

INTERPRETASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN PANAS BUMI DAERAH MATA AIR PANAS KALIULO DENGAN METODE GEOLISTRIK KONFIGURASI WENNER

Lya Munawaroh*, Supriyadi, Agus Yulianto, Mahardika Prasetya Aji

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang,
Semarang

*Corresponding author: Lyamunawaroh1699@students.unnes.ac.id

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian yang bertujuan untuk memodelkan struktur bawah permukaan di area manifestasi panas bumi daerah Mata Air Panas Kaliulo Kabupaten Semarang dan untuk mengetahui pola sebaran daerah reservoir di daerah tersebut. Penelitian ini dilakukan di sekitar daerah Mata Air Panas Kaliulo, Desa Klepu, Kecamatan Pringapus, Kabupaten Semarang. Pengambilan data dilakukan melalui akuisisi geolistrik konfigurasi wenner dengan menggunakan resistivimeter bertipe Naniura NRD-300 yang dilakukan pada empat lintasan yang membentang 150 meter di sekitar mata air panas. Pengolahan data dan pemodelan struktur bawah permukaan dilakukan dengan menggunakan software MS. Office Excel, Res2DinV, Voxler, dan Rockwork. Hasil penelitian menunjukkan pemodelan inversi secara 2D pada Res2DinV dan pemodelan 3D pada Voxler dan Rockwork diketahui bahwa struktur bawah permukaan daerah penelitian tersusun oleh beberapa lapisan yang didominasi oleh lapisan tanah berpasir dan marls yang memiliki nilai resistivitas antara $0.109 - 2.92 \Omega m$. Pola sebaran fluida panas di sekitar mata air panas tidak kontinu dan diduga berasal dari lapisan tersebut karena mengandung material-material konduktif pembawa fluida panas hingga muncul ke permukaan melalui rekahan batuan.

Kata kunci: Geotermal, geolistrik, konfigurasi wenner, kaliulo.

PENDAHULUAN

Energi panas bumi adalah energi panas yang berasal dari dalam bumi yang terkandung di dalam air panas, uap air, serta batuan bersama mineral ikutan dan gas lainnya. Di sekitar lereng timur hingga ke selatan dan di bagian barat laut daerah Ungaran tersebar merata manifestasi panas bumi yaitu di daerah Gonoharjo, Nglimut, Karangjoho, Jatikurung, Diwak, dan Kaliulo. Selain mata air panas, manifestasi di sekitar Gunung Ungaran berupa *fumarole*, tanah panas, dan batuan ubahan yang muncul hanya di sekitar daerah Gedongsongo (Rezky *et al.*, 2012). Berdasarkan kompilasi anomali, geologi, geokimia, dan geofisika, total luas prospek panas bumi Gunung Ungaran adalah 10 km^2 dengan potensi sebesar 110 MWe (Zarkasyi *et al.*, 2011).

Panas bumi memiliki kaitan dengan mekanisme pembentukan magma dan aktivitas vulkanik yang ada di bumi. Secara umum panas bumi mensyaratkan harus tersedianya air, batuan pemanas, batuan sarang, dan batuan penutup (Juliani & Rahmatsyah, 2016). Terdapat empat macam *reservoir* panas bumi yaitu *reservoir*

hidrotermal, *reservoir geopressure* (tekanan tinggi), *reservoir hot dry rock* (batuan panas kering), dan *reservoir magma* (Zarkasyi *et al.*, 2015).

Metode geolistrik merupakan salah satu metode geofisika yang digunakan untuk eksplorasi struktur bawah permukaan bumi dengan mempelajari sifat kelistrikan batuan di bawah permukaan bumi (Febriani *et al.*, 2020). Macam-macam metode geolistrik antara lain metode arus tellurik, magnetotellurik, potensial diri, elektromagnetik, *Induced Polarization* (IP), resistivitas (tahanan jenis) dan lain-lain (Arif, 2016). Metode Geolistrik menggunakan konsep dasar Hukum Ohm yang secara sederhana ditunjukkan pada Persamaan 1 dan 2.

$$V \propto I \text{ atau } V = I \cdot R \quad (1)$$

$$R \propto \frac{L}{A} \text{ atau } R = \rho \frac{L}{A} \quad (2)$$

Prinsip metode geolistrik resistivitas menggunakan dua buah elektroda arus dan dua buah elektroda potensial disusun dengan aturan tertentu, sehingga dapat menggambarkan lapisan batuan di bawah permukaan bumi (Reynolds, 2011). Konfigurasi elektroda yang digunakan dalam metode geolistrik yaitu konfigurasi *Schlumberger*, konfigurasi *Wenner*, konfigurasi *Wenner-Schlumberger*, konfigurasi *dipole-dipole*, konfigurasi *pole-pole*, dan konfigurasi *azimuth dipole* (Saputra *et al.*, 2020). Teori dasar perhitungan nilai resistivitas suatu bahan menggunakan Hukum Ohm yang dinyatakan dalam hubungan matematis pada Persamaan 3.

