotermal, Top Soil, kerikil (*gravel*), pasir kerikilan (*gravel sand*), lempung (*clay*), lempung serpih (*clay shale*), air tanah (*groundwater*) dan batuan granit (*granite*).

Dari nilai resistivitas masing – masing titik VES kemudian di korelasikan membentuk model 3D menggunakan *software* Surfer 28. Hasil korelasi tersebut terdiri dari tiga lintasan titik VES sejajar seperti Gambar 12 (a) dengan jarak setiap titik VES yaitu 20 – 30 m. Hasil model 3D teridentifikasi bahwa sebaran hidrotermal seperti Gambar 12.



Gambar 12. (a) Model 3D resistivitas kombinasi kontur permukaan, (b) Model 3D sayatan horizontal berlapis bidang xy, (c) Model sayatan kombinasi vertikal xz dengan yz, (d) Model 3D sayatan berlapis bidang vertikal xz, (e) Model 3D sayatan berlapis bidang vertikal yz dan (f) model lapisan hidrotermal.

Pada Gambar 12 merupakan hasil pengolahan nilai resistivitas menggunakan *software* Surfer yang menghasilkan penampang model 3D resistivitas, dan model 3D berupa sayatan secara vertikal dan *horizontal*. Pada model 3D di sumbu x menjelaskan nilai longitude (*east*), sumbu y nilai latitude (*north*) dalam satuan UTM dan sumbu z memuat nilai kedalaman (*depth*) dengan satuan meter, untuk semua titik VES seperti pada

gambar 12 (a). Nilai resistivitas setiap lapisan batuan diwakilkan oleh setiap warna tertentu yang dapat dilihat pada *color scale*.

Model 3D horizontal pada Gambar 12 (b) menunjukkan hasil berupa 3 sayatan penampang xy, setiap lapisan sayatan mewakili tiap kedalaman lapisan bawah permukaan yaitu, sayatan pertama dari kedalaman 0 – 8,65 m, sayatan kedua dari kedalaman 8,66 – 45,65 m, dan sayatan ketiga dari kedalaman 45,66 – 80 m. Pada lapisan sayatan secara vertikal xz dan yz didapatkan hasil sayatan sebanyak 3 sayatan seperti terlihat pada Gambar 12 (d) dan 12 (e) dengan masing-masing jarak tiap lapisan sayatan adalah sekitar 25 - 35,50 m, serta kedalaman maksimal bidang vertikal ini sebesar 80 m. Selain itu untuk melihat kemenerusan hubungan antar hasil sayatan, dilakukan kombinasi dari model sayatan vertikal xz dengan yz seperti pada Gambar 12 (c).

Berdasarkan model resistivitas 3D dari Gambar 12 diperoleh hasil dengan nilai resistivitas dari 0,2 – 548 Ω .m. Model 3D tersebut dapat diinterpretasikan setiap lapisan batuan dari nilai resistivitas mengacu pada Tabel 1. Nilai resistivitas jenis batuan oleh Telford (1990) dan kondisi geologi setempat Gambar 1. Pada model warna biru tua kehitaman merupakan lapisan hidrotermal yang memiliki resistivitas 0,2 – 7.6 Ω .m. Lapisan hidrotermal memiliki nilai resistivitas yang kecil disebabkan oleh sifat konduktivitas batuan yang tinggi, dimana nilai resistivitas berbanding terbalik dengan sifat konduktivitas suatu material. Lapisan hidrotermal di geowisata Tambang Sawah pada penelitian ini memiliki nilai resistivitas lebih kecil dibandingkan oleh penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Cahyadi (2024) dimana nilai resistivitas hidrotermalnya antara 6.66 – 23.5 Ω .m.