$$\frac{V}{L} = \rho \frac{1}{A} \quad (3)$$

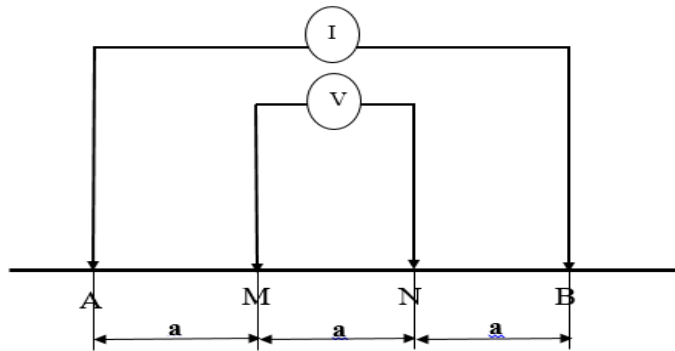
Di mana ρ adalah resistivitas dengan satuan Ωm . Nilai resistivitas yang didapatkan pada pengukuran geolistrik bukan resistivitas sebenarnya, melainkan campuran berbagai harga resistivitas beberapa macam batuan yang disebabkan karena variasi vertikal ataupun lateral (Wahidah *et al.*, 2021). Hasil pengukuran langsung inilah yang dikenal dengan resistivitas semu (ρ_a) yang ditunjukkan dalam Persamaan 4.

$$\rho_a = K \frac{\nabla V}{I} \quad (4)$$

Dengan ρ_a adalah resistivitas semu yang bergantung pada spasi elektroda, ∇V adalah beda potensial, I adalah arus. K sebagai faktor geometri yang

mempengaruhi nilai resistivitas yang diukur dan bergantung pada geometri susunan elektroda yang digunakan (Darmawan *et al.*, 2014).

Konfigurasi Wenner terdiri dari dua buah elektroda arus dan dua elektroda potensial yang disusun dengan jarak elektroda sama panjang. Elektroda arus ditempatkan di bagian luar dan elektroda potensial ditempatkan pada bagian dalam dengan jarak antar elektroda sebesar a (Syukri, 2020). Penempatan atau konfigurasi elektroda arus dan potensial ini seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Konfigurasi elektroda arus AB dan potensial MN (Sumber: Hi *et al.*, 2018)

Faktor geometri pada konfigurasi Wenner dapat ditentukan melalui Persamaan 5 (Prihadi *et al.*, 2013).

$$K_w = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM}\right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN}\right)} \quad (5)$$

$$= \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2a}\right) - \left(\frac{1}{2a} - \frac{1}{a}\right)}$$

$$K_w = 2\pi a \quad (6)$$

Adapun nilai resistivitas pada konfigurasi Wenner ditunjukkan dalam Persamaan 7.

$$\rho_w = K_w \frac{\Delta V}{I} \quad (7)$$

Keterangan:

- ρ_w = Resistivitas semu
- K_w = Faktor geometri
- a = Jarak elektroda
- V = Besarnya tegangan
- I = Besarnya arus.

ist



202

gar

Data hasil inversi kemudian dicocokkan dengan informasi geologi daerah penelitian untuk mengetahui struktur bawah permukaan dan kedalaman *reservoir* panas bumi daerah penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

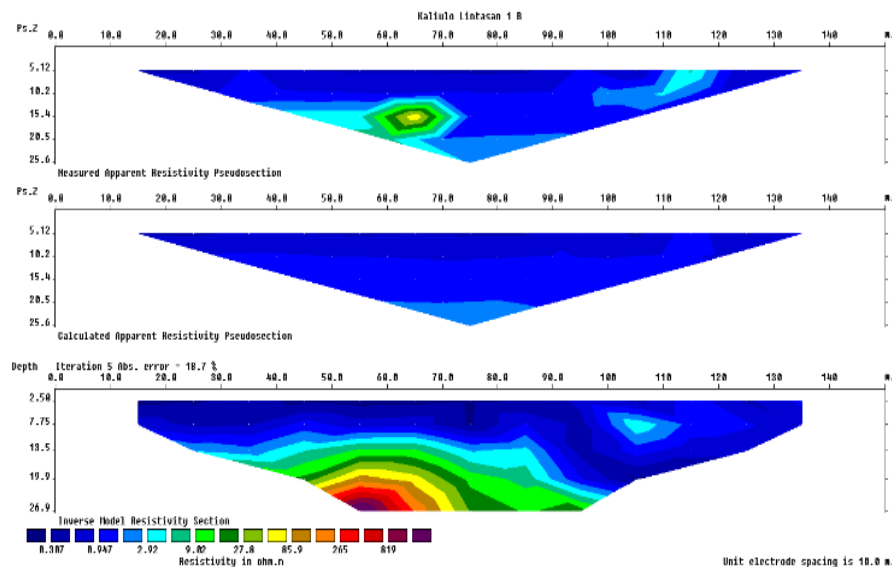
A. Hasil Pengukuran Akuisisi Geolistrik

Pengukuran dilakukan pada 4 lintasan dengan masing-masing lintasan jarak spasi antar elektroda (a) terkecil sejauh 10 meter. Data tersebut disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Koordinat Lintasan Pengukuran

Lintasan	Koordinat		Orientasi	Panjang Lintasan
	X	Y		
1	7°10'28.1" LS	110°28'25.42" BT	Timur laut-Barat daya	150 m
2	7°10'28.1" LS	110°28'25.39" BT	Barat daya-Timur laut	150 m
3	7°10'27.8" LS	110°28'25.52" BT	Utara-Selatan	150 m
4	7°10'28.51" LS	110°28'24.92" BT	Barat laut-Tenggara	150 m

Hasil inversi lintasan 1 dapat dilihat pada Gambar 3. Adapun struktur bawah permukaan lintasan 1 ditunjukkan pada Tabel 2.

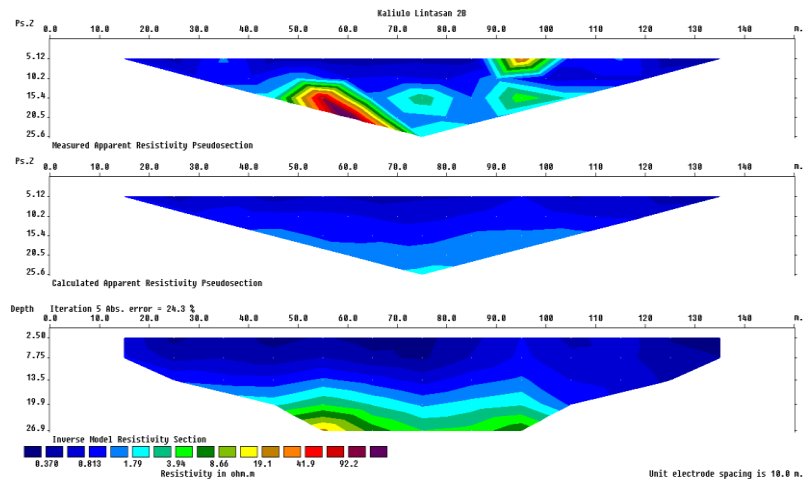


Gambar 3. Hasil pengolahan data dengan *software Res2Dinv* lintasan 1

Tabel 2. Nilai resistivitas lintasan 1

Nilai Resistivitas (Ωm)	Kedalaman (m)	Jarak (m)	Material	Warna
0.307-0.947	1-19.9	15-135	Tanah berpasir	Biru tua sampai biru muda
0.947-2.92	3-25	20-115		
9.02-27.8	13.5-26.9	30-100	<i>Marls</i>	Hijau kebiruan sampai hijau tua
27.8-85.9	15-26.9	45-75	Batu pasir tufan	Hijau tua sampai coklat tua
262-819	21-26.9	50-60	Lempung	Jingga sampai merah
819	24-26.9	50-60	Batu gamping	Merah tua sampai ungu

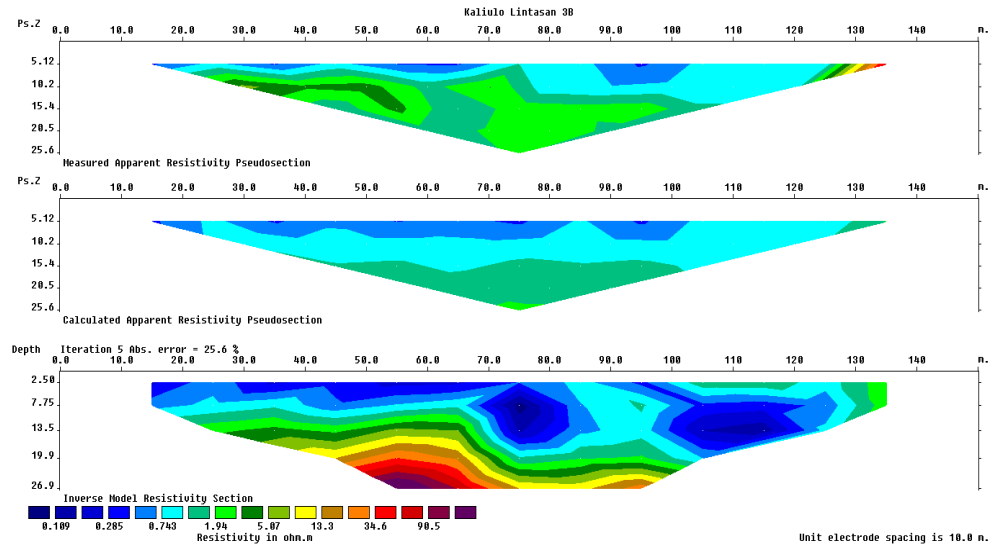
Hasil inversi lintasan 2 dapat dilihat pada Gambar 4. Adapun struktur bawah permukaan lintasan 2 terdiri dari beberapa lapisan yang memiliki resistivitas berbeda ditunjukkan pada Tabel 3.