Pada Gambar 12 warna biru merupakan lapisan air tanah memiliki resistivitas 10 – 16,5 Ω .m. Warna biru muda dengan resistivitas 16,6 – 30 Ω .m adalah *clay shale* (lempung serpih) dan warna hijau dengan resistivitas 30 – 100 Ω .m adalah *clay* (lempung) yang memiliki fungsi sebagai lapisan penutup hidrotermal (lapisan *permeable*). Batu pasir kerikil dan kerikil pasiran memiliki nilai resistivitas 100 – 150 Ω .m diwakilkan lapisan berwarna kuning dan kerikil memiliki nilai resistivitas 160 – 480 Ω .m dengan warna *oranye*, serta warna merah merupakan batuan granit atau batuan keras yang memiliki nilai resistivitas 480–548 Ω .m.

Dari hasil penelitian dan pengolahan data serta interpretasi dari model 3D resistivitas diketahui bahwa kedalaman lapisan hidrotermal di geowisata Desa Tambang Sawah Kabupaten Lebong bervariasi, di bagian timur daerah penelitian kedalaman hidrotermal berkisar antara 3 – 12 m dengan lapisan hidrotermal terdalam berada di titik VES 1 dengan kedalaman 12 m. Sementara itu, di sisi bagian barat kedalaman hidrotermal berkisar antara 0,5 – 12,2 m di bawah permukaan, dan lapisan hidrotermal terdalam di titik VES 15 pada kedalaman 12,2 m seperti pada Tabel 2. Kedalaman hidrotermal di bagian timur yang berdekatan dengan sungai lebih dangkal dibandingkan kedalaman hidrotermal dari arah barat, hal tersebut disebabkan oleh pengaruh kondisi geologi dan topografi di lokasi penelitian, dimana sisi timur mempunyai elevasi yang lebih tinggi. Dapat diketahui bahwa sebaran hidrotermal memiliki kedalaman tidak merata di setiap titik VES semakin jauh kesisi barat dari sungai lapisan hidrotermalnya semakin tebal dan kedalamannya semakin dalam. Sedangkan, semakin ke arah utara kedalaman hidrotermal tersebut semakin dangkal dan sampai di titik VES 13 dan VES 14 tidak terdapat lapisan hidrotermal. Untuk melihat sebaran hidrotermal dan lapisan batuan yang memiliki nilai resistivitas berbeda secara lebih mendetail dapat diamati pada Gambar 12 dari berbagai posisi secara vertikal dan horizontal.

Model 3D resistivitas menunjukkan daerah sebaran hidrotermal dengan nilai resistivitas berkisar 0,29 – 7,60 Ω .m dengan warna biru tua lebih dominan pada bagian tengah di sisi selatan dan barat yaitu pada titik VES 1, titik VES 8, titik VES 10, titik VES 12, dan titik VES 16 mengalir dari arah timur ke barat menjauhi aliran sungai hal ini dikarenakan kondisi topografi bagian timur yang lebih tinggi. Dapat dilihat pula pada Gambar 12 (b) dan 12 (c), arah sumber panas yang memanaskan lapisan air berasal dari sisi tenggara pada titik VES 1 melurus ke arah barat laut pada titik VES 20 hal ini dapat diketahui dari lapisan batuan granit yang terpanaskan, batuan granit yang terpanaskan tersebut dominan pada kedalaman lapisan sekitar 65 – 80 m.