Gambar 4. Hasil inversi dengan *software Res2Dinv* lintasan 2

Tabel 1. Nilai resistivitas lintasan 2

Nilai Resistivitas (Ωm)	Kedalaman (m)	Jarak (m)	Material	Warna
0.370-0.813	1-19.9	15-135	Tanah berpasir	Biru tua sampai biru muda
0.813-1.79	1-24	15-105		
1.79-3.94	13-26.9	25-105		
3.94-8.66	15-26.9	45-100	<i>Marls</i>	Hijau kebiruan muda sampai coklat
8.25-18.4	21-26.9	50-65		

Hasil inversi lintasan 3 dapat dilihat pada Gambar 5. Struktur bawah permukaan lintasan 3 terdiri dari beberapa lapisan yang memiliki resistivitas berbeda ditunjukkan pada Tabel 4.

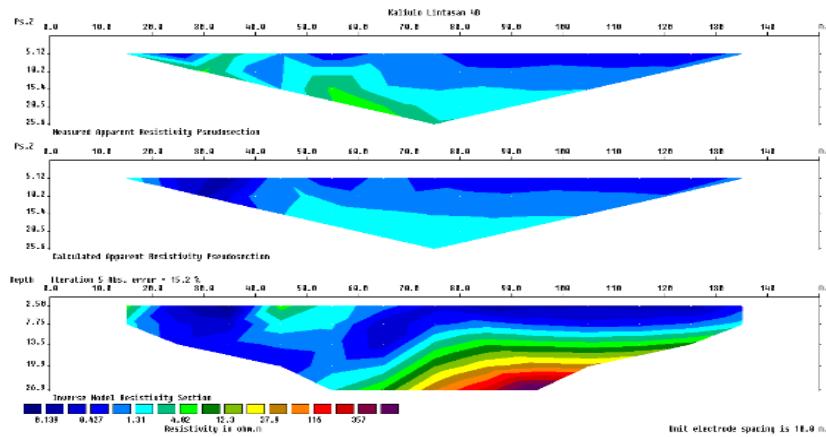


Gambar 5. Hasil pengolahan data dengan *software Res2Dinv* lintasan 3

Tabel 4. Nilai resistivitas lintasan 3

Nilai Resistivitas (Ωm)	Kedalaman (m)	Jarak (m)	Material	Warna
0.109-0.285	1-19.9	15-123	Top soil	Biru tua sampai hijau muda
0.285-1.94	1-22	15-135		
5.07-13.3	12.5-26.9	25-98	Batupasir	Hijau tua sampai coklat
13.3-34.6	14-26.9	35-98	Batupasir	Hijau muda sampai coklat
90.5	21-26.9	50-65	Breksi	Jingga sampai merah

Hasil inversi lintasan 4 dapat dilihat pada Gambar 6. Struktur bawah permukaan lintasan 4 terdiri dari beberapa lapisan yang memiliki resistivitas berbeda yang ditunjukkan pada Tabel 5.



Gambar 6. Hasil pengolahan data dengan *software Res2Dinv* lintasan 4

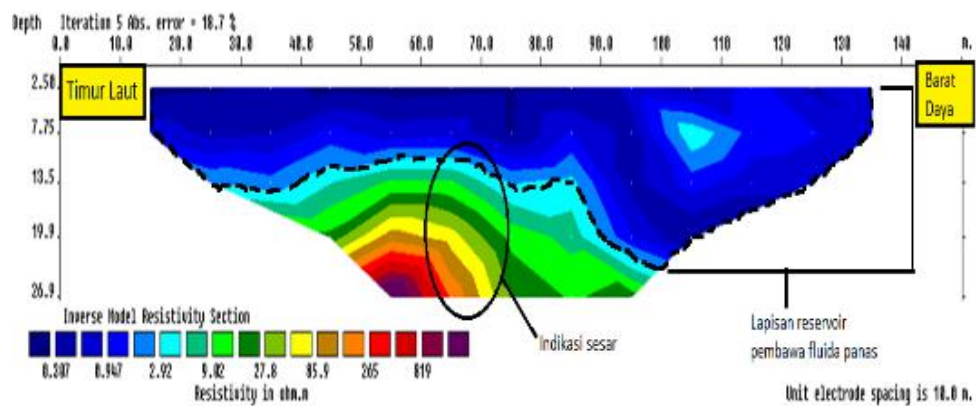
Tabel 2. Nilai resistivitas lintasan 4

Nilai Resistivitas (Ωm)	Kedalaman (m)	Jarak (m)	Material	Warna
0.139-0.427	1-22	19-135	<i>Top soil</i>	Biru tua sampai biru muda
0.427-1.31	1-26.9	15-135		
4.02-12.3	1-26.9	15-134	<i>Marls</i>	Hijau kebiruan sampai hijau
12.3-37.9	14-26.9	65-125	Batu lempung	Hijau sampai coklat
116	20-26.9	73-104	Batu pasir	Jingga sampai merah
357	22-26.9	85-100	Lempung	Merah tua sampai ungu

B. Interpretasi Data

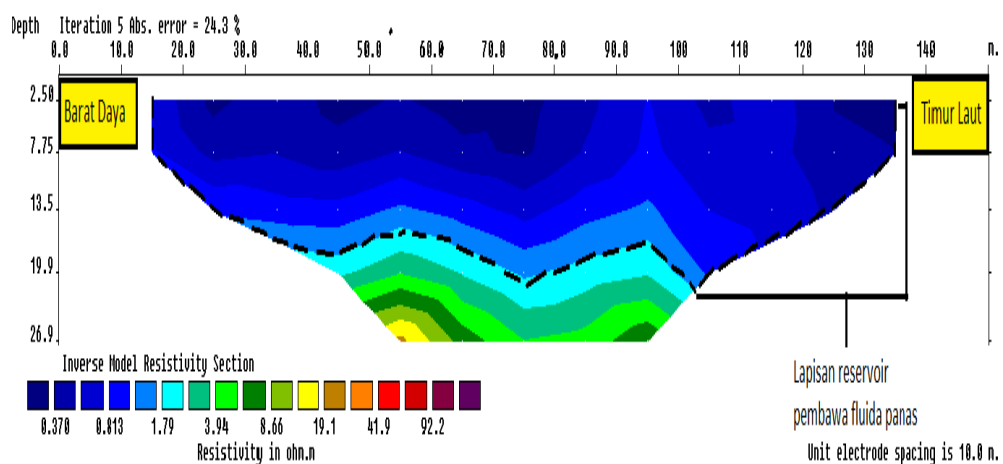
Pada lintasan 1, lapisan yang diduga sebagai *reservoir* fluida panas bumi adalah lapisan tanah berpasir karena memiliki resistivitas yang sangat rendah serta tersusun atas material-material konduktif. Lapisan ini diperoleh pada kedalaman $\pm 1-19.9$ meter dengan nilai resistivitas berkisar $0.307-2.92 \Omega m$. Dugaan *reservoir* panas bumi ditandai dengan munculnya mata air panas pada meter ke 63-70 dari titik awal pengukuran.

Berdasarkan Gambar 7 terdapat indikasi sesar yang terletak pada jarak 63 meter terhadap titik awal pengukuran ditandai dengan kontras resistivitas antara $2.92 - 27.8 \Omega m$ dan hasil inversi yang menunjukkan kedudukan batuan sebelah kanan (barat daya) lebih rendah daripada batuan sebelah kiri (timur laut).



Gambar 7. Penampang hasil inversi 2D lintasan 1

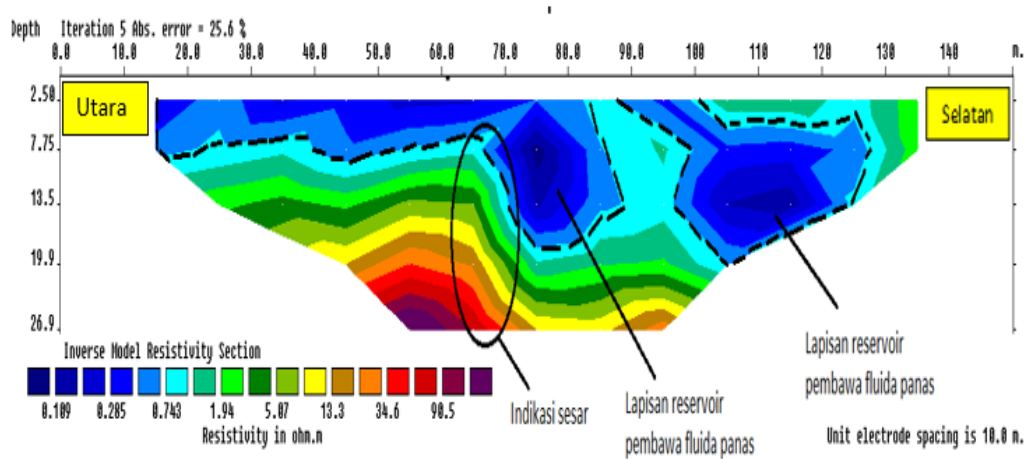
Berdasarkan penampang hasil inversi pada Gambar 8, lintasan ini juga terdapat lapisan tanah berpasir yang diduga sebagai *reservoir* fluida panas bumi. Lapisan tersebut pada rentang resistivitas berkisar ± 0.370 - $0.813 \Omega\text{m}$ terletak pada kedalaman 1-19.9 meter, 1-24 meter, dan 13-26.9 meter. Hal ini ditandai dengan adanya mata air panas yang terletak pada jarak 86,5 meter dari titik awal pengukuran.