PENUTUP

Simpulan dan Saran

Model resistivitas 3D di daerah geowisata Tambang Sawah, Kecamatan Pinang Berlapis, Kabupaten Lebong, dengan metode geolistrik VES konfigurasi *schlumberger*, menunjukkan bahwa daerah penelitian ini memiliki potensi hidrotermal yang tidak merata dengan nilai resistivitas 0,2 – 7,60 Ω .m dengan kedalaman relatif dangkal antara 0,5 – 13 m. Kedalaman lapisan hidrotermal di sisi barat dan selatan lebih dalam dibandingkan sisi utara dan timur, dengan kedalaman 3,5 – 13 m dan 3 – 12,2 m. Sedangkan pada sisi timur dan utara dengan kedalaman lebih dangkal, yaitu 5 - 7 m dan 1 - 2 m. Hidrotermal tersebut mengalir dari arah timur ke barat menjauhi aliran sungai dan potensi hidrotermal dominan pada titik VES 1, VES 8, VES 10, VES 12, VES 15 dan VES 16. Sedangkan semakin ke arah utara kedalaman hidrotermal tersebut semakin dangkal dan sampai di titik VES 13 dan VES 14 tidak terdapat lapisan hidrotermal.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh disarankan untuk penelitian selanjutnya untuk menganalisis lebih banyak sampel data geolistrik untuk mengetahui sebaran hidrotermal di daerah penelitian secara lebih luas. Serta perlu dilakukan penelitian dengan menggunakan metode lain untuk memvalidasi atau merekonstruksi hasil dari penelitian ini misalnya seperti analisis dengan metode magnetotellurik (MT) agar dapat diketahui resistivitas batuan yang lebih dalam (deteksi heat source, patahan dan rekahan). Selain itu, analisi heat flow juga penting dilakukan untuk memperkirakan besarnya energi panas yang tersimpan, sehingga bisa menilai kelayakan suatu daerah untuk dikembangkan sebagai sumber panas bumi ataupun dengan metode mendukung lainnya.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih sedalamnya penulis haturkan kepada semua pihak yang telah berkontribusi untuk membantu dan juga mendukung dalam proses menyelesaikan penelitian ini serta terima kasih kepada semua pihak Laboratorium Geofisika FMIPA Universitas Bengkulu yang telah mengizinkan penggunaan semua fasilitas untuk survei lapangan dan perangkat lunak untuk pengolahan data.

DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, A., Catrawedarma, I. G. N. B., Maryanto, S., Nadhir, A., Zaman, M. B., & Pambudi, N. A. (2018). Identification of reservoir thickness of Ijen (Geothermal Prospect Area, Indonesia) using resistivity method with Schlumberger configuration. *International Journal of GEOMATE*, 15(52), 68–75. <https://doi.org/10.21660/2018.52.42716>
- Andini, D., Lepong, P., & Natalisanto, A. I. (2020). Identifikasi Kawasan Zona Panas Bumi (Geothermal) Di Daerah X Menggunakan Metode Magnetotellurik. *Jurnal Geosains Kutai Basin*, 3(1), 1–8.
- Ariyanto, S. V., Joni, I., Prasetyowati, E., Susilo, A., & Yunanto, F. (2019). Geothermal investigation uses a dipole-dipole configuration geoelectric methods with delphi programming. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(8–99), 50–56. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.160803>
- Arrizki, R., Syafri, I., Patonah, A., & Auza, A. (2017). Karakteristik Alterasi Bawah Permukaan Sumur RA Kerja Panas Bumi Wayang Windu, Pangalengan, Jawa Barat, 132–140.
- Blázquez, S. C., Martín Nieto, I., Carrasco, J., Carrasco, P., Porras, D., Maté-González, M. Á., ... González-Aguilera, D. (2024). Applying Deep Electrical-Resistivity Tomography Techniques for the Exploration of Medium- and Low-Geothermal Energy Resources. *Energies*, 17(8). <https://doi.org/10.3390/en17081836>
- Cahyadi, W., Panca, B., Wilzam, M., Rahayu, S., Zamrawi, R., Saputra, B., & Syaputra, E. W. (2024). Identification of Hydrothermal Reservoirs Using the Dipole-Dipole Configuration, 14(1), 30–36.
- Domra Kana, J., Djongyang, N., Raïdandi, D., Njandjock Nouck, P., & Dadjé, A. (2015). A review of geophysical methods for geothermal exploration. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, 87–95. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.12.026>
- Febriani, S. D. A. (2020). Self Potential untuk Pendugaan Reservoir Sistem Panas Bumi Blawan. *Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*, 17(1), 66. <https://doi.org/10.20527/flux.v17i1.5920>
- Kanata, B., & Zubaidah, T. (2017). Aplikasi Metode Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi Wenner- Schlumberger Untuk Survey Pipa Bawah Permukaan Bulkis. *Aplikasi Metode Geolistrik*, 7(2), 84–91.
- Kasaya, T., Iwamoto, H., Kawada, Y., & Hyakudome, T. (2020). Marine DC resistivity and self-potential survey in the

hydrothermal deposit areas using multiple AUVs and ASV. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 31(5), 579–588. <https://doi.org/10.3319/TAO.2019.09.02.01>