Gambar 8. Penampang hasil inversi 2D lintasan 2

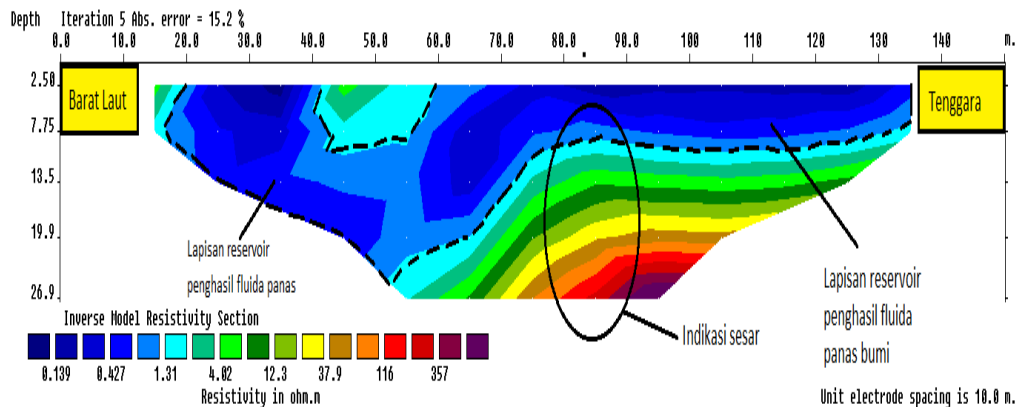
Berdasarkan hasil inversi pada Gambar 9, lapisan pertama berupa *top soil* diduga sebagai lapisan *reservoir* dari fluida panas bumi dikarenakan nilai resistivitasnya yang kecil dan terdiri atas material-material konduktif berupa lapisan *permeable* yang meloloskan air. Hal ini ditandai dengan adanya mata air panas yang berada pada jarak 75 meter terhadap titik awal pengukuran. Terlihat indikasi sesar ditunjukkan dengan adanya patahan berupa penurunan kedudukan

lapisan batuan pada jarak 68 meter dari titik awal pengukuran di mana ditandai dengan kontras resistivitas 0.743 – 5.07 dan 13.3 – 90.5 Ωm .



Gambar 9. Penampang hasil inversi 2D lintasan 3

Hasil inversi pada gambar 10 menunjukkan lapisan pertama pada lintasan 4 berupa tanah penutup atau *top soil* yang memiliki resistivitas $\pm 0.139\text{-}0.427 \Omega\text{m}$ dan $\pm 0.427\text{-}1.31 \Omega\text{m}$ pada kedalaman 1-22 meter dan 1-26.9 meter. Lapisan ini diperkirakan sebagai *reservoir* fluida panas bumi karena resistivitasnya yang rendah serta memiliki kandungan material yang bersifat konduktif.

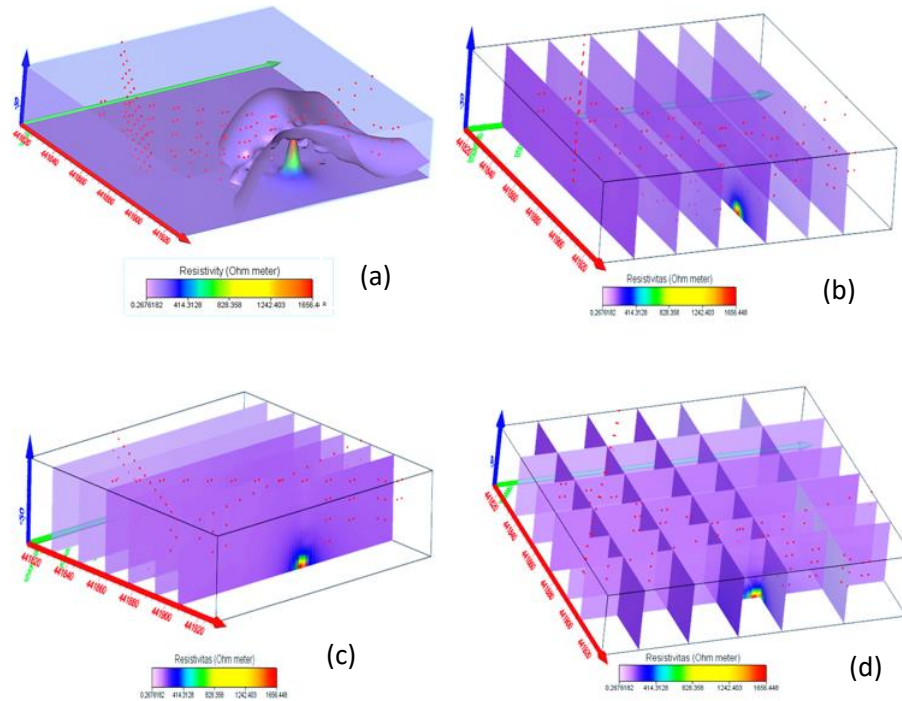


Gambar 10. Penampang hasil inversi 2D lintasan 4

Pada lintasan ini diduga terdapat sesar yang ditandai dengan adanya diskontinuitas batuan akibat patahan yang terletak pada jarak 75 meter dari titik awal pengukuran serta adanya kontras resistivitas 1.31 – 12.3 Ωm dan 37.9 - 357 Ωm .

C. Hasil Pemodelan 3 Dimensi dengan *Voxler*

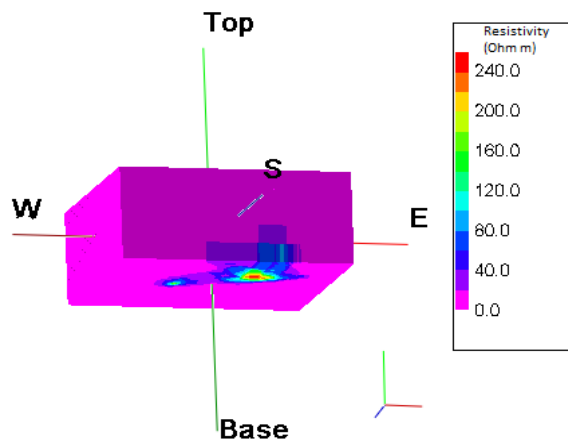
Berdasarkan pemodelan 3D pada Gambar 11, terlihat adanya satu bagian yang menunjukkan warna yang kontras terhadap warna sekitarnya mulai dengan warna kuning hingga biru ($414.312 - 1242.403 \Omega\text{m}$). Kontras warna tersebut diduga sebagai lokasi sesar yang ada di mata air panas Kaliulo.



Gambar 11. Pemodelan 3 dimensi (3-D) dengan *Voxler*: (a) *isosurface*; (b) Irisan vertikal membagi sumbu Y; (c) Irisan vertikal memotong sumbu X; (d) Irisan *cross section* resistivitas.

D. Hasil Pemodelan 3 Dimensi dengan *Rockwork*

Hasil pemodelan 3D pada Gambar 12 terlihat daerah dengan resistivitas rendah berkisar $0.109 - 40.0 \Omega\text{m}$ dan daerah dengan resistivitas tinggi dari $200 - 400 \Omega\text{m}$. Hasil interpretasi sama yaitu daerah penelitian didominasi oleh batupasir dan *marls*. Berdasarkan hasil interpretasi dari penampang inversi 2D dan 3D, terdapat lapisan – lapisan batuan yang berbeda. Perbedaan warna di setiap lapisannya menunjukkan perbedaan lapisan batuan penyusun daerah penelitian. Litologi dari semua lintasan menunjukkan penyusun material yang didominasi oleh material-material konduktif yang memiliki resistivitas rendah sebagai *reservoir* fluida panas bumi seperti batupasir, *marls*, batupasir tufaan, dan lapisan terbawah adalah breksi dan batu lempung.



Gambar 12. Pemodelan 3D dengan *Rockwork*.