- Kausari alfata. (2024). Identification of Hydrothermal Distributions Using the WennerSchlumberger Configuration Geoelectric Method in Lemeu Village, Lebong Regency, Bengkulu. *Indonesian Physical Review*, 7(2), 250–258.
- Ladiba, A. F., Putriyana, L., Sibarani, B. B., & Soekarno, H. (2018). Review of subduction and its association with geothermal system in Sumatera-Java. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 103(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/103/1/012021>
- Landung, B., Wenas, D. R., Nusa, J. G. N., & Bujung, C. A. N. (2022). Pola Gradien Temperatur Bawah Permukaan Dangkal Manifestasi Panas Bumi Desa Noongan Tiga Kabupaten Minahasa. *Jurnal FisTa : Fisika Dan Terapannya*, 3(2), 12–18. <https://doi.org/10.53682/fista.v3i2.207>
- Lubis, A. M., Butarbutar, D. C., Suhendra, & Samdara, R. (2019). Investigasi Sudut Pergerakan Sesar di Musi Kepahiang dengan Menggunakan Metode Geolistrik. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 20(2), 67–72.
- 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 Journal of Physics*, 1(1), 19–24. <https://doi.org/10.33369/nmj.v1i1.14292>
- Nur Mayke Indah. (2021). Identifikasi Zona Batuan Alterasi Hidrotermal Dengan Metode Time Domain Induced Polarization (TDIP) (Studi Kasus: Di Air Putih Kecamatan Pinang Berlapis Kabupaten Lebong, 6.
- Octova, A., Muji, A. S., Raeis, M., & Putra, R. R. (2019). Identification of aquifer using geoelectrical resistivity method with schlumberger array in Koto Panjang Area, Nagari Tigo Jangko, Lintau Buo Sub-District, Tanah Datar Regency. *Journal of Physics: Conference Series*, 1185(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1185/1/012009>
- Pongoh, O., Wenas, D. R., & Mandang, T. (2020). Studi Karakteristik Batuan Manifestasi Panas Bumi Di Sekitar Gunung Tampusu. *Jurnal FisTa : Fisika Dan Terapannya*, 1(2), 67–72. <https://doi.org/10.53682/fista.v1i2.93>
- Putra, I. D., Nasution, R. A. F., 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(3), 56–63.
- Putra, A. D., Pedraza, P. R. R., & Sari, R. L. (2023). Tinjauan Komprehensif Evaluasi Potensi Penerapan Enhanced Geothermal System Lanjutan: Fracking dan Hydroshearing. *Journal of Sustainable Energy Development*, 1(1), 16–34.
- Putri, C. S., & Malik, U. (2020). Analisa Kedalaman Air Panas Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi Schlumberger Di Objek Wisata Air Panas Pawan, 17(2), 87–91.
- Rahmat, A., Raihana, R., & Loverly, V. P. (2023). Delinasi Nilai Resistivitas Di Lapangan Panas Bumi Tambang Sawah Menggunakan Metode Magnetotelluric Method, 18(7), 145–154.
- Raihana, H., Nazli, K., Suhendra, S., Refrizon, R., & Halauddin, H. (2023). Investigation of the Geothermal Resource Potential Using Geoelectrical Method With the Wenner Configuration: a Case Study in Lebong Regency, Indonesia. *Indonesian Physical Review*, 6(2), 177–188. <https://doi.org/10.29303/ipr.v6i2.225>
- Revil, A., Finizola, A., & Gresse, M. (2023). Self-potential as a tool to assess groundwater flow in hydrothermal systems: A review. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 437(March 2022), 107788. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2023.107788>
- Rizdinanti, D. A. K., & Jhanesta, W. (2021). Identification of Hydrothermal Alteration Distribution with Composite Band Landsat 8 OLI TIRS Case Study: Mount Papandayan, Garut, Indonesia. *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST)*, 1979(3), 12–19.
- Rofifah Nabilah, M. Siaman, Ronni Saragih, Suhendra, J. E. E. S. (2021). Pendugaan air tanah (aquifer) dengan metode Vertical Electrical Sounding (VES) 1D di Perumahan Medan Baru. *Jurnal Penelitian Sains*, 21(3), 163–167.
- Rolia, E., & Sutjiningsih, D. (2022). Application of Geoelectric Method for Groundwater. *AIP Conference Proceedings*, 020018(June).
- Safitri, A., Andaresta, E., & Suaidi, D. (2022). Identifikasi Lapisan Hidrotermal Dengan Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner. *Jurnal MIPA Dan Pembelajaran*, 2(4), 291–299. <https://doi.org/10.17977/um067v2i3p291-299>