SIMPULAN

1. Pemodelan 2D pada *software Res2DinV* dan 3D pada *software Voxler* dan *Rockwork* menunjukkan struktur bawah permukaan daerah penelitian, pada lintasan pertama diperoleh lapisan berupa tanah berpasir, *marls*, batupasir tufan, lempung, dan batu gamping. Lintasan kedua diperoleh lapisan berupa tanah berpasir dan *marls*. Pada lintasan ketiga diperoleh top soil, batupasir, batupasir tufan, dan breksi. Sedangkan lintasan empat diperoleh lapisan berupa top soil, *marls*, batulempung, batupasir, dan lempung.
2. Nilai resistivitas yang diduga sebagai *reservoir* fluida panas bumi berkisar antara 0.109 – 2.92 Ωm yang berada pada lapisan tanah berpasir dan *marls*. Pola sebaran fluida panas di sekitar mata air panas tidak kontinu. *Reservoir* panas bumi tersebar di sekitar mata air panas pada koordinat 7°10'27.64" LS, 110°28'25.49" BT; 7°10'28.1" LS, 110°28'25.2" BT; dan 7°10'28.2" LS, 110°28'25.1" BT.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif, I., 2016. *Geoteknik Tambang*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Darmawan, S., Udi H & Sugeng W, 2014. Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi Schlumberger Di Area Panas Bumi Desa Diwak Dan Derekan Kecamatan Bergas, Kabupaten Semarang. *Youngster Physics Journal*, 3, 159-164.
- Effendy, 2015. *Modul Praktikum Metoda Geolistrik*. In: s.l.:s.n.

- Febriani, R., Juandi M & Nur Islami, 2020. Interpretasi Energi Panas Bumi Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi Dipole-Dipole di Desa Pawan, Kabupaten Rokan Hulu. *J. Aceh Phys. Soc.*, 9, 31-36.
- Hi, R. M., Aryadi Nurfalaq & Iis Dahlia Hamid, 2018. Pendugaan Sebaran Air Tanah Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner. *Jurnal Fisika FLUX*, 15, 6-12.
- Juliani, R. & Rahmatsyah, 2016. Pola Kandungan Mineral Dan Potensi Panas Bumi Siogung-Ogung Kabupaten Samosir. *Jurnal Generasi Kampus*, 9.
- Mariyaningsih, D. & Agus Setiyawan, 2014. Intepretasi Struktur Bawah Permukaan Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi Schlumberger di Manifestasi Panas Bumi Kaliulo, Gunung Ungaran. *Youngster Physics Journal*, 12, 25-30.
- Miryani, N., 2019. *Teknik Panas Bumi*. Bandung: Departemen Teknik Perminyakan Fakultas Ilmu Kebumian dan Teknologi Mineral Institut Teknologi Bandung.
- Prihadi, T., Supriyadi & Sulhadi, 2013. *Aplikasi Metode Geolistrik Dalam Survey Potensi Hydrothermal Studi*. Jakarta, Universitas Negeri Jakarta.
- Rahayu, D. A. *et al.*, 2016. Interpretasi Geologi Bawah Permukaan Daerah Potensi Mata Air Panas Kaliulo Kabupaten Semarang Berdasarkan Data Geomagnet Menggunakan Model 2-D dan 3-D. *Youngster Physics Journal*, 5, 291-302.
- Reynolds, J., 2011. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics 2nd ed*. Chichester: A John Wiley & Sons.
- Rezky, Y., Ahmad Zarkasyi & Dikdik Risdianto, 2012. Sistem Panas Bumi dan Model Konseptual Daerah Panas Bumi Gunung Ungaran, Jawa Tengah. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 7, 110.
- Saputra *et al.*, 2020. Aplikasi Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner dan Wenner-Schlumberger Pada Daerah Mata Air Panas Kali Sengon di Desa Blawan-Ijen. *Berkala Sainstek*, 7, 20-24.
- Tarmidzi, F. & Agus Setyawan, 2014. Study od Fluid Flow in Gedongsongo Temple Manifestation Geothermal Based on the Data Geophysics. *s.l., Energy Procedia*, 101-107.
- Vasatrao *et al.*, 2017. Comparative study of Wenner and Schlumberger electrical resistivity method for groundwater nvestigation: a case study from Dhule district (M.S.), India. *Appl Water Sci*, 7, 4321-4340.
- Wahidah, Peter Lepong & Dadan Hamdani, 2021. *Pengantar Geofisika*. Samarinda: Program Studi Geofisika Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Mulawarman.
- Yudianto, H. & Agus Setyawan, 2014. Interpretasi Struktur Bawah Permukaan Daerah Manifestasi Panasbumi Gedong Songo Gunung Ungaran Menggunakan Metode Magnetik. *Youngster Physics Journal*, 2, 39-48.
- Yunita, L., Anastasya N. C. P. & Aji Wisnu Waskita, 2020. Analisa Geofisika di Sekitar Air Hangat Kaliulo Jawa Tengah. *s.l., Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XV (ReTII)*.
- Zarkasyi, A. *et al.*, 2015. *Buku Panduan Penyelidikan Panas Bumi*, s.l.: Pusat Sumber Daya Geologi Badan Geologi KESDM.
- Zarkasyi, A., Yuanno Rezky & Mochamad Nurhadi, 2011. Keprospekan Panas Bumi Gunung Ungaran Berdasarkan Analisis Geosain Terpadu. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 6.