- Sugianto, N., Farid, M., & Suhendra, S. (2017). Kondisi Geologi Lokal Kota Bengkulu Berdasarkan Ground Shear Strain (Gss). *Spektra: Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 2(1), 29–36. <https://doi.org/10.21009/spektra.021.05>
- Sulistiani, A., Sinaga, Y. C., Siaman, M., & Setiawan, A. (2023). Struktur Bawah Permukaan Di Daerah Geothermal Menggunakan Seismik Refraksi *, 8(1).
- Surbakti Amsal, Frans Harapenta Thania, Putri Firdaus and Mochamad, M. I., & Mia, O. (2021). Preliminary Investigation of Geothermal Potential with Remote Sensing Based on Satellite Imagery: Case Study in Air Putih Area, Lebong Regency, Bengkulu. *Proceedings, 10th ITB International Geothermal Workshop*, (July).
- Sutrisno, L., Bonte, D., Daud, Y., Smit, J., Beekman, F., Wees, J. D. Van, & Purwanto, W. (2019). Assessing the Role of Pull-Apart Basins for High-Temperature Geothermal Resources in Transcurrent Tectonic Setting: Sumatra and California Compared. *European Geothermal Congress*, (June), 1–8.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). Applied Geophysics. *Cambridge University Press*, 40. <https://doi.org/10.23960/jge.v8i2.189>
- Umam, M. F., Muhammad, F., Adityama, D., & Purba, D. (2018). Tantangan Pengembangan Energi Panas Bumi Dalam Perannya terhadap Ketahanan Energi di Indonesia. *Swara Patra : Majalah Ilmiah PPSDM Migas*, 8(3), 48–65.
- Wang, G. L., Zhang, W., Liang, J. Y., Lin, W. J., Liu, Z. M., & Wang, W. L. (2017). Evaluation of Geothermal Resources Potential in China. *Acta Geoscientica Sinica*, 38(4), 449–459. <https://doi.org/10.3975/cagsb.2017.04.02>
- Wenas, D. R., Mongan, S., & Cristoper Anthe, W. (2022). Analisis Batuan Pada Tanah Beruap Dan Tanah Hangat Menggunakan Sem-Edx Dan Ftir Di Desa Tondangow, Tomohon. *Jurnal FisTa : Fisika Dan Terapannya*, 3(2), 44–47. <https://doi.org/10.53682/fista.v3i2.213>
- Wilopo, W., & Fathani, T. F. (2021). The mechanism of landslide-induced debris flow in geothermal area, bukit barisan mountains of sumatra, indonesia. *Journal of Applied Engineering Science*, 19(3), 688–697. <https://doi.org/10.5937/jaes0-29741>
- Wote, J., Palilingan, R. N., Rende, J., & Nusa, J. G. N. (2023). Analisis Karakteristik Tipe Fluida Mata Air Panas Di Hutan Pinus Lahendong Dengan Menggunakan Spektrofotometri. *Jurnal FisTa : Fisika Dan Terapannya*, 4(1), 35–40. <https://doi.org/10.53682/fista.v4i1.240>